

# Methoden zur Präoxygenierung

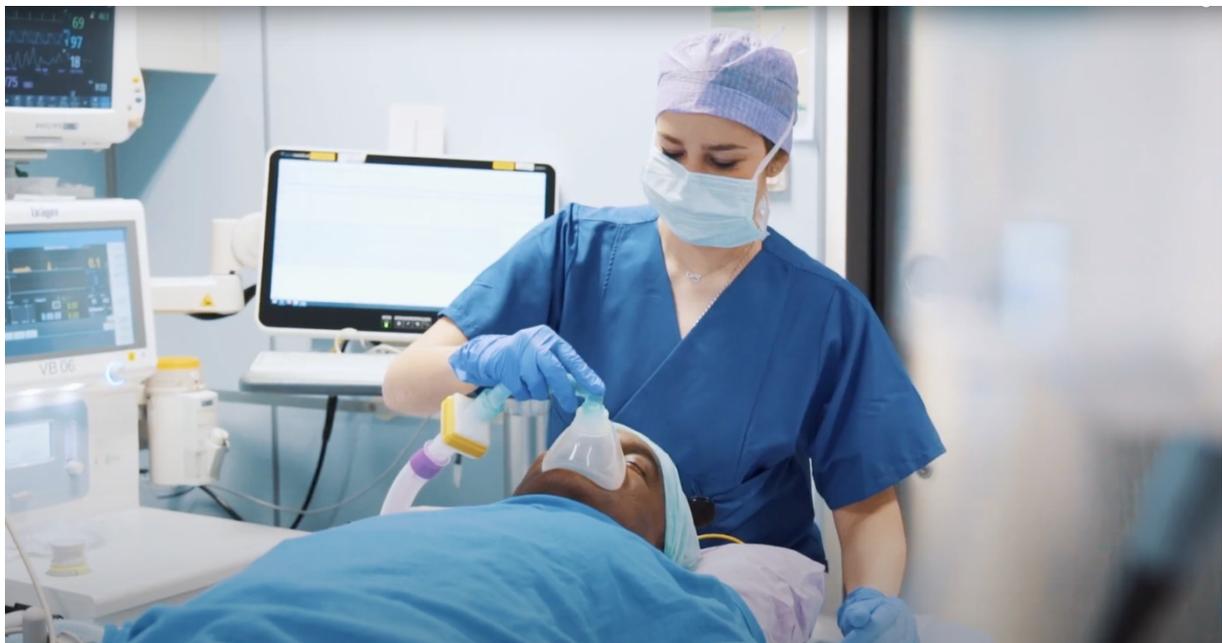
Diplomarbeit zur diplomierten Expertin Anästhesiepflege NDS HF

Alessandra Rizzi

September 2022

XUND Bildungszentrum Gesundheit Zentralschweiz

Kurs 21 F A



## **Abstract**

### **Einführung**

Mit dem Prozess der Präoxygenierung vor der Sicherung eines Atemwegs ist jede Anästhesiefachperson vertraut. Die Präoxygenierung kann durch verschiedene Methoden erfolgen. Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Methode der herkömmlichen Präoxygenierung sowie der Pressure Support Ventilation (PSV) Methode in Kombination mit positiv endexpiratorischem Druck (PEEP). Dazu wird die folgende Forschungsfrage gestellt: Wie kann die Präoxygenierung gemäss aktueller Literaturempfehlung im Anästhesiealltag angewendet werden?

### **Methodik**

Die Literatur- und Fachrecherche in dieser Diplomarbeit stützt sich auf aktuelle Studien, nach denen auf PubMed und Google Scholar gezielt mit Schlüsselbegriffen gesucht wurde. Für die Grundlagentheorie wurden Fachbücher und Fachartikel genutzt und Quervergleiche zur Studienlage gezogen.

### **Ergebnis**

Durch den Vergleich der beiden Präoxygenierungsmethoden konnte festgestellt werden, dass unter Anwendung der PSV-Methode mit PEEP die Präoxygenierungszeit verkürzt und eine verbesserte Sauerstoffsättigung des Blutes erzielt werden kann.

Spannende Ergebnisse zeigten sich gemäss den herangezogenen Studien bei der Präoxygenierung von Menschen, die unter Adipositas leiden. Hier kann bereits ein einfaches zusätzliches Hilfsmittel wie die um 25° erhöhte Oberkörper-Lagerung die Präoxygenierung erleichtern. In Kombination mit der PSV-Präoxygenierung mit PEEP kann sogar das Einsetzen einer Hypoxie signifikant verzögert werden.

### **Diskussion**

Aus der Literatur lässt sich eine klare Empfehlung für die Präoxygenierung bei Menschen mit Adipositas ableiten. Für die Präoxygenierung bei Lungenerkrankten gibt es bisher keine abschliessende Empfehlung. Ein Teil der randomisiert-kontrollierten Studien, die in dieser Diplomarbeit gesichtet wurden, wiesen nur kleine Patientenkollektive auf. Um entsprechend zu einer eindeutigen Evidenz zu gelangen, müssten weitere grössere Studien durchgeführt werden. Erste Ergebnisse liessen sich zumindest aus den Arbeiten ableiten, die sich dieser Thematik widmen. Vertiefte Forschung in diesem Bereich wäre wünschenswert.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	4
1.1	Hinführung zum Thema .....	4
1.2	Fragestellung .....	5
1.3	Ziel der Arbeit .....	5
1.4	Eingrenzung.....	5
1.5	Methodik .....	6
2	Anatomie und Physiologie .....	7
3	Präoxygenierung.....	10
3.1	Definition.....	10
3.2	Ziele der Präoxygenierung.....	10
3.3	Risiken .....	10
3.4	Atelektasen .....	12
4	Methoden zur Präoxygenierung.....	13
4.1	Standardmässige, herkömmliche Präoxygenierung .....	13
4.1.1	Durchführung.....	13
4.1.2	Vor- und Nachteile .....	14
4.2	PSV-Präoxygenierung .....	15
4.2.1	PEEP .....	15
4.2.2	Durchführung.....	16
4.2.3	Vor- und Nachteile .....	17
4.3	Zusätzliche Hilfsmittel .....	18
5	Vergleich der Methoden.....	19
5.1	Studie von Baillard et al. (2006).....	19
5.2	Studie von Hanouz et al. (2015) .....	19
5.3	Bezug zu unterschiedlichen Krankheitsbildern .....	20
6	Diskussion.....	22
7	Schlussfolgerung und Konsequenzen .....	25

8	Reflexion .....	26
9	Danksagung .....	27
10	Literaturverzeichnis .....	28
11	Abbildungsverzeichnis .....	31
12	Eigenständigkeitserklärung .....	32
13	Anhang .....	33

# 1 Einleitung

## 1.1 Hinführung zum Thema

Die Präoxygenierung ist ein elementarer Bestandteil der Anästhesie für die sichere Einleitung vor elektiven und notfallmässigen Eingriffen. Seit Beginn meines Nachdiplomstudiums zur diplomierten Expertin Anästhesiepflege NDS HF interessiert mich dieses Thema sehr. Es ist beeindruckend, wie eine vergleichsmässig einfache Massnahme sich signifikant auf die Apnoetoleranz bei der Einleitung auswirken kann. Aus diesem Grund stellt die Präoxygenierung für mich einen wichtigen Aspekt der Patientensicherheit dar.

Trotz der enormen Relevanz dieses Themas kommt es im Anästhesiealltag immer wieder vor, dass die Präoxygenierung nur unzureichend durchgeführt wird. Gemäss einer französischen Studie aus dem Jahr 2014 mit insgesamt 1'050 Testpersonen wurde festgestellt, dass 56% dieser Personen nicht adäquat präoxygeniert worden sind (Baillard, Depret, Levy, Boubaya, & Beloucif, 2014). Ein erschreckend hoher Wert, der auch drastische Folgen haben kann. So kann eine insuffiziente Präoxygenierung zu Sättigungsabfällen oder einer deutlich verkürzten Apnoezeit führen.

Im Zuger Kantonsspital (ZGKS) konnte ich während meines Nachdiplomstudiums verschiedene Methoden zur Präoxygenierung und deren unterschiedlichen Effekte auf eine stabile Narkoseeinleitung beobachten. Im ZGKS wird standardmässig die Präoxygenierung bei Betroffenen, die für eine Rapid-Sequence-Induction (RSI) vorgesehen sind, nicht mit der herkömmlichen Präoxygenierung, sondern durch die PSV-Methode mit PEEP angewandt.

Bei einem Fall aus meinem Praxisalltag konnte ich während einer Einleitung miterleben, wie ein Patient von der Präoxygenierungsmethode PSV mit PEEP profitieren konnte. Der Patient war für einen thoraxchirurgischen Eingriff eingeplant. Ich habe den Patienten im Schleusenbereich mit einer Orthopnoe bei einer pulsoxymetrisch gemessenen Sauerstoffsättigung ( $S_pO_2$ ) von 91 % unter Sauerstoffgabe von 4 l/min über die Nasenbrille angetroffen. Die betreuende Pflegefachperson teilte mir mit, dass der Patient unter starker Orthopnoe leiden würde. Die Atemanstrengung war bereits in Oberkörperhochlage deutlich ersichtlich. Ich informierte den zuständigen Anästhesisten, um mit ihm die Situation zu besprechen. Mir wurde sofort klar, dass diese Einleitung viele Risiken mit sich bringen könnte. Mein Hauptfokus lag dabei auf der Gefahr einer schweren Hypoxie während der bevorstehenden Apnoephase. Der Patient erhielt noch vor der Anästhesieinduktion ein invasives Monitoring. Auch wenn keine RSI vorgesehen war, bestimmten wir im Teamentscheid die Präoxygenierungsmethode PSV mit PEEP durchzuführen. Durch ausführliche sowie verständliche Erklärung und enge Begleitung des Patienten konnten wir mit dieser Präoxygenierungsmethode  $S_pO_2$ -Werte von 97-98 % erreichen. Die Maskentoleranz

und der positive Druck schien für den Patienten kein Problem darzustellen. Durch die modifizierte Präoxygenierung konnten wir den Patienten pulmonal stabilisieren und ohne Sättigungsabfall problemlos intubieren.

Für mich war das ein Schlüsselmoment in meinem Nachdiplomstudium, weil mir dabei bewusst wurde, wie relevant die Wahl einer Präoxygenierungsmethode für die Anästhesieeinleitung sein kann. Aus diesem Grund ist es mir ein wichtiges Anliegen, den Stellenwert der korrekt durchgeführten Präoxygenierung für die Patientensicherheit in der Anästhesie aufzuzeigen und herauszufinden, was die Präoxygenierungsmethode anhand PSV mit PEEP so besonders macht.

## 1.2 Fragestellung

Anhand des erwähnten Fallbeispiels hat sich die folgende Fragestellung herauskristallisiert: Wie kann die Präoxygenierung gemäss aktueller Literaturempfehlung im Anästhesiealltag angewendet werden?

## 1.3 Ziel der Arbeit

Folgende Ziele werden im Rahmen dieser Diplomarbeit erarbeitet:

- Es werden zwei Präoxygenierungsmethoden aufgezeigt sowie deren Vor- und Nachteile im Anästhesiealltag mit Berücksichtigung deren aktueller wissenschaftlicher Evidenz.
- Durch deren Gegenüberstellung werden die beiden Methoden miteinander verglichen, entsprechende praxisrelevante Erkenntnisse abgeleitet und im Arbeitsalltag implementiert.

## 1.4 Eingrenzung

Diese Diplomarbeit beschränkt sich auf Erwachsene mit einer American Society of Anesthesiologists Klassifikation von 1-3, welche ausschliesslich elektive Eingriffe erhalten. Der Fokus liegt auf der präoperativen Phase.

Die dargestellten Präoxygenierungsmethoden sind die standardmässige, herkömmliche Präoxygenierung sowie die Methode PSV mit PEEP. Zu den beiden Methoden werden jeweils die korrekte Durchführung sowie die Vor- und Nachteile genauer erläutert. Der anschliessende Vergleich basiert ebenfalls auf diesen beiden Methoden.

## 1.5 Methodik

Diese Diplomarbeit ist eine Theoriearbeit, welche sich auf die Literatur- und Fachrecherche stützt. Für den Grundlagenteil wurden Bibliotheken, Fachbücher sowie Internetquellen genutzt. Die Portale PubMed und Google Scholar wurden nebst weiteren Internetseiten verwendet um geeignete Studien zu finden. Bei der Suche nach verwertbaren Studien wurde darauf geachtet, möglichst aktuelle Dokumente zu verwenden. Durch die gewählten Studien wird eine Ableitung von Vor- und Nachteilen der Präoxygenierungsmethoden sowie relevanten Konsequenzen für den Alltag erstellt.

## 2 Anatomie und Physiologie

Die Raumluft setzt sich vorwiegend aus Stickstoff und Sauerstoff (O<sub>2</sub>) zusammen. Konkret besteht sie aus 21 % O<sub>2</sub>, 78 % Stickstoff, 0.04 % Kohlendioxid und weiteren Edelgasen. Der Körper benötigt ausreichend O<sub>2</sub>, um die Energieproduktion in den Zellen kontinuierlich sicherzustellen. Grundsätzlich sind zwei Körpersysteme an der äusseren Atmung beteiligt. Einerseits das Herz-Kreislauf-System, welches für den Transport der Gase durch das Gefässsystem zu den Zielorganen zuständig ist und das respiratorische System, welches das Blut mit O<sub>2</sub> anreichert und das Kohlendioxid aus dem Körper eliminiert. Beide Systeme sind eng miteinander verknüpft. Fällt ein System aus, dauert es nicht lange bis das andere ebenfalls wirkungslos wird (Larsen, 2016).

Das Gasvolumen der Lunge lässt sich in verschiedene Volumina unterteilen. Im nächsten Abschnitt wird die Verteilung genauer erläutert. Durch die Spirometrie können die verschiedenen Volumina gemessen und erfasst werden, mit Ausnahme des Residualvolumens. Das Lungenvolumen von Menschen ist abhängig von Geschlecht, Körpergrösse, Körpergewicht, Ethnie und Alter (Schäfer, Kirsch, Scheuermann, & Wagner, 2011; Larsen, 2016).

Laut Schäfer et al. (2011) setzen sich die Volumina zusammen aus:

- **Tidalvolumen, auch bekannt als Atemzugvolumen (AZV)**  
Luftmenge, die pro Atemzug eingeatmet wird
- **Inspiratorisches Reservevolumen (IRV)**  
Luftmenge, die nach einer normalen Inspiration zusätzlich eingeatmet werden kann
- **Expiratorisches Reservevolumen (ERV)**  
Luftmenge, die nach einer normalen Expiration zusätzlich ausgeatmet werden kann
- **Residualvolumen (RV)**  
Luftmenge, die nach einer maximalen Expiration in der Lunge verbleibt

Wie in Abbildung 1 von Schäfer et al. (2011) unten ersichtlich, gibt es einen weiteren Raum, den Totraum. Er wird zum AZV gerechnet, wobei weiter zwischen anatomischem, physiologischem oder alveolärem Totraum unterschieden werden kann. Der anatomische Totraum ist das Volumen, welches sich zwischen der Nasenhöhle und den Bronchioli terminales befindet und deswegen nicht am Gasaustausch teilnimmt. Normalerweise beträgt der anatomische Totraum 2 ml/kg Körpergewicht. Der physiologische oder auch alveoläre Totraum entsteht durch eine Minderperfusion der Alveolen, wie beispielsweise durch eine Lungenembolie, oder durch eine Minderbelüftung, wie z.B. bei einer Atelektase. Dies führt zu

ventilierten, aber nicht perfundierten Abschnitten in der Lunge, oder zu perfundierten, aber nicht ventilierten Abschnitten (Shunt), weswegen es dort zu keinem Gasaustausch kommt.

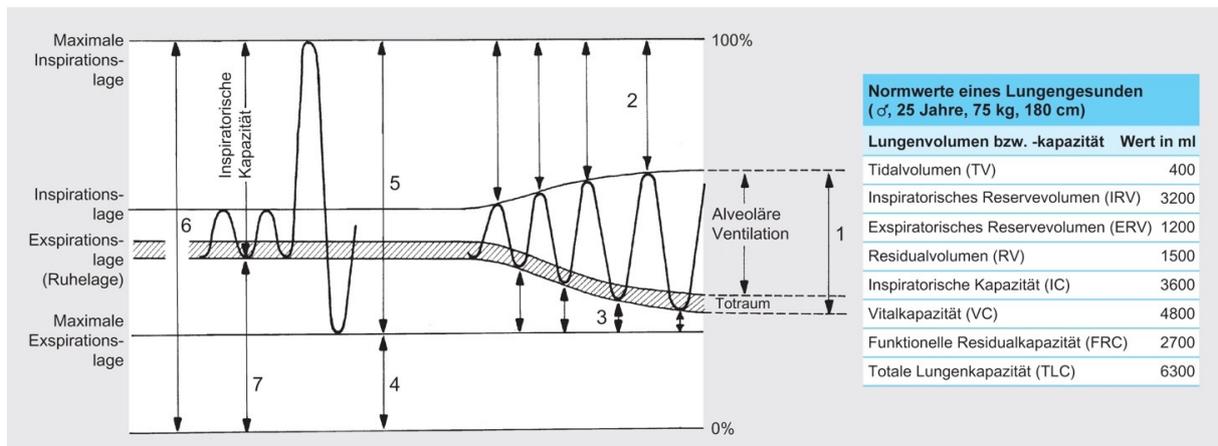


Abbildung 1 Lungenvolumina und Lungenkapazitäten

Die Lungenkapazitäten ergeben sich aus Summen der einzelnen Lungenvolumina (Schäfer, Kirsch, Scheuermann, & Wagner, 2011):

- **Inspiratorische Kapazität (IC) = VT + IRV**  
Luftmenge, die nach einer normalen Expiration maximal eingeatmet werden kann
- **Vitalkapazität (VC) = IRV + VT + ERV**  
Luftmenge, die maximal ein- bzw. ausgeatmet werden kann
- **Totale Lungenkapazität (TLC) = VC + RV**  
Luftmenge, welche die Lunge maximal fassen kann
- **Funktionelle Residualkapazität (FRC) = ERV + RV**  
Luftmenge, die nach einer normalen Ausatmung in der Lunge verbleibt

Im Kontext der Präoxygenierung kommen den Lungenvolumina und den Lungenkapazitäten eine besondere Bedeutung zu, wobei hier vor allem die FRC eine grosse Rolle spielt. Die FRC eines gesunden Erwachsenen beträgt im Sitzen oder Stehen ca. 30-35 ml/kg vom Idealgewicht und bleibt mit zunehmendem Alter weitgehend konstant. In Rückenlage reduziert sich die FRC um ca. 25 % und nach der Narkoseeinleitung um weitere 20 %. Durch die Abnahme der FRC kann in gewissen Lungenabschnitten die Verschlusskapazität höher werden als die FRC. Die Verschlusskapazität auch Closing Capacity (CC) genannt, ist die Summe aus Verschlussvolumen und Residualvolumen. Durch die CC kann es unter Umständen am Ende der Expiration zum Verschluss der kleinen Atemwege kommen. Dadurch können sich Atelektasen bilden. Die somit perfundierten, aber nicht oxygenierten Alveoli führen zu einem intrapulmonalen Rechts-Links-Shunt, wodurch die Sauerstoffsättigung des Blutes abnimmt. Die CC bleibt während einer Vollnarkose weitgehend unbeeinflusst, nimmt mit zunehmendem Alter aber zu (Westhoff, et al., 2015; Neumann, 2020).

Der über die Lunge diffundierte  $O_2$  muss anschliessend durch das Blut zu den Zielorganen transportiert werden. Bei einer Apnoe reichen die  $O_2$ -Reserven nur für wenige Minuten aus. Danach kommt es zu einer raschen Hypoxie, was eine lebensbedrohliche Situation mit potenziell irreversiblen Organschäden hervorrufen kann (Larsen, 2013).

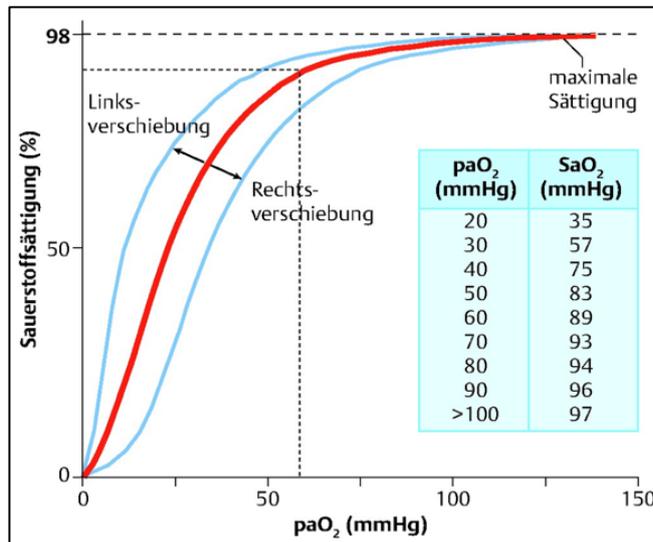


Abbildung 2 Sauerstoffdissoziationskurve (Baum, Neumann, Schiffmann, & Züchner, 2010)

Das Blut, welches die Lunge durchströmt, nimmt mindestens 250 ml/min  $O_2$  auf und transportiert ihn weiter zu den Zellen. Die Hüfner-Zahl besagt, dass im physiologischen Zustand 1 g Hämoglobin (Hb) 1.34 ml  $O_2$  binden kann. Durch physio- und pathophysiologische Ursachen kann sich die  $O_2$ -Bindung verändern. Zum Beispiel nimmt durch Azidose, Hyperkapnie und Fieber die Bindungsfähigkeit des  $O_2$  ab. Bei Alkalose, Hypokapnie oder einer leichten Hypothermie hingegen nimmt die  $O_2$ -

Bindung zu. Der Kurvenverlauf ist typischerweise S-förmig, wie in Abbildung 2 ersichtlich. Eine Rechtsverschiebung der Kurve bedeutet, dass der aufgenommene  $O_2$  schlechter an das Hb bindet, aber besser an die sauerstoffverbrauchende Zelle abgegeben wird. Bei der Linksverschiebung besteht eine bessere Bindung von  $O_2$  am Hb, aber eine deutlich erschwerte Abgabe des  $O_2$  an die Zellen. Die Sauerstoffdissoziationskurve (siehe Abbildung 2) zeigt den Zusammenhang von arteriellem Sauerstoffpartialdruck ( $p_aO_2$ ) und Sauerstoffsättigung des Blutes ( $S_aO_2$ ) (Schäfer, Kirsch, Scheuermann, & Wagner, 2011).

Sinkt die Sauerstoffsättigung unter 90 % fällt die Kurve steiler ab. Im steilen Bereich der Sauerstoffdissoziationskurve erfolgt das Absinken auf kritische Werte sehr schnell (beispielsweise auf  $S_aO_2$ -Werte von 70 % bei nur geringer Änderung des  $p_aO_2$ ). Diese Desaturierung des Blutes führt zu einer Minderversorgung aller Organe und kann bei Anhalten von mehreren Minuten zu dauerhaften Schäden führen (Weingart & Levitan, 2012).

## 3 Präoxygenierung

### 3.1 Definition

Larsen (2013) definiert die Präoxygenierung als den Aufbau einer O<sub>2</sub>-Reserve die dazu dient die Toleranz für die Apnoezeit zu erhöhen. Dieser Vorgang sollte zwingend vor jeder endotrachealen Intubation durchgeführt werden. Dadurch können wertvolle Minuten zwischen der medikamentös induzierten Apnoe und der Sicherung des Atemwegs gewonnen werden. Die Präoxygenierung dient dazu, den intrapulmonalen Bestand von O<sub>2</sub> zu maximieren. Das wird erreicht, indem der vorhandene Stickstoff vor allem in der FRC bestmöglich eliminiert und durch O<sub>2</sub> ersetzt wird. Die Eliminierung von Stickstoff ist auch bekannt als Denitrogenisierung. Die Anreicherung mit O<sub>2</sub> wird Oxygenierung genannt.

### 3.2 Ziele der Präoxygenierung

Die beiden amerikanischen Notfallmediziner Scott Weingart und Richard Levitan (2012) sind beide Spezialisten im Airwaymanagement und haben einen Artikel im «Annals of Emergency Medicine» veröffentlicht. In diesem Artikel nennen sie die wichtigsten drei Ziele im Rahmen der Präoxygenierung. Als erstes Ziel ist die höchstmögliche S<sub>p</sub>O<sub>2</sub> genannt, die nach Möglichkeit auf 100 % erhöht werden sollte. Das zweite Ziel ist die Denitrogenisierung der Residualkapazität der Lunge, damit ein maximales O<sub>2</sub>-Angebot in allen Lungenabschnitten erreicht werden kann. Als drittes Ziel wird die Denitrogenisierung des Blutkreislaufes genannt, um somit die maximale O<sub>2</sub>-Versorgung zu ermöglichen. Für eine optimale Präoxygenierung ist es notwendig, die ersten beiden Ziele konsequent zu verfolgen. Das dritte Ziel, die Denitrogenisierung des Blutkreislaufes, trägt nur wenig zur Zeitspanne der Apnoetoleranz bei. Ursächlich hierfür ist die kleinere Reservekapazität des Blutes im Vergleich zur Lunge sowie die schlechte Löslichkeit von O<sub>2</sub> im Blut. Die Reservekapazität für O<sub>2</sub> liegt bei 95 % in der Lunge und nur 5 % beim Blut (Weingart & Levitan, 2012).

### 3.3 Risiken

Für das frühzeitige Erkennen möglicher Risiken ist das Narkoseaufklärungsgespräch bereits elementar. Eine erschwerte Maskenbeatmung hat grossen Einfluss auf die Durchführung der Präoxygenierung und könnte somit frühzeitig erkannt werden. Laut Meinig (2020) gibt es folgende Prädikatoren die auf eine erschwerte Maskenbeatmung hindeuten können (siehe Abbildung 3). Für die Präoxygenierung muss die Maske dicht ansitzen, was bei schwieriger Maskenbeatmung beeinträchtigt und zu einer insuffizienten Präoxygenierung führen kann.

Narben, Tumore, Entzündungen oder Verletzungen von Lippe und Gesicht
Makroglossie und andere pathologische Zungenveränderungen
Bestrahlung oder Tumor im Bereich der Halsregion
Pathologische Veränderungen von Pharynx, Larynx und Trachea
Männliches Geschlecht
Alter >55 Jahre
Schnarch-Anamnese bzw. Schlafapnoe-Syndrom
Zahnlosigkeit oder desolater Zahnstatus
Vollbarträger
Mallampati Grad 3 oder 4
Deutlich eingeschränkte Protrusion des Unterkiefers
BMI >30 kg/m <sup>2</sup>
Thyreomentaler Abstand <6cm

Abbildung 3 Prädiktoren der schwierigen oder unmöglichen Maskenbeatmung (Meinig, 2020)

Ein relevantes Problem stellt auch die mangelhafte Durchführung der Präoxygenierung dar. In der Studie von Baillard et al. wurde festgestellt, dass 56 % der Teilnehmenden nicht richtig präoxygeniert wurden. Häufigste Ursachen waren ein zu niedriger verabreichter FiO<sub>2</sub> oder eine grössere Differenz zwischen dem inspiratorischen O<sub>2</sub> (FiO<sub>2</sub>) und dem endexpiratorischen O<sub>2</sub> (FeO<sub>2</sub>) im Vergleich zu der gut präoxygenierten Gruppe (Baillard, Depret, Levy, Boubaya, & Beloucif, 2014).

Ein weiterer Bericht aus dem Jahr 2001 untermauert ebenfalls das Problem der inadäquaten Präoxygenierung. Hier wurden sogar in 80 % der Fälle nicht optimal wirksame Verfahren zur Präoxygenierung eingesetzt. In den meisten Fällen wurde ein Frischgasfluss <8 Liter/Minute verwendet, welcher laut diesem Bericht nicht ausreichend ist. Zusätzlich wurde festgestellt, dass mit zunehmender Anzahl der Berufsjahre des ärztlichen Anästhesiepersonals und mit höherer Stellung in der Hierarchie das routinemässige präoxygenieren immer mangelhafter wird. Ein weiterer Grund für die insuffiziente Präoxygenierung ist auch die Annahme, dass die Beatmungsmaske von den Betroffenen als unbequem wahrgenommen wird. In einer Umfrage von anästhesiologischen Fachpersonen wurde auf einer Skala von 1 (kein Diskomfort) bis 10 (maximaler Diskomfort) geschätzt, wie unangenehm die Testpersonen das Aufsetzen einer Beatmungsmaske empfinden. Dabei wurde ein durchschnittlicher Wert von 5 angegeben. Dieser Wert ist signifikant höher als die Einschätzung der befragten Patienten und Patientinnen selbst. Dort wurde im Durchschnitt die Zahl 2 bei Einleitung und bei der Ausleitung die Zahl 1 genannt. Ein überraschendes Ergebnis, das klar zeigt, wie das Unbehagen unter der Maske durch Fachpersonen oft überschätzt wird (Heck, Stegmann, Lorenz, Heck, & Schlack, 2001).

### 3.4 Atelektasen

Als die häufigste Nebenwirkung der Präoxygenierung wird die Bildung von Atelektasen beschrieben. Bei 75 – 90 % der gesunden Personen kann nach einer Allgemeinanästhesie eine Atelektasenbildung nachgewiesen werden. Die Atelektasen werden durch zwei Mechanismen begünstigt. Der eine Mechanismus hängt mit der Abnahme der FRC zusammen. Dies geschieht aufgrund der Rückenlage und der Vollnarkose. Das Lungenvolumen wird dabei verringert. Das endexpiratorische Volumen ist niedriger als die Verschlusskapazität, was zu einem Verschluss der Atemwege und einem Kollaps der abhängigen Lungenbereiche führt. Der zweite Mechanismus wird durch die Anatomie der Brustwand, Wirbelsäule und des Diaphragmas beeinflusst. Dadurch steigt der intrathorakale Druck, welcher durch Kompression in der Brusthöhle einen Verschluss der Atemwege hervorruft. Im physiologischen Zustand ist die alveoläre Gaskonzentration identisch zur Gaskonzentration in der Raumluft. Den grössten Anteil macht hier ebenfalls der Stickstoff aus. Stickstoff hat den Vorteil, dass er hauptsächlich in der Lunge verbleibt, weil er im Blut schwer löslich ist und im Gegensatz zu O<sub>2</sub> deutlich schlechter diffundiert. Kommt es zum Verschluss der Atemwege, diffundieren die Gase aus den Alveolen und werden nicht mehr ersetzt. Die Absorption von Gas verursacht allein keine Atelektase, beschleunigt aber den Kollaps, wenn der Verschluss der Atemwege durch einen der beiden oben genannten Mechanismen erfolgt. Ein weiterer Faktor, unabhängig von den beiden Mechanismen ist die Verabreichung eines hohen FiO<sub>2</sub>. Durch die hohe Konzentration wird der O<sub>2</sub> komplett resorbiert, was zum Kollabieren der Alveolen führt. Diese Art von Atelektasen werden Resorptionsatelektasen genannt. Ein weiteres Risiko der hohen FiO<sub>2</sub>-Gabe kann die Bildung von Sauerstoffradikalen sein. Weitere Details zu diesem Thema befinden sich im Anhang dieser Diplomarbeit (Nimmagadda, Salem, & Crystal, 2017; Fudickar, Wagener, & Becher, 2022).

## 4 Methoden zur Präoxygenierung

### 4.1 Standardmässige, herkömmliche Präoxygenierung

Gemäss der Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin werden für die Präoxygenierung zwei mögliche Vorgehensweisen beschrieben. Bei beiden Varianten erfolgt die Präoxygenierung durch Spontanatmung von  $O_2$  über eine dicht sitzende Atemmaske, welche durch ein Beatmungsgerät mit Kreissystem appliziert wird. Das Ziel ist bei beiden Varianten, dass die  $FeO_2$  90 % übersteigt. Die erste Variante wird für 3-4 Minuten durchgeführt oder bis die  $FeO_2$  90 % beträgt. Bei der zweiten Variante werden acht tiefe Atemzüge innerhalb von 60 Sekunden durchgeführt. In Abbildung 4 von Fudickar et al. (2022) sind die Unterschiede der Varianten grafisch dargestellt. Ein AZV von 0.5 Liter entspricht der ersten Variante und AZV 1 sowie 2 Liter entsprechen der zweiten Variante. Die letztere Methode erzielt eine Zeitersparnis von 2-3 Minuten. Diese Zeitersparnis kann in einer Notfallsituation entscheidend sein (Piepho, et al., 2015; Fudickar, Wagener, & Becher, 2022).

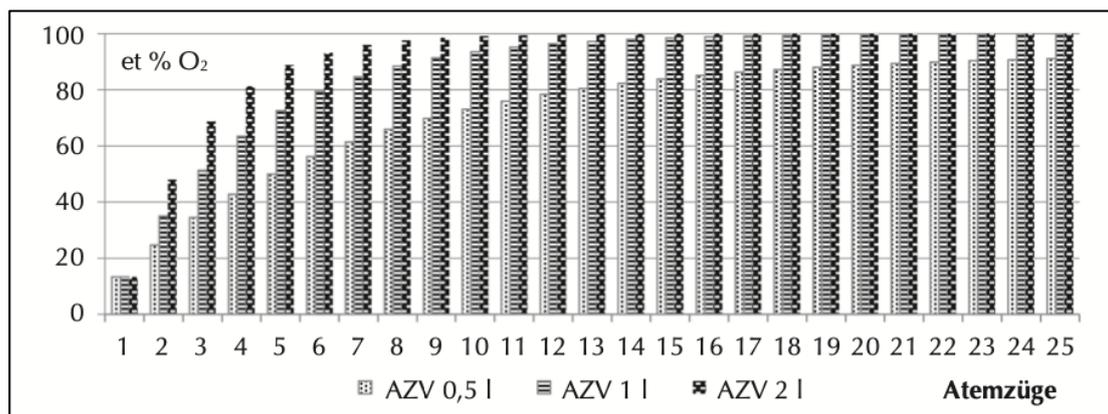


Abbildung 4 Präoxygenierung und AZV bis 90 %  $FeO_2$

#### 4.1.1 Durchführung

Die herkömmliche Präoxygenierung wird mit einer Atemmaske und einem Beatmungsgerät durchgeführt, welches  $O_2$  via Kreissystem zuführt. Es wird 100 %  $O_2$  verwendet und ein Fluss von mindestens 6 Liter/Minute appliziert. Die durchführenden Personen sollten sich für diesen Vorgang ausreichend Zeit nehmen. Wichtig ist eine dicht sitzende Maske, die die Inspiration von Raumluft verhindert. Kommt es zu einer Zumischung von Raumluft, gelangt erneut Stickstoff in die Lungen und die  $O_2$ -Konzentration vermindert sich innert weniger Sekunden wieder auf den Ausgangswert (Larsen, 2013).

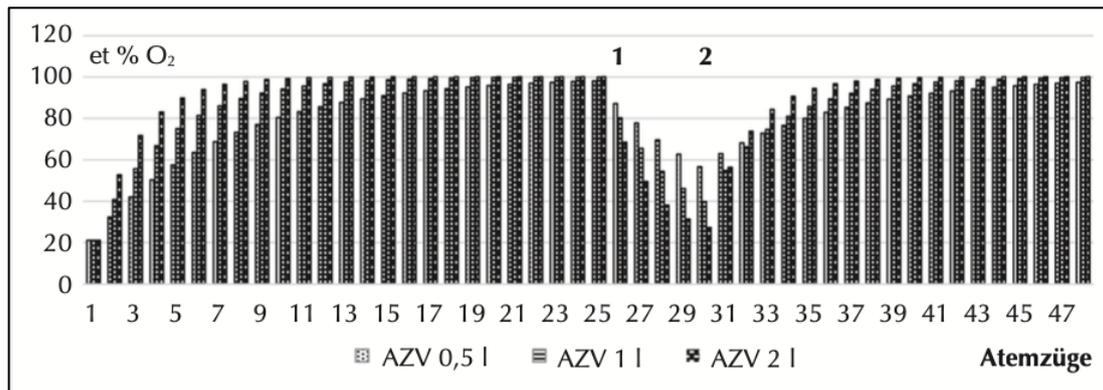


Abbildung 5 Unterbrechung der O<sub>2</sub>-Zufuhr während der Präoxygenierung (Fudickar, Wagener, & Becher, 2022)

Abbildung 5 zeigt den Effekt auf, der eintritt, wenn nach einer dreiminütigen Präoxygenierung die Maske entfernt wird und vier Atemzüge unter Raumluft dazukommen. Punkt 1 markiert den Zeitpunkt, an dem die Maske entfernt wurde und die O<sub>2</sub>-Zufuhr unterbrochen wurde. Bei Punkt 2 wurde die Maske wieder aufgesetzt. Durch diesen Unterbruch kommt es innert kürzester Zeit zu einem starken Abfall der endexpiratorischen alveolären O<sub>2</sub>-Konzentration. Die Gruppe mit AZV 0.5 Liter sinkt nach fünf Atemzügen auf unter 50 %. Bei den anderen Gruppen zeigen sich sogar Werte von unter 36 %. Die Denitrogenisierung der FRC wird auf das Anfangsniveau zurückgesetzt, wenn die Maske während der Präoxygenierung abgenommen wird. Der bisherige Fortschritt geht komplett verloren (Fudickar, Wagener, & Becher, 2022).

#### 4.1.2 Vor- und Nachteile

##### **Vorteile**

Die standardmässige Präoxygenierungsmethode weist laut Nimmagadda et al. (2017) einen klaren Vorteil in ihrer einfachen Anwendung und Verfügbarkeit auf. Für Menschen die sich vor der Beatmungsmaske fürchten, kann angeboten werden die Maske selbst zu halten, was meist schnell die Angst reduziert. Die Methode ist leise und sorgt nicht mit störendem Lärm für zusätzliche Verunsicherung bei den erkrankten Personen. Sobald während der Narkoseeinleitung die Apnoephase eintritt, kann diese Phase gut verifiziert werden.

##### **Nachteile**

Aufgrund der hohen applizierten O<sub>2</sub>-Konzentration können sich Resorptionsatelektasen bilden, die auch noch Tage nach der Entstehung vorhanden sein können. Bei Beginn der Apnoephase wird die Lunge nicht künstlich offengehalten, als Folge kollabieren die Lungen, bis die weiterführende Beatmung eintritt (Nimmagadda, Salem, & Crystal, 2017).

## 4.2 PSV-Präoxygenierung

Die Präoxygenierung mittels PSV zählt laut Oczenski (2012) zu der druckunterstützten Beatmung. PSV ist eine druckgeregelt, flowgesteuerte, getriggerte und augmentierte Atemunterstützung, bei der jeder Atemzug druckunterstützt wird. Dies bedeutet, dass während der Spontanatmung in der Inspiration eine positive Druckunterstützung durch das Beatmungsgerät erzeugt wird. Das geschieht ausschliesslich über die Triggerng der Betroffenen. Fehlt die Triggerng, so erfolgt auch keine Druckunterstützung durch das Beatmungsgerät. Der erhöhte transpulmonale Druck führt zu einer Vergrösserung des Lungenvolumens. Dadurch können die O<sub>2</sub>-Speicher in der Lunge besser aufgefüllt werden und die Verschlusskapazität wird unter der FRC gehalten. Somit kann effektiv der Atelektasenbildung entgegengewirkt werden. Durch die inspiratorische Druckunterstützung wird die Atemarbeit erleichtert (Timmermann, et al., 2019; Oczenski, 2012)

Der PSV Modus ist als Unterstützung der Spontanatmung konzipiert und erfordert sowohl eine intakte zentrale Atemregulation als auch eine neuromuskuläre Steuerung der Atemmuskulatur. Partiiell übernimmt das Beatmungsgerät die inspiratorische Atemarbeit, die zu behandelnde Person steuert jedoch die Atemfrequenz, das Atemhubvolumen und die Inspirationszeit (Oczenski, 2012).

Laut Oczenski (2012) können folgende Einstellgrössen am Beatmungsgerät vorgenommen werden:

- Inspiratorische Druckunterstützung und optional mit PEEP
- Druckanstiegsgeschwindigkeit (Rampe)
- Triggerschwelle (Druck- oder Flowtrigger)
- FiO<sub>2</sub>

### 4.2.1 PEEP

Durch positiven Druck am Ende der Expiration fällt der Druck im Atemweg nicht komplett ab, sondern wird im positiven Bereich gehalten. Dadurch sind Inspiration und Expiration während des gesamten Ventilationszyklus im positiven Bereich. Der Vorteil des PEEP ist die Verbesserung der Oxygenierung. Die Alveolen werden vor dem Kollaps bewahrt und die bereits kollabierten Alveolen können in einem gewissen Umfang wieder geöffnet werden. Somit verbessert sich die FRC, das Ventilations-Perfusionsverhältnis, die Oxygenierung und die Gasaustauschfläche (Oczenski, 2012).

Indikationen für PEEP sind unter anderem Oxygenierungsstörungen aufgrund Ventilationsstörungen, das (kardiogene) Lungenödem oder Operationen mit einem hohen intraabdominellen Druck. Bei Oxygenierungsstörungen kann der PEEP wie eine innere

Schienung dienen und die Atemwege offenhalten. Beim kardiogenen Lungenödem bewirkt der PEEP eine Senkung der Vor- und Nachlast des Herzens. Dadurch verbessert sich das Verhältnis zwischen O<sub>2</sub>-Angebot und O<sub>2</sub>-Bedarf des Myokards. Dies wirkt unterstützend für die Rückbildung der Lungenstauung. Bei den Operationen mit erwartet hohem intraabdominellem Druck entstehen oft postoperativ Atelektasen. Die intraoperative Atelektasenprophylaxe durch PEEP ist vorteilhaft und soll auch im postoperativen Verlauf in der Beatmung beibehalten werden (Oczenski, 2012; Schäfer, Kirsch, Scheuermann, & Wagner, 2011).

Es gibt aber auch Umstände, bei denen ein erhöhter PEEP nur mit Vorsicht angewendet werden darf oder sogar kontraindiziert ist. Die negativen Aspekte können in hämodynamische und pulmonale Nebenwirkungen eingeteilt werden. Bei den hämodynamischen Nebenwirkungen ist vor allem die Erhöhung des intrathorakalen Drucks entscheidend. Diese Drucksteigerung wirkt dem zentralvenösen Druck entgegen und senkt so den Preload. Das Herzzeitvolumen sowie die Organperfusion nehmen ab und durch den verminderten venösen Abfluss aus den Jugularvenen steigt der intrakranielle Druck an. Diese physiologischen Abläufe müssen bei Hypovolämie, hämorrhagischen Schock, intrakardialen Herzvitien, Lungenembolie, akuter pulmonaler Hypertonie und Schädel-Hirn-Trauma beachtet werden, um eine optimale PEEP-Konfiguration zu wählen. Für die pulmonalen Nebenwirkungen ist die Höhe des PEEP-Niveaus von grosser Bedeutung. Problematisch zeigt sich primär der zu niedrig eingestellte PEEP. Durch den atemzyklusabhängigen, endexpiratorischen Alveolarkollaps kommt es zum Beispiel bei obstruktiven Ventilationsstörungen zu einem funktionellen Shunt mit Verschlechterung der Oxygenierung (Oczenski, 2012).

#### 4.2.2 Durchführung

Für die suffiziente Präoxygenierung mittels PSV werden folgende Einstellungen am Beatmungsgerät benötigt. Vorzugsweise wird ein Narkosegerät mit Kreisteil verwendet. Die inspiratorische Druckunterstützung wird auf 5-10 mbar, der Trigger auf 2-4 Liter/Minute, die FiO<sub>2</sub> 1,0, Frischgasfluss >8 Liter/Minute, PEEP 5-8 mbar und optional die Atemfrequenz eingestellt. Zusammen mit diesen Einstellungen und einem eher sensibel eingestellten Flowtrigger erfasst das Beatmungsgerät früh die Spontanatmung. Die druckunterstützte Atmung wird durch den Betroffenen selber getriggert und das Beatmungsgerät passt sich den Bedürfnissen anhand der gewählten Einstellungen an (Schäfer, Kirsch, Scheuermann, & Wagner, 2011).

In einer Studie von Bouroche und Bourgain (2015) wurde an gesunden Testpersonen festgestellt, dass die Qualität der PSV-Methode die Präoxygenierung in ihrer Qualität verbessern kann, indem der Denitrogenisierungsvorgang beschleunigt wird. Es wurde geprüft, welche PSV-Beatmungseinstellungen die besten FeO<sub>2</sub>-Werte erzielten. Die Werte wurden

nach drei Minuten Präoxygenierung erhoben. Die erste Gruppe hatte als Beatmungseinstellungen einen positiven Druck von 4 cmH<sub>2</sub>O und PEEP 4 cmH<sub>2</sub>O. In der zweiten Gruppe wurde lediglich die positive Druckunterstützung auf 6 cmH<sub>2</sub>O erhöht und die Kontrollgruppe wurde herkömmlich präoxygeniert.

In den beiden ersten Gruppen erreichten 90 % der Testpersonen FeO<sub>2</sub> Werte von >90 %. In der Kontrollgruppe mit herkömmlicher Präoxygenierung erreichten nur 65 % FeO<sub>2</sub> Werte von 90 %. Eine wichtige Schlussfolgerung zur PSV-Methode war, dass die Wahl der positiven Druckunterstützung wichtig ist. Werte über 6 cmH<sub>2</sub>O verschlechterten die Maskentoleranz der Testpersonen. Zu geringe Druckniveaus sind kaum wirksam, da ein ausreichender Druck erforderlich ist um das Totraumvolumen der Strömungswiderstände in den Beatmungsschläuchen zu kompensieren (Bouroche & Bourgain, 2015).

### 4.2.3 Vor- und Nachteile

#### **Vorteile**

Die Präoxygenierungsmethode mittels PSV bedeutet keinen massgeblichen zeitlichen Mehraufwand und kann wie die herkömmliche Präoxygenierungsmethode direkt am Beatmungsgerät mit wenig Einstellungen durchgeführt werden. Falls gewünscht, kann die Beatmungsmaske durch die zu versorgende Person gehalten werden, um den Komfort zu erhöhen. Ebenfalls wird die Spontanatmung unterstützt und nicht vorgegeben. Die PSV-Methode mit PEEP bietet mehrere Vorteile. Beispielsweise kann die Ventilation verbessert, die Atemmuskulatur entlastet, Alveolen rekrutiert und Lungenvolumina erhöht werden. Durch die Applikation des positiven Drucks und des eingestellten PEEP kann es zu einer Verzögerung des S<sub>a</sub>O<sub>2</sub>-Abfalls sowie einer Verminderung von Atelektasen führen und andere unerwünschte Ereignisse können reduziert werden (Baillard, et al., 2006; Schäfer, Kirsch, Scheuermann, & Wagner, 2011; Timmermann, et al., 2019).

#### **Nachteile**

Ein Nachteil kann eine mögliche Desynchronisation zwischen den natürlich ausgeführten Atemzügen und dem Beatmungsgerät sein, was besonders bei hohen Atemfrequenzen auftreten kann. Die genannten Kontraindikationen sowie die Nebenwirkungen von PEEP aus Kapitel 4.2.1 sollten bei der Anwendung auf jeden Fall berücksichtigt werden. Aus diesem Grund kann diese Art von Präoxygenierung sowie bei jedem Krankheitsbild separat abgewogen werden (Oczenski, 2012).

Der Beatmungsdruck muss besonders beachtet werden. Bei Beatmungsdrücken über 20 mbar besteht erhöhte Aspirationsgefahr, da der Druck des Ösophagussphinkter überschritten wird und es zu einer Regurgitation kommen kann. Bei exzessiven Werten ist ein Baro- oder Volutrauma in der Lunge möglich (Schäfer, Kirsch, Scheuermann, & Wagner, 2011).

## 4.3 Zusätzliche Hilfsmittel

### **25° Oberkörper Hochlagerung**

Eine der häufigsten Empfehlungen, die sich aus den vielen verschiedenen Literaturquellen herauskristallisiert hat, ist die Oberkörperhochlagerung während der Präoxygenierung. In Studien hat sich gezeigt, dass eine um 20-25° erhöhte Oberkörperlage in Kombination mit PEEP das Einsetzen der Hypoxie vor allem bei stark adipösen Menschen verzögern kann. Durch die veränderte Lage des Oberkörpers wird nicht nur die Chance auf eine erfolgreiche Laryngoskopie und Trachealintubation maximiert, sondern auch die Atemwege besser offen gehalten, die Atemmechanik verbessert und eine passive O<sub>2</sub>-Zufuhr während der Apnoephase erleichtert (Dixon, et al., 2005).

Aus diesem Grund lautet die Literaturempfehlung, wenn immer möglich die Präoxygenierung mit erhöhtem Oberkörper und noch besser die Präoxygenierung mittels der PSV-Methode mit PEEP durchzuführen. Dies kann die Apnoetoleranz bei hypoxiegefährdeten Menschen verbessern (Piepho, et al., 2015; Frerk, et al., 2015).

### **Rekrutierungsmanöver**

Mit Rekrutierungsmanövern werden kollabierte Lungenareale durch eine Steigerung der Vitalkapazität wiedereröffnet. Zu diesen Manövern zählen beispielsweise Continuous Positive Airway Pressure (CPAP), PEEP oder Reexpansionmanöver. Häufig werden sie während Allgemeinanästhesien oder bei der Extubation verwendet, doch auch in Kombination mit der Präoxygenierung sind diese Massnahmen besonders wertvoll. In einer Studie aus dem Jahre 1993 konnte mittels Computertomografie (CT) festgestellt werden, welche Rekrutierungsmanöver am effizientesten Atelektasen bekämpfen. Die besten Ergebnisse wurden durch die Anwendung von CPAP (6 cmH<sub>2</sub>O) in Kombination mit einer 5-minütigen Präoxygenierung durchgeführt. Es zeigte sich im anschliessenden CT-Bild, dass mit dieser Methode eine Zunahme von Atelektasen signifikant verhindert werden kann. Für eine suffiziente Wiedereröffnung bereits entstandener Atelektasen wird ein Atemwegsdruck von 40 cmH<sub>2</sub>O benötigt. Werden weniger hohe Druckniveaus verwendet, erzeugen diese etwa die Menge die dem Tidalvolumen (bis zur doppelten Menge des Tidalvolumens) entspricht, was für die Rekrutierung nicht ausreichend ist. Um die gesamte Lunge von Atelektasen zu befreien wird eine Blähung bis zur Vitalkapazität benötigt. Dies entspricht etwa 40 cmH<sub>2</sub>O. Zusätzlich ist auch die Dauer des Manövers entscheidend. Es wurde festgestellt, dass 7-8 Sekunden nötig sind, um eine Wiedereröffnung zu erzielen. Dieses Manöver wird daher von Rothen et al. vor allem kurz nach der trachealen Intubation und vor der Extubation empfohlen (Rothen, Sporre, Engberg, Wegenius, & Hedenstierna, 1993; Nimmagadda, Salem, & Crystal, 2017).

## 5 Vergleich der Methoden

Anhand von zwei europäischen Studien können die beiden Methoden der Präoxygenierung miteinander verglichen werden. Die Studien gehen jeweils der Frage nach, mit welcher Methode die Vermeidung einer Hypoxie positiv beeinflusst werden kann und wie viel Zeit bis zur Erreichung eines definierten  $FeO_2$  Wertes benötigt wird.

### 5.1 Studie von Baillard et al. (2006)

Die erste Studie wurde von Baillard et al. im Jahr 2006 verfasst. Die randomisierte Studie hat die Präoxygenierung vor einer RSI mit herkömmlicher Präoxygenierung (Spontanatmung mit einer Beutelventilmaske ohne Rückatmung für drei Minuten mit einer Zufuhr von 15 l/min  $O_2$ ) gegen positive Druckunterstützung in Kombination mit PEEP (inspiratorischen Druck von 12 mbar, PEEP von 5 mbar und einem  $FiO_2$  von 1,0) verglichen.

Die Hypothese war, dass PSV zur Präoxygenierung vor der Intubation besser geeignet ist, um eine Hypoxämie zu vermeiden. Der  $S_pO_2$  wurde während, 5 Minuten und 30 Minuten nach der Intubation gemessen. Die Ergebnisse zeigten einen deutlich positiven Effekt der Präoxygenierung mit positiver Druckunterstützung in Kombination mit PEEP auf. In der PSV-Gruppe (insgesamt 27 Personen) konnten bei allen Zeitmessungen verbesserte  $S_pO_2$ -Werte erfasst werden. Bei nur zwei Testpersonen wurden  $S_pO_2$ -Werte unter 80 % gemessen. Bei der herkömmlichen Präoxygenierung hingegen konnten bei 12 von insgesamt 26 Testpersonen  $S_pO_2$ -Werte <80 % festgestellt werden. Es wurde daraus geschlossen, dass die Präoxygenierung mit positiver Druckunterstützung in Kombination mit PEEP bei hypoxämischem Klientel in Rückenlage die FRC durch die Rekrutierung kollabierter Alveolen erhöht und somit eine verbesserte  $O_2$ -Reserve im Körper ermöglichen kann. Das spricht für eine verbesserte Oxygenierung bei einem direkten Vergleich dieser beiden Präoxygenierungsmethoden. Intubationsbezogene Risiken wie Aspiration, Aspirationspneumonie sowie Beatmungsdauer und Mortalität wurden in beiden Gruppen gleichermaßen erfasst und es zeigte sich in keiner der beiden Gruppen eine signifikante Häufung von unerwünschten Vorfällen (Heinemann, 2009; Baillard, et al., 2006).

### 5.2 Studie von Hanouz et al. (2015)

Die zweite Studie zum Vergleich der beiden Methoden wurde von Hanouz et al. im Jahr 2015 verfasst. Die Studie wurde über 15 Monate in einer Universitätsklinik in Frankreich durchgeführt und hat sich auf Erwachsene bei elektiven Eingriffen beschränkt. Hier lag der Fokus auf der Zeit zwischen dem Start der Präoxygenierung bis zur Erreichung eines  $FeO_2$  von 90 %. In der Gruppe mit Überdrückbeatmung und PEEP wurden der  $FeO_2$ -Zielwert innerhalb von 100-200 Sekunden erreicht. Der PSV Modus ohne PEEP benötigte 120-218 Sekunden. Bei der herkömmlichen Präoxygenierungsmethode dauerte es 130-264 Sekunden

bis zur Erreichung des Zielwertes. Anhand dieser Ergebnisse lässt sich ableiten, dass die PSV-Methode mit und ohne PEEP schneller FeO<sub>2</sub>-Zielwerte von 90 % erreicht werden können als die herkömmliche Präoxygenierung. Das kann in Notfallsituationen entscheidend sein. Zusätzlich wurde in dieser Studie die Zeit zwischen dem Anlegen der Gesichtsmaske und die Zeit, die nach der endotrachealen Intubation unter Apnoe verging, bis die S<sub>p</sub>O<sub>2</sub> auf 93 % abfiel, gemessen. Hier zeigten sich jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Methoden (Hanouz, et al., 2015).

### 5.3 Bezug zu unterschiedlichen Krankheitsbildern

#### **Menschen mit Adipositas**

Wie bereits vorstehend in Abbildung 3 von Meinig (2020) wird ein BMI über 30 kg/m<sup>2</sup> als einer der Prädiktoren für schwierige oder unmögliche Maskenbeatmung erwähnt. Zusätzlich ist bei Menschen mit Adipositas die Compliance der Lunge schwerkraftbedingt reduziert, die FRC ist deutlich verringert und führt zu einer erhöhten Neigung zu Atelektasen und Obstruktionen der Bronchien. Häufig bildet sich dadurch ein intrapulmonaler Shunt. Aufgrund dieser physiologischen Veränderungen bei Adipositas sollte bei der Präoxygenierung laut der Empfehlung von Nimmagadda et al. (2017) die PSV-Methode mit PEEP verwendet werden. Dadurch kann die Lunge während des gesamten Atemzyklus offengehalten werden, der intrapulmonale Shunt wird verringert und die zeitliche Sicherheitsspanne während der Apnoe kann erhöht werden. Die Technik wurde auch zur Verringerung der postoperativen pulmonalen Dysfunktion und zur Behandlung von Menschen mit respiratorischem Versagen verschiedener Ursachen eingesetzt. Die Kombination mit 25° erhöhtem Oberkörper verlängert nachweislich die Entsättigung um bis zu 50 zusätzliche Sekunden.

Auch Bouroche und Bourgain (2015) beschreiben die positiven Effekte der PSV Präoxygenierung mit PEEP bei schwer adipösen Menschen. Unter Anwendung dieser Präoxygenierungsmethode kommt es zu einer verbesserten Oxygenierung und deutlich seltener auftretenden Entsättigungsepisoden im Vergleich zur herkömmlichen Methode.

Eine ältere Studie von Tanoubi et al. (2009) hat ebenfalls die Präoxygenierung mit PSV und PEEP an adipösen Testpersonen geprüft. Dabei konnte eine kürzere Zeit bis zum Erreichen der Ziel-O<sub>2</sub>-Konzentration festgestellt werden, jedoch nicht eine Veränderung der Dauer der Apnoe bis zur Entsättigung (Tanoubi, Drolet, & Donati, 2009).

Wie bereits bei der herkömmlichen Präoxygenierungsmethode erwähnt und in Abbildung 5 ersichtlich, wirkt sich das Entfernen der Beatmungsmaske während des Präoxygenierungsprozesses signifikant auf die Gaskonzentrationen aus. Durch die bereits reduzierte FRC bei adipösen Menschen sollte daher besonders auf die Dichtigkeit der Beatmungsmaske geachtet werden (Nimmagadda, Salem, & Crystal, 2017).

## **Menschen mit Lungenerkrankungen**

Häufig brauchen Menschen mit Lungenerkrankungen deutlich mehr Kraft für die Atmung. Dies kann die Atemmuskulatur überlasten. Auch hier verändert sich die FRC, es kommt zu einem Ventilations-Perfusions-Mismatch. Die Beeinträchtigung des Gasaustausches durch eine Narkose birgt ebenfalls das Risiko einer Enttäufung. Bereits eine kurze Unterbrechung der Beatmung kann zu einer relevanten Desaturation führen. Das Hauptproblem sind hier nicht die Atelektasen, sondern die Schädigung der Alveolen durch die chronische Lungenüberblähung was beispielsweise bei COPD oder einem Lungenemphysem zutrifft. Hier ist die Präoxygenierung unerlässlich und sollte mindestens 5 Minuten dauern mit Tidalvolumenatmung. Betroffene mit obstruktiven Lungenerkrankungen profitieren vor allem von PEEP, da die Atemarbeit verringert werden kann und somit zu einer Entlastung führt (Nimmagadda, Salem, & Crystal, 2017).

Bouroche und Bourgain (2012) empfehlen bei der Präoxygenierung hauptsächlich auf die  $FeO_2$  zu achten. Bei chronischen Lungenerkrankungen kann die Dauer der Präoxygenierung deutlich länger dauern als gewohnt, bis die Zielwerte erreicht werden.

Die Beatmung mit PSV und PEEP wird bei chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen oder dem Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) empfohlen. Hier kann diese Methode zu einer Entlastung der Atemmuskulatur führen und sich positiv auf die Oxygenierung auswirken (Oczenski, 2012).

## 6 Diskussion

Grundsätzlich kristallisiert sich aus den Ergebnissen der Autorenschaft heraus, dass die PSV-Methode der herkömmlichen Präoxygenierungsmethode überlegen ist. Die PSV-Präoxygenierung zeigte in den Studien die besseren Ergebnisse bezüglich verbesserter O<sub>2</sub>-Werte und der Dauer der Präoxygenierung. Trotz dieser Erkenntnisse wird die Methode noch nicht standardmässig im anästhesiologischen Alltag angewendet. Baillard et al. (2006) und Heinemann (2009) konnten in ihren Arbeiten nachweisen, dass die verbesserten O<sub>2</sub>-Sättigungswerte, welche durch die PSV-Methode erreicht werden können, nicht nur während der Präoxygenierung wirken, sondern auch noch eine halbe Stunde danach fortbestehen. Auch Hanouz et al. (2015) haben festgestellt, dass sich die PSV-Methode in ihrem klinischen Alltag bewährt hat. In ihrer Studie lag der Fokus nicht auf der Verbesserung der O<sub>2</sub>-Werte, sondern auf der Zeitspanne zwischen Präoxygenierung und der Erreichung einer FeO<sub>2</sub> von 90 %. In diesen Studien zeigt sich eine Überlegenheit der PSV-Methode gegenüber der herkömmlichen Präoxygenierungsmethode. Allerdings wird in der Studie von Hanouz et al. (2015) kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Methoden in Bezug auf den Zeitpunkt in der die S<sub>p</sub>O<sub>2</sub> nach der Intubation unter Apnoe auf 93 % absank festgestellt. Bei Baillard et al. (2006) wurde ein signifikant kleinerer Anteil der Testpersonen mit einer Desaturierung unter PSV-Methode als bei der herkömmlichen Präoxygenierungsmethode festgestellt. Hier kommen Baillard und Hanouz in ihren randomisiert-kontrollierten Studien (RCT) zu unterschiedlichen Ergebnissen. Mit 150 Testpersonen bei Hanouz und 201 Testpersonen bei Baillard müssten weitere grössere RCT folgen, um zu einer eindeutigen Evidenz zu gelangen.

In Bezug auf die möglichen Risiken während der Durchführung der Präoxygenierung werden je nach Schwerpunkt im Präoxygenierungsprozess unterschiedliche Risiken genannt. Bei der vorgängigen Abklärung, welche Risiken die Präoxygenierung erschweren könnten werden die klassischen Prädikatoren einer erschwerten Maskenbeatmung durch Meining (2020) genannt. Weitere Risiken die durch den Präoxygenierungsprozess auftreten können, sind die Entstehung von Resorptionsatelektasen sowie die Bildung von Sauerstoffradikalen. Ursache für die letzten beiden Risiken stellt die zu hochprozentig verabreichte O<sub>2</sub>-Konzentration dar. Diese Erkenntnisse teilen Nimmagadda et al. (2017) und Fudickar et al. (2022).

Besonderes Augenmerk sollte aber auf Anwenderfehlern liegen. Bei der Durchführung können sich Fehler einschleichen, die eine suffiziente Präoxygenierung gefährden. Das zeigt eine Übereinstimmung bei Baillard et al. (2014) und Heck et al. (2001). In beiden Studien wurde festgestellt, dass die insuffiziente Präoxygenierung durch einen insuffizienten Frischgasfluss verursacht werden kann. Der Frischgasfluss lag unter 8 Liter/Minute. Erstaunlicherweise empfiehlt Larsen (2013) jedoch für die herkömmliche Präoxygenierung einen Fluss von nur

mindestens 6 Liter/Minute. Der durch Larsen empfohlene Frischgasfluss wurde bereits in der Studie von Heck et al. 2001 als zu wenig beschrieben. Für die Kreissysteme sollte ein hoher Fluss gewählt werden, der das Atemminutenvolumen (AMV) der zu versorgenden Person übersteigt.

Unterschiedliche Empfehlungen gibt es auch bei der Druckeinstellung in der PSV-Methode. Schäfer et al. (2011) benennen in ihrer Definition für die PSV-Methode Beatmungsdrücke von 5-10 mbar. Die Studie von Bourroche und Bourgain (2015) zeigt auf, dass idealerweise Beatmungsdrücke von maximal 6 mbar verwendet werden sollten. Zu hohe Beatmungsdrücke können den Diskomfort der Maskenbeatmung verstärken. Bei zu niedrigen Beatmungsdrücken wird nur das Totraumvolumen der Beatmungsschläuche gefüllt und kann mit dem Gefühl von nicht genügend Luft zu bekommen beschrieben werden. Heck et al. (2001) haben in ihrer Studie gezeigt, dass der Diskomfort der Maske von Betroffenen selbst nicht als unangenehm empfunden wird. Das könnte potenziell auf eine Verbindung mit den entsprechenden Beatmungsdrücken hinweisen, aber nicht mit der Maske an sich. Zum Diskomfort kann es durch viele Faktoren kommen, beispielsweise wenn das AMV den gewählten Frischgasfluss übersteigt.

Nimmagadda et al. (2017) schlussfolgern, dass sich die PSV-Präoxygenierung mit PEEP vor allem bei adipösen Menschen eignet und dort signifikant gute Ergebnisse erzielen kann. Tanoubi et al. (2009) stellen in ihrer Literaturrecherche fest, dass sich die PSV-Methode mit PEEP nur in einer verkürzten Zeit bis zur Erreichung der Ziel- $\text{FeO}_2$  auswirkt. Die Apnoetoleranz ohne Entsättigung hat sich durch die PSV-Methode nicht positiv verändert. Die Daten von Tanoubi et al. aus 2009 sind deutlich älter, während Nimmagadda auf aktuellere Studienergebnisse zurückgreifen konnten.

Bei chronischen Lungenerkrankungen lautet die Empfehlung von Nimmagadda et al. (2017) die herkömmlichen Präoxygenierungsmethode zu verwenden. Allerdings werden die positiven Effekte von PEEP hervorgehoben. Leider ist nicht ganz klar, ob der PEEP während der Präoxygenierung verwendet wurde oder für die weitere Beatmung empfohlen wird. Bourroche & Bourgain (2015) teilen diese Empfehlung und deuten zusätzlich auf die Länge der Präoxygenierung hin. Bei chronischen Lungenerkrankungen (Bezug hauptsächlich auf obstruktive Lungenerkrankungen) kann die Präoxygenierung länger dauern als sonst, daher sollte hauptsächlich auf die  $\text{FeO}_2$  geachtet werden. Oczenski (2012) ist in diesem Fall jedoch anderer Meinung. Er findet die PSV-Methode mit PEEP sei bei chronischen Lungenerkrankungen die bessere Variante, da es zu einer deutlichen Entlastung der Atemmuskulatur kommt. Die Dauer der Präoxygenierung wird dabei nicht erwähnt.

Rothen et al. haben bereits 1993 das Rekrutierungsmanöver in Kombination mit der Präoxygenierung als äusserst effektiv beschrieben. Atelektasen können somit geöffnet und beseitigt werden. Durch dieses Manöver wird mehr Austauschfläche für den Gasaustausch geschaffen und die gesamte Oxygenierung verbessert. Nimmagadda et al. (2017) teilen diese Ansicht und geben dieselbe Empfehlung ab. Rekrutierungsmanöver sollten nicht nur während einer Allgemeinanästhesie oder kurz vor der Extubation vorgenommen werden, sondern auch in den Präoxygenierungsprozess implementiert werden.

Die Oberkörperhochlage wird durch immer mehr Autoren hoch geschätzt. Laut Dixon et al. (2005) verbessert die Lagerung mit 20-25° erhöhtem Oberkörper nicht nur die Bedingungen für eine Intubation sondern auch für die Präoxygenierung. Dieser Erkenntnis können sich Piepho et al. (2015) und Frerk et al. (2015) anschliessen. Diese Massnahme zeigt sich sehr effizient und ist zudem sehr einfach herzustellen. Zusätzlich weisen Piepho et al. und Frerk et al. darauf hin, dass die Lagerung mit erhöhtem Oberkörper in Kombination mit der Präoxygenierungsmethode PSV mit PEEP ausserordentlich gute Ergebnisse zeigt. Im klinischen Alltag hat sich diese Kombination bewährt.

## 7 Schlussfolgerung und Konsequenzen

In diesem Abschnitt wird die Fragestellung «*Wie kann die Präoxygenierung gemäss aktueller Literaturempfehlung im Anästhesiealltag angewendet werden?*» anhand der Erkenntnisse dieser Diplomarbeit beantwortet.

Die beiden bearbeiteten Präoxygenierungsmethoden entsprechen den aktuellen Literaturempfehlungen und können grundsätzlich beide einfach in den Anästhesiealltag implementiert werden.

Fasst man die Ergebnisse der Studien von Fudickar (2022), Nimmagadda et al. (2017), Timmermann et al. (2019), Hanouz et al. (2015) und Baillard et al. (2006) zusammen, zeigt sich die PSV-Methode mit PEEP der herkömmlichen Präoxygenierung überlegen. Im Vergleich zu der herkömmlichen Variante konnten Studien zeigen, dass durch PSV und PEEP die Präoxygenierungszeit verkürzt und eine verbesserte  $S_aO_2$  bis zu einer halben Stunde nach der Intubation nachgewiesen werden kann. Die Autoren Nimmagadda et al., Bouroche und Bourgain empfehlen die Präoxygenierung mit PSV und PEEP vor allem bei Menschen mit Adipositas zu verwenden. Besonders hier lohnt sich neben der PSV-Methode die Anwendung von 25° Oberkörperhochlage und PEEP zu kombinieren. Kombinierte Rekrutierungsmanöver helfen zusätzlich die Oxygenierung in einer solchen Situation zu verbessern (Piepho et al., 2015; Nimmagadda, 2017; Rothen et al., 1993).

Für Menschen mit Lungenerkrankungen lässt sich aktuell keine explizite Empfehlung ableiten. Es ist entscheidend welche Pathophysiologie (obstruktive oder restriktive Problematik) hinter der Erkrankung steckt. Bouroche und Bourgain (2015) empfehlen die herkömmliche Methode für die Präoxygenierung. Oczenski (2012) sieht auch hier bei obstruktiven Lungenerkrankungen den positiven Nutzen der PSV-Methode mit PEEP durch die Entlastung der Atemmuskulatur und einer verbesserten Oxygenierung.

Welche Methode schlussendlich im klinischen Alltag verwendet wird entscheidet stets das behandelnde Anästhesieteam. Es ist jedoch wichtig, beide Methoden zu beherrschen, die Risiken zu kennen und auch über das nötige Hintergrundwissen zu verfügen. Zudem ist unabhängig von beiden Methoden die korrekte Durchführung essenziell. Worauf Baillard et al. (2014) und Heck et al. (2001) in ihren Studienergebnissen deutlich hinweisen, ist auch dass bei hoher hierarchischer Stellung die Präoxygenierung routinemässig und gründlich durchgeführt werden sollte um stets eine suffiziente Präoxygenierung erzielen zu können. Ebenfalls sollte auch der dichte Sitz der Beatmungsmaske für die zu behandelnden Personen nicht überbewertet werden, denn oft stellt die Beatmungsmaske tatsächlich gar keinen Diskomfort dar und kann bei beiden Methoden der Präoxygenierung sehr gut toleriert werden. Ein Maskendiskomfort kann auch durch eine mangelhafte Erklärung der Präoxygenierungsmassnahme oder einen zu niedrigen Frischgasfluss verursacht werden.

Auf der Suche nach den unterschiedlichen Präoxygenierungsmethoden wurden viele weitere Methoden gefunden, die jedoch noch zu wenig erforscht sind und über zu kleine Datenmengen verfügen. Gerade im Hinblick auf die Häufung der ARDS-Betroffenen im Rahmen der COVID19-Pandemie wird es weitere Erkenntnisse zur Präoxygenierung von kritisch Kranken geben. Durch die verschiedenen Studienergebnisse kann sich die Literaturempfehlung möglicherweise erneut ändern und weitere spannende Ergebnisse für unseren klinischen Alltag hervorbringen. Es lohnt sich diese «neuen» Methoden weiter zu verfolgen und sinnvolle Techniken in den Alltag zu implementieren, um auch so für eine höhere Patientensicherheit in der Anästhesieeinleitung zu sorgen.

## 8 Reflexion

Während der Bearbeitung der Präoxygenierungsmethoden bin ich auf diverse Möglichkeiten zur Präoxygenierung gestossen. Viele dieser Methoden waren neu für mich, was entsprechend mein Interesse geweckt hat mich mit all diesen Methoden auseinanderzusetzen. Durch die Bearbeitung der Disposition wurde mir bewusst, dass ich nicht alle Methoden in meiner Diplomarbeit berücksichtigen kann. Die Auswahl der zu thematisierenden Verfahren in der Diplomarbeit ist mir daher zunächst schwer gefallen. Schlussendlich habe ich mich für die herkömmliche Präoxygenierung und die PSV-Methode mit PEEP entschieden, weil diese beiden Methoden in meinem Anästhesiealltag im ZGKS hauptsächlich angewendet werden. Dank der Fokussierung auf diese beiden Methoden konnte ich vertieft auf sie eingehen und meine definierten Ziele besser verfolgen.

Mir wurde während des Schreibprozesses nochmals bewusst, welch hohen Stellenwert die Präoxygenierung im Anästhesiealltag hat. Wird die Beatmungsmaske nicht dichtgehalten oder wird sie bewusst angehoben, bildet sich der Fortschritt der Präoxygenierung beinahe auf den Ausgangswert zurück. Im Alltagsstress erleben wir leider immer wieder, dass die Präoxygenierung nur unzureichend durchgeführt wird. Um dies zu verhindern, braucht es Geduld und die Sensibilisierung für die Relevanz des gesamten Prozesses.

Meine Literaturrecherche und deren Ergebnisse haben mir beim Beantworten meiner Fragestellung sowie bei der Erreichung meiner definierten Ziele weitergeholfen. Darüber hinaus konnte ich mein Wissen in diesem Bereich vertiefen und die Lungenphysiologie wiederholen. Die Ziele, die ich mir gesetzt habe, konnte ich mit Hilfe der erarbeiteten Literatur erreichen.

Mit den Erkenntnissen meiner Diplomarbeit möchte ich aufzeigen, wie relevant die Anästhesiepflegefachperson den Präoxygenierungsprozess beeinflussen kann. Bereits die Lagerung des Oberkörpers oder die Rekrutierungsmanöver haben einen grossen Einfluss auf

eine stabile Einleitung. Ich bin froh, dass die Präoxygenierung im ZGKS einen hohen Stellenwert hat und wir häufig neben der herkömmlichen Präoxygenierung auch die PSV-Methode mit PEEP verwenden. Die Patientensicherheit ist uns ein grosses Anliegen, weswegen der sicheren und suffizienten Präoxygenierung ein hoher Stellenwert zukommt. Die Erkenntnisse lassen sich nicht nur auf elektive Eingriffe beschränken, sondern auch im Notfall bei Einleitungen im Schockraum oder auf der Intensivstation können diese Methoden angewendet und umgesetzt werden. Ich setze die Erkenntnisse aus meiner Diplomarbeit in meinem Arbeitsalltag täglich um und bin mir dank meiner Diplomarbeit der Wichtigkeit der korrekten Präoxygenierung bewusster denn je.

## 9 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei allen Personen bedanken, die mich während des Schreibens der Diplomarbeit stets begleitet und unterstützt haben. Zuerst gebührt mein Dank meiner Familie und meinem Partner, für die Motivation und die mentale Unterstützung.

Ich bedanke mich bei Karin Müller, für die hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik während des Schreibprozesses. Ausserdem möchte ich mich auch bei Dr. med. Benedikt Florian Scherr und Dr. med. Tim Merriam für den fachlichen Austausch bedanken, der mir sehr weitergeholfen hat.

## 10 Literaturverzeichnis

- Baillard, C., Depret, F., Levy, V., Boubaya, M. & Beloucif, S. (2014). Incidence and prediction of inadequate preoxygenation before induction of anesthesia. *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation*, 33/4. S. 55-58.
- Baillard, C., Fosse, J. P., Sebbane, M., Chanques, G., Vincent, F., Courouble, P. & Jaber, S. (2006). Noninvasive Ventilation Improves Preoxygenation before Intubation of Hypoxic Patients. *Am J Respir Crit Care Med*, 174. S. 171-177.
- Baum, J., Neumann, P., Schiffmann, J. H. & Züchner, K. (2010). Physiologie und Pathophysiologie der Atmung. In J. Rathgeber (Hrsg.), *Grundlagen der maschinellen Beatmung* (2. Auflage), (S. 49-50). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Bouroche, G. & Bourgain, J. L. (2015). Pregoxygenation and general anesthesia: a review. *Edizioni Minerva Medica*, 81/8. S. 910-920.
- Dixon, B., Carden, J. R., Burn, A. J., Schachter, L. M., Playfair, J. M., Laurie, C. & O'Brien, P. E. (2005). Preoxygenation Is More Effective in the 25° Head-up Position Than in the Supine Position in Severely Obese Patients. *American Society of Anesthesiologists*, 102. S. 1110-1115.
- Frerk, C., Mitchell, V. S., McNarry, A. F., Mendonca, C., Bhagrath, R., Patel, A. & Ahmad, I. (2015). Difficult Airway Society 2015 guidelines for management of unanticipated difficult intubation in adults. *British Journal of Anaesthesia*, 115. S. 827-848.
- Fudickar, A., Wagener, K. & Becher, T. (2022). Präoxygenierung: Visualisierung durch ein einfaches Rechenmodell. *A&I Anästhesiologie & Intensivmedizin*, 63. S.148-154.
- Hanouz, J. L., Lammens, S., Tasle, M., Lesage, A., Gérard, J. L. & Plaud, B. (2015). Preoxygenation by spontaneous breathing or noninvasive positive pressure ventilation with and without positive end-expiratory pressure. *European Journal of Anaesthesiology*, 32. S. 881-887.
- Heck, Z., Stegmann, J.-U., Lorenz, C., Heck, M. & Schlack, W. (2001). Akzeptanz der Präoxygenierung in der klinischen Routine. *AINS – Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie*, 36. S. 471-475.
- Heinemann, F. (2009). Nicht-invasive Beatmung: was gibt es Neues? *Intensivmed*, 46. S. 39-47.

- Larsen, R. (2013). Präoxygenierung des Patienten. *Anästhesie* (10. Auflage), (S. 486-487). München: Urban & Fischer.
- Larsen, R. (2016). Physiologie der Atmung. In R. Larsen, *Anästhesie und Intensivmedizin für die Fachpflege* (9. Auflage), (S. 696-708). Berlin/Heidelberg: Springer Verlag.
- Meinig, T. (2020). *SOP Schwieriger Atemweg*. Abgerufen am 12. 05. 2022 von Helios Gesundheit: <https://www.helios-gesundheit.de/kliniken/erfurt/unsere-angebote/unsere-fachbereiche/anaesthesie/fortbildung-lehre-forschung-sops/sops-der-kans/schwieriger-atemweg/>
- Neumann, P. (2020). Lungenkollaps und Atelektasen. In P. Neumann, R. Dembinski, M. Pfeifer & T. Bein (Hrsg.), *Intensivbuch Lunge und Beatmung* (4. Auflage). (S. 105-135). Berlin: Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Nimmagadda, U., Salem, R. & Crystal, G. J. (2017). Preoxygenation: Physiologic Basis, Benefits, and Potential Risks. *Anaesthesia Patient Safety Foundation*, 124/2. S. 507-517.
- Oczenski, W. (2012). *Atmen - Atemhilfen* (9. Auflage). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Piepho, T., Cavus, E., Noppens, R., Byhahn, C., Döriges, V., Zwissler, B., & Timmermann, A. (2015). S1-Leitlinie: Atemwegsmanagement. *DGAInfo*, 56. S. 5-10.
- Rothen, H. U., Sporre, B., Engberg, G., Wegenius, G. & Hedenstierna, G. (1993). Re-expansion of atelectasis during general anaesthesia: a computed tomography study. *British Journal of Anaesthesia*, 71. S. 788-795.
- Schäfer, S., Kirsch, F., Scheuermann, G. & Wagner, R. (2011). Grundlagen aus Anatomie und Physiologie. *Fachpflege Beatmung* (6. Auflage, S. 8, 114-151). München: Elsevier GmbH.
- Tanoubi, I., Drolet, P. & Donati, F. (2009). Optimizing preoxygenation in adults. *Canadian Anesthesiologists' Society*, 56. S. 449-466.
- Timmermann, A., Böttiger, B. W., Byhahn, C., Döriges, V., Eich, C., Gräsner, J. T. & Berhard, M. (2019). AWMF Leitlinie «Prähospitales Atemwegsmanagement». *Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF online)*. S. 11-19.

Weingart, S. & Levitan, R. (2012). Preoxygenation and Prevention of Desaturation During Emergency Airway Management. *Annals of Emergency Medicine*, 59/3. S. 165-172.

Westhoff, M., Schönhofer, B., Neumann, P., Bickenbach, J., Barchfeld, T., Becker, H. & Windisch, W. (2015). S3-Leitlinie Nichtinvasive Beatmung als Therapie der akuten respiratorischen Insuffizienz. *Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin AWMF*, 20/4. S. 10 & 35.

## 11 Abbildungsverzeichnis

Titelbild, Screenshot aus Film (1:13 Minuten), abgerufen am 10. Juli 2022, unter: <a href="https://www.professional.ch/jobs/unternehmensprofil/107026-zuger-kantonsspital">https://www.professional.ch/jobs/unternehmensprofil/107026-zuger-kantonsspital</a> .....	
Abbildung 1 Lungenvolumina und Lungenkapazitäten .....	8
Abbildung 2 Sauerstoffdissoziationskurve (Baum, Neumann, Schiffmann & Züchner, 2010) .	9
Abbildung 3 Prädiktoren der schwierigen oder unmöglichen Maskenbeatmung (Meinig, 2020) .....	11
Abbildung 4 Präoxygenierung und AZV bis 90 % FeO <sub>2</sub> .....	13
Abbildung 5 Unterbrechung der O <sub>2</sub> -Zufuhr während der Präoxygenierung (Fudickar, Wagener & Becher, 2022) .....	14

## 12 Eigenständigkeitserklärung

Ich bestätige,

dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig verfasst habe und dass fremde Quellen, welche in der Arbeit enthalten sind, deutlich gekennzeichnet sind.

dass alle wörtlichen Zitate als solche gekennzeichnet sind.

dass ich die Bereichsleitung Weiterbildung vorgängig informiere, wenn die Arbeit als Ganzes oder Teile davon veröffentlicht werden.

Ich nehme zur Kenntnis, dass das Bildungszentrum Xund über die Aufnahme der Diplomarbeit in der Bibliothek, einer Aufschaltung auf der Homepage des Bildungszentrums Xund oder auf Homepages von Fachgesellschaften entscheidet. Sie kann ebenso zu Schulungszwecken für den Unterricht in den NDS Studien AIN verwendet werden.

Ort und Datum: Zug, 10. September 2022

Vorname, Name: Alessandra Rizzi

Unterschrift: \_\_\_\_\_

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'ARizzi', written over a horizontal line.

## 13 Anhang

### **Bildung von Sauerstoffradikalen**

Durch die hochprozentige O<sub>2</sub>-Zufuhr bei der Präoxygenierung kann es zu einer Produktion von reaktiven Sauerstoffradikalen kommen. O<sub>2</sub> ist ein paramagnetisches Atom mit zwei ungepaarten Elektronen. Im biologischen Gewebe kann das Molekül versehentlich oder absichtlich gespalten werden, wodurch reaktive Sauerstoffradikale entstehen. Diese reaktiven Sauerstoffradikale können mit anderen Substanzen im Körper reagieren und erhebliche Zellschäden verursachen. Normalerweise können endogene antioxidative Mechanismen im Körper die Bildung von Sauerstoffradikalen verhindern. Das Vorliegen von vielen reaktiven Sauerstoffradikalen führt zu oxidativem Stress. Ein FiO<sub>2</sub> von 1.0 kann die vermehrte Bildung von Sauerstoffradikalen verursachen. Erst nach 12 Stunden bei Atmung mit hohen O<sub>2</sub>-Konzentrationen können Anzeichen für eine frühe Lungenschädigung auftreten. Allerdings sind durch die kurze Dauer der Präoxygenierung keine Zellschädigungen zu erwarten (Nimmagadda et al., 2017; Fudickar, Wagener & Becher, 2022).