

**Aus der Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie  
der Universität Würzburg**

**Direktor: Univ.- Prof. Dr. med. Dr. h.c. N. Roewer**

**Ist die Anwendung lungenprotektiver Beatmungsmuster mit  
Tidalvolumina von 6 ml/kg Körpergewicht bei mehr als 90% aller  
beatmeten Patienten Fakt oder Fiktion?**

**Inaugural - Dissertation**

**zur Erlangung der Doktorwürde der**

**Medizinischen Fakultät**

**der**

**Julius-Maximilians-Universität Würzburg**

**vorgelegt von**

**Heiko Benthin**

**aus Wuppertal**

**Würzburg, März 2015**

Referent: Univ.-Prof. Dr. med. C. Wunder

Korreferent: apl. Prof. Dr. med. M. Schmidt

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 10.08.2015

Der Promovend ist Arzt

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1 ARDS - Das Acute Respiratory Distress Syndrome .....	1
1.2 Beatmungs- und Weaningkonzepte .....	6
1.2.1 Beatmungskonzepte.....	6
1.2.2 Weaningkonzepte .....	8
1.3 6ml-Kampagne .....	13
1.4 Ziel der Arbeit .....	13
2. Material und Methoden.....	15
3. Ergebnisse .....	20
3.1 Biometrische Daten des Patientenkollektives .....	20
3.2 Beatmungsparameter .....	30
3.2.1 Abweichung von den vorgesehenen Beatmungsparametern.....	30
3.2.2 Selbsteinschätzung .....	34
3.2.3 Objektive Beurteilung der Einhaltung der vorgesehenen Beatmungsparameter.....	36
3.3 Weaningfehler .....	40
3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse .....	45
4. Diskussion .....	46
4.1 Biometrische Daten .....	46
4.2 Abweichungen von den vorgesehenen Beatmungsparametern. ....	47
4.3 Weaningversager .....	51
4.4 Ausblick .....	53
4.5 Fazit .....	54
5. Zusammenfassung.....	56
6. Literatur .....	59
7. Abkürzungs- und Abbildungsverzeichnis.....	68
7.1 Abkürzungsverzeichnis.....	68
7.2 Abbildungsverzeichnis.....	70
8. Anhang .....	73
8.1 Kick Off Flyer der Kampagne „Jetzt lassen wir die Luft raus...“ .....	73



## 1. Einleitung

### 1.1 ARDS - Das Acute Respiratory Distress Syndrome

Die Erstbeschreibung des akuten Lungenversagens durch Ashbaugh et al. wurde 1967 in Lancet [4] veröffentlicht. Er beschrieb eine Reihe von 12 Patienten, die innerhalb von maximal 96 Stunden ein akutes Lungenversagen entwickelt hatten. Von diesen Patienten (zwischen 11 und 48 Jahren) hatten sieben ein Trauma erlitten, einer eine akute Pankreatitis und vier eine Pneumonie unterschiedlicher Genese erworben. Zehn der Patienten hatten keine anamnestischen Hinweise auf pulmonale Probleme, bei einem Patienten war ein frühkindliches Asthma bekannt und bei einem Patienten eine chronische Bronchitis durch Nikotinabusus. Alle Patienten zeigten zu Beginn des Lungenversagens die Symptome Tachypnoe, Hypoxämie und eine Verschlechterung der pulmonalen Compliance. Ashbaugh verglich das Krankheitsbild mit dem akuten Lungenversagen des Neugeborenen mit Surfactant-Mangel. Die üblichen volumenkontrollierten Beatmungsverfahren mit hohen Tidalvolumina und hohen Beatmungsspitzendrücken zeigten nur wenig Erfolg, einzig ein erhöhter positiver endexpiratorischer Druck (positive end-expiratory pressure = PEEP) war hilfreich. Der PEEP ist ein beim künstlich beatmeten Patienten am Ende der Expiration aufrechterhaltener Überdruck. Eine einheitliche Definition des akuten Lungenversagens [3, 9] wurde erst 1994 durch die American-European Consensus Conference (AECC, eine amerikanisch europäische Expertenkommission) veröffentlicht. Sie unterschied die Stadien „acute lung injury“ (ALI) und „acute respiratory distress syndrome“ (ARDS). Die Diagnose setzte in beiden Fällen einen akuten Beginn, bilaterale Infiltrate in der Thoraxröntgenaufnahme und eine nicht kardiale Ursache des Lungenödems voraus. Zur weiteren Differenzierung wurde der Oxygenierungsindex angewandt, der in der Intensivmedizin die Oxygenierungsleistung der Lungen beschreibt. Zur Berechnung des Oxygenierungsindexes wird der Quotient aus dem arteriellen Sauerstoffpartialdruck und der inspiratorischen Sauerstoffkonzentration ( $F_iO_2$ ) gebildet. Beim ALI liegt der Oxygenierungsindex unter 300mmHg, beim ARDS

unter 200mmHg, unabhängig vom angewandten PEEP [9]. Die künstliche Beatmung von ARDS-Patienten wurde traditionell mit Tidalvolumina von 10-15ml/kgKG durchgeführt. Auf eine Begrenzung der Beatmungsdrücke und die Anwendung eines adäquaten PEEP wurde nicht geachtet. Da aber die Mortalität des ARDS weiterhin 40-50% betrug und es nur wenig Progress in der Therapie des ARDS gab, wurde im Jahr 2000 die „ARDS net Studie“ ins Leben gerufen [82]. In der „ARDS net Studie“, die als randomisierte Multicenterstudie angelegt war, wurden folgende Beatmungsregime miteinander verglichen:

- Tidalvolumen 12 ml/kgKG bis zu einem maximalen Beatmungsdruck von 50 cmH<sub>2</sub>O
- Tidalvolumen 6 ml/kgKG bis zu einem maximalen Beatmungsdruck von 30 cmH<sub>2</sub>O

Die Patienten wurden in zehn universitären Zentren in den USA rekrutiert. Als first primary outcome wurde der Tod des Patienten vor Entlassung bzw. erfolgreichem Weaning definiert, als second primary outcome die Anzahl der Tage ohne Beatmung im Beobachtungszeitraum von 28 Tagen. Die Mortalität der Patienten in der 12 ml/kgKG Tidalvolumen-Gruppe lag signifikant über der Mortalität der 6 ml/kgKG Tidalvolumen-Gruppe (39,8% v. 31,0%, P=0,007). Auch bei den beatmungsfreien Tagen schnitt die 6ml-Gruppe signifikant besser als die 12ml-Gruppe ab (10 +/- 11 vs. 12 +/- 11 beatmungsfreie Tage in der ersten vier Wochen, P=0,007). Das Tidalvolumen in den ersten drei Tagen betrug in der 6ml-Gruppe 6,2 +/- 0,8 ml/kgKG idealisiertes Körpergewicht und in der 12 ml-Gruppe bei 11,8 +/- 0,8 ml/kgKG. Der Beatmungsdruck betrug in der Gruppe mit einem Tidalvolumen von 6 ml/kgKG 25 +/- 6 cmH<sub>2</sub>O und in der Gruppe 12 ml/kgKG Tidalvolumen 33 +/- 8 cmH<sub>2</sub>O. Bedingt durch die signifikant höhere Mortalität in der 12 ml-Gruppe und die signifikant niedrigeren notwendigen Beatmungstage in der 6 ml-Gruppe wurde die Studie nach 861 Patienten abgebrochen.

Auslöser des ARDS können verschiedene Noxen sein, die jedoch alle ein ähnliches klinisches Bild mit Hypoxie, Tachypnoe und bilateralen Infiltraten hervorrufen. Dabei kommen vor allem Infektionen/Sepsis, Traumata, Massivtransfusionen, Inhalationstraumata, Magensaftaspiration und

metabolische Ursachen zum Tragen [14]. Unabhängig von der Genese ist die Schwere der Grunderkrankung hauptverantwortlich für die Mortalität des ARDS [9]. Daher ist die Behandlung der Erkrankung, die für die Entstehung des ARDS verantwortlich zeichnet, der wichtigste Behandlungsbaustein [17, 43].

Durch ein ARDS kommt es zu schweren physiologischen Veränderungen der Lungenstrukturen, die sich in drei Phasen einteilen lassen [61]. Bereits in der Akutphase oder exsudativen Phase des ARDS erhöht sich der Flüssigkeitsgehalt der Lunge bei gleichzeitiger Minderung der luftgefüllten Anteile. Es kommt zur Schädigung des alveolären Endothels mit einer entsprechenden Permeabilitätssteigerung und einem Flüssigkeitsübertritt in die Alveolen. In der frühen proliferativen Phase bilden sich in den Alveolen hyaline Membranen mit einsprossendem Bindegewebe. In der späten proliferativen Phase kann es zur Hepatisation der Lunge kommen. Hierbei kommt es durch Einlagerung von Fibrin und Erythrozyten zur Verdichtung des Lungengewebes, das dann makroskopisch dem Lebergewebe ähnlich sieht. Dieser Vorgang ist irreversibel. In diesen irreversibel geschädigten Bereichen ist die Funktion der Lunge meist deutlich eingeschränkt [43].

Nach der ARDS-Definition Task Force, einer internationalen Expertenkommission, ist beim milden ARDS (Stand 2012) mit einer Letalität von 27%, beim moderaten ARDS von 32% und beim schweren ARDS von 45% zu rechnen, wobei weniger als 20% der Patienten direkt am respiratorischen Versagen versterben, sondern in der Regel am Multiorganversagen [83]. Die bisherigen Untersuchungen lassen nur eine Schätzung der Inzidenz von ca. 60 Fällen pro 100.000 Einwohnern zu [9, 73]. Ohne eine schlüssige Erklärung scheint es insgesamt einen Rückgang der Erkrankung zu geben [91]. Bei allen invasiv beatmeten Patienten kann es auch zu einem, dem ARDS ähnlichen, beatmungsinduzierten akuten Lungenversagen (Ventilator induced Lung Injury, VILI) kommen. Durch hohe Spitzenbeatmungsdrücke ( $P_{Peak}$ ) kommt es entweder zu einer Schädigung der Lunge mit konsekutivem Lungenversagen oder durch die künstliche Überdruckbeatmung zu Barotraumen (z.B. Pneumothorax durch Verletzungen des Lungengewebes). Ein drittes Schädigungsmuster sind Volutraumata, die sich mit Verletzungen durch

Scherkräfte im Lungengewebe bei hohen Tidalvolumina manifestieren [13, 45, 50, 67, 85].

2012 wurde durch die ARDS-Definition Task Force eine neue Einteilung, die Berlin Definition des ARDS erarbeitet [83]:

- Entwicklung innerhalb einer Woche
- Bilaterale Infiltrate in der Röntgenübersichtsaufnahme des Thorax oder in der thorakalen Computertomografie (CT)
- Kein Hinweis auf eine kardiale Ursache des Lungenödems

Die Einteilung des ARDS erfolgt nach der Schwere der Oxygenierungsstörung:

- Mildes ARDS ( $p_aO_2/F_iO_2 \leq 300\text{mmHg}$ , aber  $> 200\text{mmHg}$  mit PEEP oder CPAP  $\geq 5 \text{ kPa} \cdot 100$ ) (CPAP = Continuous positive airway pressure; Kontinuierlicher positiver Atemwegsdruck)
- Moderates ARDS ( $p_aO_2/F_iO_2 \leq 200\text{mmHg}$ , aber  $> 100\text{mmHg}$  mit PEEP  $\geq 5 \text{ kPa} \cdot 100$ )
- Schweres ARDS ( $p_aO_2/F_iO_2 \leq 100\text{mmHg}$  mit PEEP  $\geq 5 \text{ kPa} \cdot 100$ )

Zur Diagnosestellung werden eine Röntgenübersichtsaufnahme oder eine Computertomografie des Thorax, arterielle Blutgasanalysen, eine echokardiografische Untersuchung des Herzens oder Messung des pulmonalkapillären Verschlussdruckes und ggf. eine Messung des extravasalen Lungenwassers benötigt [82, 83]. Das extravasale Lungenwasser beschreibt quantitativ ein interstitielles Lungenödem. Die Messung des Herzzeitvolumens und der peripheren Gefäßwiderstände erfolgt entweder mittels Pulmonalkatheter oder Pulsconturanalyse. Der pulmonalkapilläre Verschlussdruck beschreibt bei intakter Mitralklappe näherungsweise den linksventrikulären enddiastolischen Druck (LVEDP) und lässt darüber einen Rückschluss über die Funktion des linken Herzens zu. Bestimmt wird der pulmonalkapilläre Verschlussdruck über einen sogenannten Rechtsherzkatheter (Swan-Ganz- bzw. Pulmonalkatheter), der mittels eines kleinen Ballons intermittierend eine Lungenarterie verschließt [59]. Bei der Pulsconturanalyse werden durch eine transpulmonale Thermodilution (Steward-Hamilton-Methode) unter anderem das Herzzeitvolumen, der periphere Gefäßwiderstand und das extravasale Lungenwasser bestimmt. Hierbei kommt das PiCCO®-System

(Pulse Contour Cardiac Output, Pulsion Medical Systems, München) zum Einsatz. Das extravasale Lungenwasser kann als Parameter für die Wahrscheinlichkeit eines Lungenödems herangezogen werden, ferner kann dieser Wert bei der Entscheidung helfen, dem Patienten weitere Infusionen zukommen zu lassen oder mittels kontinuierlicher Hämofiltration zu entziehen [54, 59].

Die Behandlung des ARDS erfolgt durch eine differenzierte lungenprotektive Beatmung, ein möglichst restriktives Flüssigkeitsmanagement und vor allem durch die Behandlung der Grundkrankheit [17, 43]. Zur Reduktion von Ventilator assoziierten Pneumonien gilt es, das folgende Maßnahmenbündel anzuwenden [56]:

- tägliche Sedierungspause,
- täglicher Spontanatmungsversuch,
- 45° Oberkörperhochlage,
- selektiven oralen Dekontamination mit Chlorhexidin
- supraglottische Absaugung mittels Spezialtubus

Zu den etablierten Therapiemaßnahmen zählt außerdem die dorsoventrale Wechsellagerung. Hierbei wird der Patient zur Verbesserung der Oxygenierung entweder in einem Spezialbett kontinuierlich um seine Längsachse zu beiden Seiten um 135° rotiert oder abwechselnd für je 12 Stunden auf dem Rücken bzw. auf dem Bauch gelagert, [18, 32, 33, 51, 77, 86]. Guérin et al. konnten im Rahmen der PROSEVA-Studie eine signifikante Reduktion der Mortalität bei ARDS-Patienten zeigen, die mittels dorsoventraler Wechsellagerung behandelt wurden [31]. Zusätzliche adjuvante Therapieoptionen sind die Anwendung von Steroiden, inhalative Vasodilatoren, Hochfrequenzbeatmung (HFOV) sowie extrakorporale Lungenunterstützungsverfahren. Bei bisher fehlender Outcomerelevanz sollten diese Verfahren nur in Studien oder als Rescue-Verfahren in erfahrenen Zentren angewandt werden [25, 26, 90]. Bei den extrakorporalen Lungenunterstützungsverfahren (extracorporeal lung assist - ECLA) gibt es drei Varianten:

- Venovenöse extrakorporale Membranoxygenierung (vv-ECMO): Bei diesem pumpengetriebenen Verfahren ist in Abhängigkeit vom

erreichbaren Membranlungenblutfluß ein kompletter pulmonaler Organersatz erreichbar [41, 47]

- Arteriovenöse pumpenlose extrakorporale Lungenassistenz (pECLA oder av-ECLA): Bei diesem pumpenlosen Verfahren, das einen ausreichenden Blutdruck und ein suffizientes HZV voraussetzt, ist lediglich eine hocheffektive CO<sub>2</sub>-Elimination zu erreichen [41, 47]
- Venoarterielle ECMO (va-ECMO): Dieses pumpengetriebene Verfahren dient der kombinierten Herz-Lungen-Unterstützung insbesondere bei Rechtsherzversagen [41, 47, 66]

## 1.2 Beatmungs- und Weaningkonzepte

### 1.2.1 Beatmungskonzepte

Die wichtigste Therapieoption beim respiratorischen Versagen ist die apparative Beatmung. Man unterscheidet invasive Beatmungsformen über einen Endotrachealtubus oder eine Trachealkanüle von nichtinvasiven Beatmungsformen über eine Gesichtsmaske. Die nichtinvasive Beatmung spielt in der Initialphase eines Lungenversagens bisher keine Rolle, wird aber zunehmend während der Entwöhnung von einer Beatmungstherapie eingesetzt [37]. Bei der invasiven Beatmung von Intensivpatienten können volumenkontrollierte und druckkontrollierte Beatmungsmodi angewandt werden [48, 81].

Bei der Intermittent Positive Pressure Ventilation (IPPV), einem volumenkontrollierten Beatmungsverfahren, wird über die Beatmungsmaschine ein vorgegebenes Tidalvolumen in der vorgegebenen Frequenz konstant appliziert. Bei der Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation (SIMV), ebenfalls ein volumenkontrolliertes Beatmungsverfahren mit konstanten Tidalvolumina, kann der Patient spontane Atemzüge durchführen, die mit der Beatmungsmaschine synchronisiert werden. Diese spontanen Atemzüge werden durch das Assisted Spontaneous Breathing (ASB) unterstützt, sofern der Patient in der Lage ist, den Respirator zu triggern, d.h. einen ausreichenden Sog (Volumen pro Zeiteinheit) im Beatmungstubus zu erzeugen [44, 49].

Beim Biphasic Positive Airway Pressure (BIPAP), einem druckkontrollierten Beatmungsverfahren, kann der Patient unabhängig vom Beatmungsmuster spontane Atemzüge tätigen, die dann mit dem ASB-Modus unterstützt werden können. Hauptmerkmal des BIPAP ist das Abwechseln zweier Druckniveaus, wobei das untere Druckniveau der Expiration dem PEEP entspricht und das obere der Inspiration. Der Nachteil aller druckkontrollierten Beatmungsmodi liegt daran, dass in Abhängigkeit von Complianceveränderungen der Lunge und des Thorax, keine automatische Volumenkonstanz des Tidalvolumens garantiert werden kann. Daher muss die Beatmungsdruckamplitude im Verlauf engmaschig überprüft und ggf. angepasst werden.

Ziel der Beatmung sind eine ausreichende Oxygenierung und Decarboxylierung des Patienten und sowie eine adäquate Protektion der Lunge. Die Zielwerte für die Oxygenierung sind in Abhängigkeit vom Lebensalter und der Grundkrankheit ein arterieller Sauerstoffpartialdruck ( $paO_2$ ) von 55-80 mmHg und eine periphere pulsoxymetrische Sättigung ( $SpO_2$ ) von 88-95%. Wird die Beatmung mit kleinen Tidalvolumina, einer möglichst geringen Beatmungsdruckamplitude und einem ausreichenden PEEP-Niveau durchgeführt, wird sie als lungenprotektiv bezeichnet. Den volumenkontrollierten Beatmungsverfahren ist im Rahmen der lungenprotektiven Beatmung der Vorzug zu geben, da nur hier die kontinuierliche Applikation gleichmäßiger Tidalvolumina garantiert werden kann und es bisher keine Studien gibt, die eine Verbesserung des Outcomes bei druckkontrollierter Beatmung belegen. Bei der druckkontrollierten Beatmung (z.B. BIPAP) kann es durch Complianceänderungen zur Ventilation mit niedrigeren Atemminutenvolumina kommen, wodurch der arterielle Kohlendioxidpartialdruck ( $paCO_2$ ) im Blut ggf. ansteigen kann. Liegen keine Kontraindikationen vor, wie z.B. ein erhöhter intrakranieller Druck, wird dieser erhöhte Kohlendioxidspiegel (Hyperkapnie) im arteriellen Blut toleriert [82, 83]. Die ggf. entstehende respiratorische Azidose wird bis zu einem pH von 7,2 toleriert („permissive Hyperkapnie“). Eine Erhöhung der Atemfrequenz als primäre Maßnahme zur Verbesserung der  $CO_2$ -Elimination ist nur innerhalb gewisser Grenzen möglich, da sonst die Totraumventilation überproportional zunimmt. Danach kann das Tidalvolumen auf 8 ml/kgKg erhöht

werden oder es können extrakorporale Lungenunterstützungsverfahren angewandt werden. Zur Verbesserung der Oxygenierung wird eine geeignete inspiratorische Sauerstoffkonzentration ( $F_{iO_2}$ ) mit einem korrespondierenden PEEP gewählt. Doch muss die schädigende Wirkung einer erhöhten Sauerstoffkonzentration im Organismus, die Sauerstofftoxizität, beachtet werden, die unter anderem durch die Bildung freier Sauerstoffradikale zur pulmonalarteriellen Vasokonstriktion und Störungen der mukoziliären Clearance führt. Bei einer erhöhten  $F_{iO_2}$  kann es außerdem zu Resorptionsatelektasen kommen. Atelektasen sind kollabierte Lungenabschnitte oder Alveolarbereiche, die nicht am Gasaustausch teilnehmen. Sie können durch erhöhten abdominellen Druck, Verlegung des Bronchialbaumes durch Sekrete oder Resorption von Gasen entstehen [43]. Hier bieten Recruitmentmanöver (z.B. nach Lachmann) durch eine kurzzeitige inspiratorische Druckerhöhung in der Lunge die Möglichkeit, diese atelektatischen Lungenbezirke zu eröffnen und mit einem geeigneten PEEP offen zu halten [36, 42, 63, 88]. Im Bereich der Atelektasen können sogenannte Atelektraumata des Lungengewebes entstehen, wobei es in den Grenzbereichen zwischen belüfteten und nicht belüfteten Lungenbezirken durch starke Scherkräfte zu sogenannten Recruitment-Derecruitment-induzierten Alveolarschädigungen kommt [28, 45, 55, 64]. Dies sind Entzündungsreaktionen und Surfactantschäden. Diese Mikrotraumata schädigen die alveolokapilläre Integrität ohne den Austritt von Luft. All diese Traumata des Lungengewebes bewirken eine beatmungsinduzierte Freisetzung von Entzündungsmediatoren, die wiederum ein Organ- bzw. Multiorganversagen fördern [1, 6, 53]. Zusammenfassend ist es also rational, bei der Beatmungseinstellung  $F_{iO_2}$  und PEEP fix aneinander zu koppeln, damit die Nebenwirkungen beider Parameter möglichst minimiert werden können.

### 1.2.2 Weaningkonzepte

Jede Deeskalation der Beatmungsintensität dient primär dem Ziel, den Patienten vom Respirator zu entwöhnen. Dieser Vorgang wird als Weaning

bezeichnet. Das Weaning von beatmeten Patienten kann man in drei Gruppen einteilen [12]:

- Unkompliziertes Weaning (60-70%): Diese Patienten werden zeitnah extubiert.
- Schwieriges Weaning (25%): Diese Patienten benötigen bis zu sieben Tage bzw. bis zu drei Spontanatmungsversuche bis zur Extubation.
- Langwieriges Weaning (bis 15%): Diese Patienten benötigen länger als sieben Tage bzw. mehr als drei Spontanatmungsversuche bis zur Extubation und haben dabei eine dreifach höhere Mortalität.

Risikofaktoren für ein Weaningversagen sind ein Alter über 70 Jahre, eine längere Beatmungszeit, kontinuierliche intravenöse Analgosedierung und eine Anämie [72]. Die tägliche Planung des Weanings und der Sedierungspause erfolgt unter Zuhilfenahme eines sogenannten Weaningprotokolls (ein Beispiel in Abb. 1.1). Mit der Hilfe dieses Protokolls werden täglich die Voraussetzungen bzw. Kontraindikationen für die Sedierungspause und den Spontanatemversuch beurteilt und dokumentiert. Weaningprotokolle können helfen die Beatmungszeiten zu reduzieren. Die besten Ergebnisse lassen sich mit der Kombination von Weaningprotokoll und täglicher Sedierungspause erzielen. Diese Maßnahmen aus dem Bündel zur Vermeidung von Ventilator assoziierten Pneumonien sind jedoch am schwersten in der Praxis zu etablieren [10, 11, 29, 69, 70]. Beatmete Patienten werden meist in ein künstliches Koma (=Analgosedierung) versetzt, um Schmerzen und vegetative Reaktionen zu dämpfen. Aber alle sedierten Patienten benötigen, außer bei Kontraindikationen wie z.B. einem erhöhten intrakraniellen Druck, eine tägliche Sedierungspause bis zu einem Sedierungsniveau von RASS null (Richmond Agitation-Sedation-Scale) bis maximal plus zwei. Die Richmond Agitation-Sedation-Scale ist eine zehnstufige Skala zur Beurteilung der Sedierungstiefe eines analgosedierten Patienten (Tab. 1.1). Die Skala reicht von minus fünf für einen nicht erweckbaren bzw. komatösen Patienten bis plus vier für einen agitierten, aggressiven Patienten [65]. Die Stufe null beschreibt einen ruhigen und kooperativen Patienten.

Wert	Bezeichnung	Erläuterung
+ 4	Streitlustig	Offenkundig aggressives und gewalttätiges Verhalten, unmittelbare Gefahr für das Personal
+ 3	Sehr agitiert	Zieht oder entfernt Schläuche oder Katheter, aggressiv
+ 2	Agitiert	Häufige ungezielte Bewegung, atmet gegen das Beatmungsgerät
+ 1	Unruhig	Ängstlich aber Bewegungen nicht aggressiv oder lebhaft
0	Aufmerksam und ruhig	
- 1	Schläfrig	Nicht ganz aufmerksam, aber erwacht (Augen öffnen/Blickkontakt) anhaltend bei Ansprache (> 10 Sekunden)
- 2	Leichte Sedierung	Erwacht kurz mit Blickkontakt bei Ansprache (< 10 Sekunden)
- 3	Mäßige Sedierung	Bewegung oder Augenöffnung bei Ansprache (aber ohne Blickkontakt)
- 4	Tiefe Sedierung	Keine Reaktion auf Ansprache, aber Bewegung oder Augenöffnung durch körperlichen Reiz
- 5	Nicht erweckbar	Keine Reaktion auf Ansprache oder körperlichen Reiz

Tab. 1.1. Richmond-Agitation and Sedation Scale [65]

Diese tägliche Sedierungspause beschleunigt ein späteres Weaning [65]. Während dieser Pause können die Patienten neurologisch beurteilt werden. Dies geschieht unabhängig vom Weaningpotential. Gibt es keine Kontraindikation für eine geplante Extubation (Tab. 1.2), erfolgt ein täglicher Spontanatmungsversuch. Anzeichen für ein Versagen des Spontanatmungsversuches sind:

- Tachypnoe (>35/min)
- Tachykardie (>140/min)
- Hypertonie ( $p_{\text{sys}}$  >180mmHg)
- Hypotonie ( $p_{\text{sys}}$  <90mmHg)
- SaO<sub>2</sub>-Abfall (<90%) [20, 23]

Kontraindikationen für die Extubation
GCS <10
Hochdosierte Katecholamine
PEEP $\geq 8$ kPa*100
F <sub>i</sub> O <sub>2</sub> $\geq 0,5$
Fieber >39°C

Tab. 1.2 Kontraindikationen für die Extubation (GCS = Glasgow Coma Scale, PEEP = positiv endexpiratorischer Druck, F<sub>i</sub>O<sub>2</sub> = inspiratorische Sauerstoffkonzentration)

Wach?	Ziel Ja!
Schlucken?	
Kräftiger Husten?	
Viel Sekret?	Ziel Nein!
Anatomische Veränderungen ? (z.B. Tumor, Verletzungen)	

Tab. 1.3 Abfrage der adäquaten Sicherung der Atemwege [20, 46]

Für eine erfolgversprechende Extubation brauchen die Patienten folgende Voraussetzungen [12, 22, 24, 46, 79]:

- Es muss eine ausreichende Oxygenierung vorliegen (paO<sub>2</sub>  $\geq 60$ mmHg bei F<sub>i</sub>O<sub>2</sub>  $\leq 0,4$ , PEEP  $\leq 8$ kPa\*100).
- Eine ausreichende Spontanventilation mit niedriger Druckunterstützung ohne Erschöpfung über mehrere Stunden
- Anwendung eines Weaningprotokolls (Abb.1.1)
- ausreichende Leistungsfähigkeit der Atemmuskulatur.
- Adäquate Sicherung der Atemwege durch den Patienten. Dabei hilft die Checkliste in Tabelle 1.3
- Tägliche Sedierungspause
- Beachtung der Kontraindikationen (Tab.1.2)

Gelingt der Spontanatmungsversuch nicht, wird der Patient weiter künstlich beatmet und je nach Sedierungsniveau (RASS) ggf. wieder analgosediert.

Datum:	<b>HELIOS - Weaningprotokoll</b>	Pat.- ID
Nr.:		
Protokollanwendung ärztlich freigegeben? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Bei <b>Nein</b> – Begründung:		
1. Bereit für einen Aufwachversuch?		
Hirndruckerhöhung > 25mmHg? Kühlungsphase bei Z.n. Reanimation? Hypothermie < 36°C? Sedierung aus anderen Gründen erforderlich?	Ja <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Welche?
↓		
Alle Fragen mit <b>Nein</b> beantwortet: <b>Aufwachversuch:</b> Stop aller Sedativa, bzw. Dosisanpassung bis Ramsay Score ≤ 2! Weiter mit 2.!	↓	Mindestens eine Frage mit <b>Ja</b> beantwortet: <b>Weaning-Stop!</b>
2. Bereit für einen Spontanatemversuch?		
Ramsay ≤ 2? FiO <sub>2</sub> ≤ 0,40? PEEP ≤ 8mbar? Temperatur ≤ 39°C?	Ja <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
↓		
Alle Fragen mit <b>Ja</b> beantwortet: <b>Spontanatemversuch:</b> Über Tubus 60 min CPAP-ASB (PEEP = 5mbar/ ASB = 5mbar) Bei Trachealkanüle 60 min „feuchte Nase“ Weiter mit 3.!	↓	Mindestens eine Frage mit <b>Nein</b> beantwortet: <b>Kein Spontanatemversuch!</b>
3. Abbruchkriterien des Spontanatemversuches:		
HF-Änderung > 20% des Ausgangswertes bzw. > 140/min? AF > 35/min o. < 8/min länger als 5 min? SaO <sub>2</sub> < 90%? RR systolisch anhaltend > 180mmHg oder < 90mmHg? Hirndruck anhaltend > 25mmHg?	Ja <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
↓		
Alle Fragen mit <b>Nein</b> beantwortet: (nach 60 min)	↓	Mindestens eine Frage mit <b>Ja</b> beantwortet: <b>Abbruch des Spontanatemversuches!</b>
<b>Extubation</b> Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Bei Nein – Begründung:  (Bei Trachealkanüle Fortführung der Spontanatmung – Entscheidung über Dekanülierung im Verlauf!)		
War eine protokollgerechte Durchführung möglich? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Bei <b>Nein</b> (=Abweichungen von den Vorgaben) – Begründung:		
<b>Am Folgetag:</b> Ausschließlich Spontanatmung seit Spontanatemversuch des Vortages? Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>		
<b>Bei wiederholtem Weaning-Versagen: Ursachenforschung! Weaningzentrum?</b>		

Abb. 1.1 Beispiel eines Weaningprotokolls zur täglichen Anwendung (F<sub>i</sub>O<sub>2</sub> = inspiratorische Sauerstoffkonzentration, PEEP = positiv endexpiratorischer Druck, CPAP = Continuous Positive Airway Pressure, ASB = Assisted Spontaneous Breathing, HF = Herzfrequenz, AF = Atemfrequenz, SaO<sub>2</sub> = arterielle Sauerstoffsättigung)

### 1.3 6ml-Kampagne

Um die Anwendung der in der „ARDS net Studie“ [82] empfohlenen lungenprotektiven Beatmung zu forcieren, wurde in einem privaten Klinikkonzern konzernweit die Kampagne „6ml-Jetzt lassen wir die Luft raus“ ins Leben gerufen. Ziel war die Anwendung einer lungenprotektiven Beatmung bei mehr als 90% der beatmeten Patienten. Alle Ärzte und Pflegekräfte der teilnehmenden Intensivstationen wurden individuell in der Anwendung der lungenprotektiven Beatmung mit 6ml/kgKG Tidalvolumen geschult (Abb. 8.1) [89]. Für die Auswahl des geeigneten Tidalvolumens diente eine Tabelle, die geschlechtsspezifisch, jeder Körpergröße ein idealisiertes Tidalvolumen zuordnete (Abb. 2.2). Eine zweite Tabelle half den Anwendern in Analogie zum Studiendesign der „ARDS net Studie“ einen zur inspiratorischen Sauerstoffkonzentration passenden PEEP auszuwählen (Abb.2.1). Es wurden analog zu den Empfehlungen der „ARDS net Studie“ Kriterien festgelegt, wann ein Weaning erfolgen sollte (Abb. 2.1) [82]. Es wurden weder ein Beatmungsmodus noch die Art ggf. notwendiger pulmonaler Rekrutierungsmanöver vorgegeben. Bei einer respiratorischen Azidose mit einem pH-Wert zwischen 7,20 und 7,25 sollte das inspiratorische Tidalvolumen, bei einer Atemfrequenz größer 35/min, auf 8ml/kgKG erhöht werden. Eine medikamentöse Korrektur der Azidose war nicht vorgesehen. Im Anschluss sollten über einen Zeitraum von drei Monaten die Beatmungsdaten aller beatmeten Patienten auf 50 Intensivstationen erhoben werden.

### 1.4 Ziel der Arbeit

In der „6ml Kampagne“ wurde die Umsetzung der lungenprotektiven Beatmung bei allen beatmeten Patienten der teilnehmenden Intensivstationen an den Beatmungstagen eins bis sieben untersucht. Ziel war die Einhaltung einer lungenprotektiven Beatmung bei mehr als 90% der Beatmungspatienten bzw. der Beatmungstage. Untersucht wurde auch, aus welchen Gründen ein Abweichen von den festgelegten Beatmungsparametern notwendig war. Ferner wurde untersucht, warum bei Patienten, die nach dem Protokoll alle Kriterien für ein Weaning vom Beatmungsgerät erfüllten, kein Weaning stattfand und welche

Gründe für ein Versagen des Weanings verantwortlich waren. Die Studie fand begleitend zur Einführung der lungenprotektiven Beatmung in den teilnehmenden Kliniken statt. Die tägliche Datenerhebung sollte die Einführung unterstützen und war eine Kontrolle für die Compliance der Mitarbeiter. Der Zeitraum von drei Monaten und das Ziel, die lungenprotektive Beatmung nach den Empfehlungen der „ARDS net Studie“ bei mehr als 90% der beatmeten Patienten anzuwenden, wurden willkürlich festgelegt.

## 2. Material und Methoden

Die ärztlichen und pflegerischen Mitarbeiter von 50 Intensivstation (davon 14 in Kliniken der Maximalversorgung und 36 in Kliniken der Grund-, Regel- und Schwerpunktversorgung) wurden in der Anwendung eines lungenprotektiven Beatmungsregimes geschult (Abb. 8.1). Die Schulung erfolgte im Jahr 2007 Individuell in den Kliniken unter Zuhilfenahme der Respiratoreinstellungshilfen in den Abbildungen 2.1 und 2.2, sowie weiterführender Informationen des „Kick off Flyers“ der Kampagne „Jetzt lassen wir die Luft raus...“ (Abb. 8.1). Danach sollte die Beatmung mit einem optimalen Tidalvolumen ( $V_T$ ) erfolgen, welches nach Körpergröße und Geschlecht zugeordnet wurde (Abb. 2.1). Dieses Tidalvolumen entsprach 6ml/kg idealisiertem Körpergewicht (6ml/kgKG). Die Einstellung des PEEP erfolgte über eine Tabelle, die jeder  $F_iO_2$  einen spezifischen PEEP zuordnet (Abb. 2.1) [82]. Als Ziel für eine adäquate Sauerstoffversorgung der Patienten wurde entsprechend der „ARDS net Studie“ ein  $p_aO_2$  in der arteriellen Blutgasanalyse von 55-80 mmHg und eine  $S_pO_2$  von 88-95% als unterer Grenzwert vorgegeben [75]. Die Atemfrequenz der kontrollierten Beatmung sollte zwischen 6 und 35 Atemzügen pro Minute liegen, das Verhältnis von Inspiration zu Expiration (I:E) zwischen 1:1 und 1:3. Der Plateaudruck der Beatmung sollte unter 30 kPa\*100 liegen und der pH größer als 7,3 bleiben. Der Beatmungsmodus konnte mit kontrolliert (z.B. IPPV, BIPAP) oder assistiert (z.B. CPAP/ASB) den Bedürfnissen der Patienten angepasst gewählt werden. (Abb. 2.1). Die Art ggf. notwendiger Rekrutierungsmanöver wurde nicht vorgegeben. Litten die Patienten unter einer respiratorischen Azidose mit einem pH zwischen 7,20 und 7,25 sollte zunächst das Atemminutenvolumen über die Atemfrequenz angepasst werden. Konnte durch diese Maßnahme kein ausreichender Effekt erzielt werden, sollte das inspiratorische Tidalvolumen auf 8ml/kgKG erhöht werden. Eine medikamentöse Korrektur der Azidose war nicht vorgesehen. Eine Entwöhnung von der Beatmung (Weaning) sollte, sofern keine medizinischen Gründe dagegen sprachen, bei einer  $F_iO_2 \leq 40\%$  und einem PEEP  $\leq 8$  kPa\*100 gestartet werden.

Die Datenerhebung erfolgte zwischen Januar und September 2009. Auf den teilnehmenden Stationen wurden die Daten aller beatmeten Patienten anonymisiert über einen Zeitraum von drei Monaten erhoben. Am ersten Beatmungstag erfolgte die Aufnahme der Patienten mit den Biometrischen Daten, der Diagnose die zur Beatmungspflichtigkeit geführt hatte und der Zuordnung zu einer Patientengruppe (Tab. 2.1). Die Patienten wurden bei Aufnahme in die Studie drei Gruppen mit folgenden Diagnosen zugeordnet:

- Chirurgisch
  - Trauma
  - operativ abdominell
  - operativ thorakal
  - operativ sonstige
- Neurologisch /  
Neurochirurgisch
  - intrakranielle Blutung (ICB)
  - Apoplex
- Internistisch
  - Sepsis
  - Pneumonie
  - COPD

An jedem Beatmungstag wurden folgende Daten erfasst:

- Die Beatmungsparameter
  - Ggf. der Grund für die Abweichung vom idealen Tidalvolumen
  - Ggf. Gründe für ein Unterlassen des Weanings (Tab. 2.1)
- War eine 45° Oberkörperhochlagerung erfolgt?

Die Mitarbeiter der Intensivstationen sollten nach dem Protokoll der Untersuchung an jedem Beatmungstag eine Selbsteinschätzung abgeben, ob die Beatmungsparameter und die Einstellungen der Beatmungsgeräte dem Protokoll entsprachen. Danach wurde die Selbsteinschätzung über die Einhaltung der vorgegebenen Beatmungsparameter EDV-gestützt auf ihre Richtigkeit überprüft. Die Dokumentation der Daten erfolgte in einer Access® Datenbank (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA). In die Studie wurden alle Patienten eingeschlossen, die im Beobachtungszeitraum von drei Monaten ein bis sieben Tage beatmet wurden. Die Auswertung erfolgte mit Hilfe des Statistikprogrammes NCSS<sup>8</sup> (NCSS, LLC, Utah, USA). Beim Vergleich zweier Gruppen wurden die Datensätze mittels Kolmogorov-Smirnov- und Levene-Test

auf Normalverteilung und Varianzhomogenität untersucht. Wurden diese Kriterien erfüllt, kam der t-Test zum Einsatz. Lag keine Normalverteilung und Varianzhomogenität vor, so wurde der Mann-Whitney-U Test als nicht parametrische Alternative gewählt. Es wurden der empirische Mittelwert (MW) und die einfache Standardabweichung (SD) berechnet.

*Beatmungseinstellung für Patienten mit akutem Lungenversagen (ALI/ARDS) entsprechend der ARDSnet Studie (NEJM 2000; 342:1301-8)*

<b>Beatmungsmodus</b>	Assistiert oder kontrolliert
<b>Atemzugvolumen</b>	6 ml/kg errechnetes Körpergewicht
<b>Plateaudruck</b>	< 30 cm H <sub>2</sub> O
<b>Atemfrequenz und pH Ziel</b>	6–35 / min, pH > 7,3 wenn möglich
<b>I:E Verhältnis</b>	1:1 – 1:3
<b>Oxygenierungsziel</b>	
PaO <sub>2</sub>	55 – 80 mmHg
SpO <sub>2</sub>	88 – 95%
<b>Entwöhnung von der Beatmung</b>	Spontanatmungsversuch mittels PS wenn FiO <sub>2</sub> ≤ 0,4; PEEP ≤ 8 cm H <sub>2</sub> O

**Tabelle zur PEEP Einstellung in Kombination mit der FiO<sub>2</sub>**

FiO <sub>2</sub>	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0
PEEP	5	5	8	8	10	10	10	12	14	14	14	16	18	18–24

Abb. 2.1 Beatmungseinstellung für Patienten mit akutem Lungenversagen (paO<sub>2</sub> = arterieller Sauerstoffpartialdruck, SpO<sub>2</sub> = periphere Sauerstoffsättigung, FiO<sub>2</sub> = inspiratorische Sauerstoffkonzentration, PEEP = positiv endexpiratorischer Druck)

*Einstellhilfe des Atemzugvolumens für das errechnete Körpergewicht und das resultierende Atemzugvolumen ( $V_T$ ) nach der Formel:*

50 + 0,91 (Körpergröße - 152,4) bei Männern

45,5 + 0,91 (Körpergröße - 152,4) bei Frauen



**HELIOS**  
Kliniken Gruppe

Körpergröße	$V_T$ bei Männern	$V_T$ bei Frauen
150	287	260
152	298	271
154	309	282
156	320	293
158	331	304
160	341	314
162	352	325
164	363	336
166	374	347
168	385	358
170	396	369
172	407	380
174	418	391
176	429	402
178	440	413
180	451	424
182	462	435
184	473	446
186	483	456
188	494	467
190	505	478
192	516	489
194	527	500
196	538	511
198	549	522
200	560	533
202	571	544
204	582	555
206	593	566
208	604	577
210	614	587
212	625	598
214	636	609
216	647	620
218	658	631
220	669	642

Abb. 2.2 Einstellhilfe für das vorgesehene Tidalvolumen [ml] ( $V_T$  = Tidalvolumen, Körpergröße [cm])

Biometrische Daten	Diagnose- gruppe	Patientengruppe	Grund Abweichung vom vorgegebenen Tidalvolumen	Oberkörperhoch- lagerung 45° erfolgt	Beatmungs- parameter	Grund kein Weaning
Geschlecht	Sepsis	Chirurgisch	Keine Abweichung	Ja	VT <sub>soll</sub>	Kein Weaning lt. Plan
Alter	Pneumonie	Neurologisch / Neurochirurgisch	COPD	Nein, ohne Erklärung	VT <sub>ist</sub>	Weiterbeatmung ohne ersicht- lichen Grund
Größe	COPD	Internistisch	Erhöhter Hirndruck	Nein, mit Erklärung	F <sub>i</sub> O <sub>2</sub>	Weaning
Gewicht	ICB		Spontanatmung		PEEP/F <sub>i</sub> O <sub>2</sub> nach Vorgabe	Weiterbeatmung, weil Weaning gescheitert
BMI (Berechnet aus Größe und Gewicht)	Chirurgisch Abdominell		Hyperkapnie		PEEP	Keine Extubation möglich
VT <sub>soll</sub> (berechnet aus Größe und Geschlecht)	Chirurgisch Thorakal		Andere Gründe		paO <sub>2</sub> / F <sub>i</sub> O <sub>2</sub>	
Beatmungstunden am Erfassungstag	Trauma					
	Chirurgisch Sonstige					

Tab.2.1 Erfasste Parameter der untersuchten Patienten (VT<sub>soll</sub> = errechnetes Tidalvolumen, VT<sub>ist</sub> = tatsächliches Tidalvolumen, COPD = chronisch obstruktive Lungenerkrankung, ICB = erhöhter intrakranieller Druck, BMI = Body Mass Index, F<sub>i</sub>O<sub>2</sub> = inspiratorische Sauerstoffkonzentration, PEEP = positiver endexpiratorischer Druck, paO<sub>2</sub> = arterieller Sauerstoffpartialdruck)

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Biometrische Daten des Patientenkollektives

Über einen Zeitraum von drei Monaten wurden alle beatmeten Patienten auf 24 Intensivstation, davon 10 in Kliniken der Maximalversorgung und 14 in Kliniken der Grund-, Regel- und Schwerpunktversorgung, in die Studie aufgenommen. In die Auswertung wurden alle Patienten (N=851) aufgenommen, die ein bis sieben Tage beatmet wurden. Die Patienten wurden in die drei Patientengruppen Chirurgisch, Neurologisch/Neurochirurgisch und Internistisch aufgeteilt, wobei die internistischen Patienten mit 41,3% (N=351) die größte Gruppe ausmachten, gefolgt von der Gruppe chirurgisch (35%, N=298) und der Gruppe neurologische/neurochirurgisch (23,7%, N=202). Unterschieden wurde außerdem nach männlichen und weiblichen Patienten. Die Patienten der drei Patientengruppen zeigten bei den Parametern Größe (Tab. 3.1), expiratorisches Tidalvolumen (Tab. 3.5), Gewicht (Tab. 3.2) und dem Body Mass Index (Tab. 3.4) keine geschlechtsspezifischen Unterschiede. Jedoch wurden internistische Patienten unabhängig vom Geschlecht signifikant kürzer beatmet (Tab. 3.6). Männliche und weibliche Patienten (Tab. 3.3) sind mit 70 Jahren im Durchschnitt gleich alt, jedoch sind die Patienten der chirurgischen Gruppe (73,3Jahre) älter als die der internistischen (68,9 Jahre) und der neurologisch/neurochirurgischen Patientengruppe (68,1 Jahre).

Patientengruppe	Statistik	männlich	weiblich	Total
chirurgisch	Anzahl	187	111	298
	%			35,0
	MW	176,1	165,2	172,1
	SD	7,7	6,4	8,9
Neurologisch/Neurochirurgisch	Anzahl	128	74	202
	%			23,7
	MW	176,4	164,1	171,9
	SD	6,3	9,9	9,8
Internistisch	Anzahl	226	125	351
	%			41,2
	MW	175,9	164,3	171,7
	SD	7,7	7,1	9,3
Total	Anzahl	541	310	851
	%	63,6	36,4	
	MW	176,1	164,6	171,9
	SD	7,4	7,6	9,3

Tab.3.1 Größe [cm] nach Fachrichtung und Geschlecht (MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung)

Patientengruppe	Statistik	männlich	weiblich	Total
chirurgisch	Anzahl	187	111	298
	%			35,0
	MW	85,2	71,7	80,2
	SD	18,4	16,8	18,9
Neurologisch/Neurochirurgisch	Anzahl	128	74	202
	%			23,7
	MW	81,5	68,2	76,6
	SD	13,9	15,9	16,0
Internistisch	Anzahl	226	125	351
	%			41,2
	MW	81,7	73,7	78,9
	SD	15,9	21,8	18,6
Total	Anzahl	541	310	851
	%	63,6	36,4	
	MW	82,8	71,6	78,8
	SD	16,4	18,9	18,1

Tab.3.2 Körpergewicht [kg] nach Fachrichtung und Geschlecht (MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung)

Patientengruppe	Statistik	männlich	weiblich	Total
chirurgisch	Anzahl	187	111	298
	%			35,0
	MW	73,4	73,2	73,3
	SD	53,8	15,0	43,6
Neurologisch/Neurochirurgisch	Anzahl	128	74	202
	%			23,7
	MW	69,0	66,4	68,1
	SD	13,9	18,7	15,8
Internistisch	Anzahl	226	125	351
	%			41,2
	MW	67,9	70,8	68,9
	SD	14,6	15,6	15,0
Total	Anzahl	541	310	851
	%	63,6	36,4	
	MW	70,1	70,6	70,3
	SD	33,7	16,3	28,6

Tab.3.3 Alter [Jahre] nach Fachrichtung und Geschlecht (MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung)

Patientengruppe	Statistik	männlich	weiblich	Total
chirurgisch	Anzahl	187	111	298
	%			35,0
	MW	26,3	23,8	25,3
	SD	8,1	9,3	8,7
Neurologisch/Neurochirurgisch	Anzahl	128	74	202
	%			23,7
	MW	25,0	23,9	24,6
	SD	6,8	7,5	7,1
Internistisch	Anzahl	226	125	351
	%			41,2
	MW	25,9	22,4	24,6
	SD	6,1	12,3	9,1
Total	Anzahl	541	310	851
	%	63,6	36,4	
	MW	25,8	23,3	24,9
	SD	7,0	10,3	8,5

Tab.3.4 Body Mass Index (BMI) nach Fachrichtung und Geschlecht (MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung)

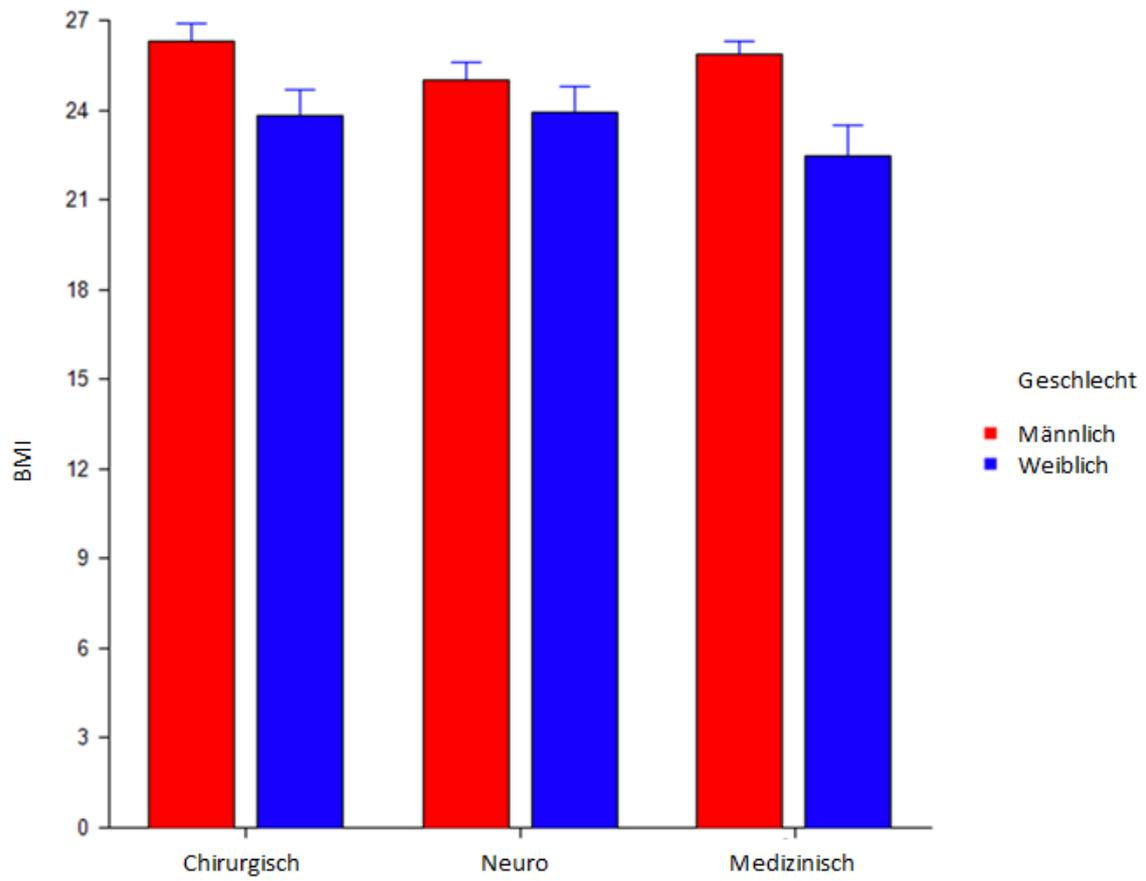


Abb. 3.1 Body Mass Index (BMI) nach Fachrichtung und Geschlecht

Patientengruppe	Statistik	männlich	weiblich	Total
chirurgisch	Anzahl	187	111	298
	%			35,0
	MW	428,8	342,4	396,5
	SD	41,7	34,8	57,4
Neurologisch/Neurochirurgisch	Anzahl	128	74	202
	%			23,7
	MW	430,5	336,8	396,5
	SD	34,5	54,4	62,1
Internistisch	Anzahl	226	125	351
	%			41,2
	MW	427,2	337,5	395,2
	SD	41,9	38,8	59,3
Total	Anzahl	541	310	851
	%	63,6	36,4	
	MW	428,5	339,1	395,9
	SD	40,2	41,6	59,2

Tab.3.5 Expiratorisches Tidalvolumen [ml] nach Fachrichtung und Geschlecht (MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung)

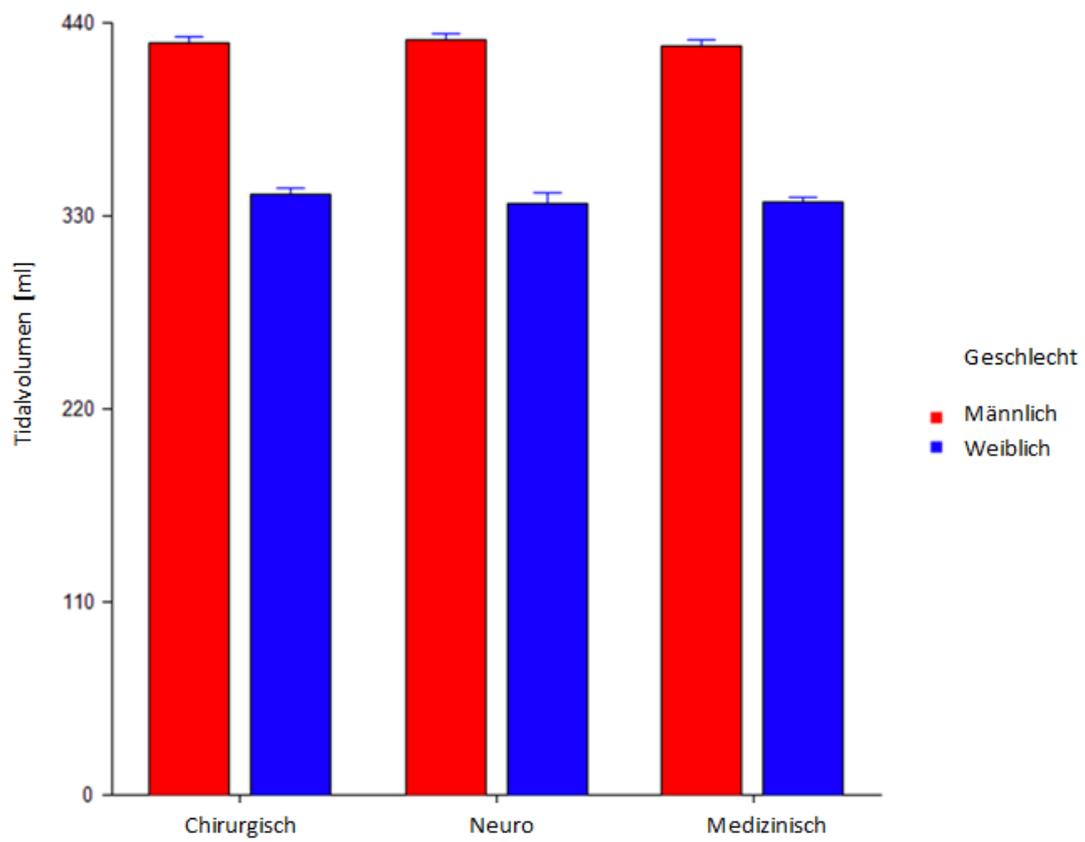


Abb. 3.2 Expiratorisches Tidalvolumen [ml] nach Fachrichtung und Geschlecht

Patientengruppe	Statistik	männlich	weiblich	Total
chirurgisch	Anzahl	187	111	298
	%			35,0
	MW	204,0	179,6	195,1
	SD	382,3	384,0	382,2
Neurologisch/Neurochirurgisch	Anzahl	128	74	202
	%			23,7
	MW	221,5	182,0	207,5
	SD	274,7	197,0	250,1
Internistisch	Anzahl	226	125	351
	%			41,2
	MW	155,6	157,7	156,4
	SD	208,5	189,3	200,9
Total	Anzahl	541	310	851
	%	63,6	36,4	
	MW	188,1	170,2	181,4
	SD	292,0	266,3	282,6

Tab.3.6 Beatmungsdauer [Stunden (h)] nach Fachrichtung und Geschlecht  
(MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung)

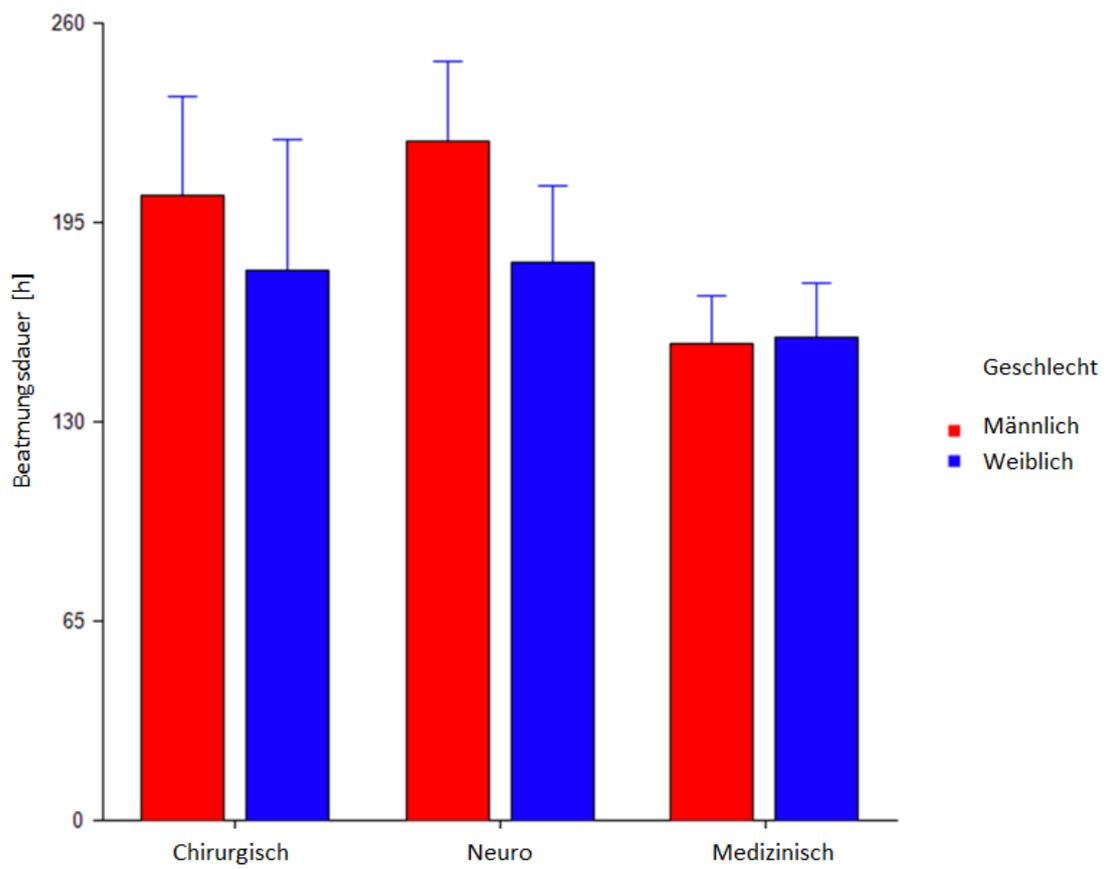


Abb. 3.3 Beatmungsdauer [Stunden (h)] nach Fachrichtung und Geschlecht

## 3.2 Beatmungsparameter

### 3.2.1 Abweichung von den vorgesehenen Beatmungsparametern

Variable	Statistik	Korrekte Einstellung	COPD	ICP	Spontan- atmung	Hyper- kapnie	andere	Total
VT [ml]	Beatmungstage	2677	189	292	799	78	311	4346
	%	61,6	4,4	6,7	18,4	1,8	7,2	
	MW	311,6	410,3	471,8	450,4	496,7	456,6	365,9
	SD	198,4	190,0	112,3	194,7	127,1	124,7	199,7
PEEP [100*kPa]	Beatmungstage	2677	189	292	799	78	311	4346
	%	61,6	4,4	6,7	18,4	1,8	7,2	
	MW	7,9	7,9	8,1	7,1	9,7	9,1	7,9
	SD	2,4	2,5	3,3	2,4	2,8	2,7	2,6
F <sub>i</sub> O <sub>2</sub>	Beatmungstage	2677	189	292	799	78	311	4346
	%	61,6	4,4	6,7	18,4	1,8	7,2	
	MW	44,2	42,2	41,0	38,1	54,9	47,9	43,2
	SD	14,8	11,3	12,1	8,9	24,0	16,4	14,3

Tab.3.7 Gründe für die Abweichung vom Beatmungsprotokoll (MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, VT = Tidalvolumen, PEEP = positiv endexpiratorischer Druck, F<sub>i</sub>O<sub>2</sub> = inspiratorische Sauerstoffkonzentration, COPD = chronisch obstruktive Lungenerkrankung, ICP = erhöhter intrakranieller Druck)

Bei den 851 Patienten wurden 4346 Beatmungstage (Durchschnittliche Beatmungsdauer 5,00 Tage) untersucht. Bei der Beurteilung, ob die vorgesehenen Beatmungsparameter eingehalten wurden, zeigte sich an 61,6% (2677 Tage) der Beatmungstage eine korrekte Einstellung des expiratorischen Tidalvolumens. An 4,4% (189 Tage) der Beatmungstage wurde ein signifikant erhöhtes expiratorisches Tidalvolumen auf Grundlage einer COPD dokumentiert, an 6,7% (292 Tage) der Tage wegen eines erhöhten Hirndruckes, an 1,8% (78 Tage) der Tage auf Grund einer Hyperkapnie und an 7,2% (311 Tage) der Tage wurden andere Gründe für ein erhöhtes VT<sub>exp</sub> angeführt. Spontanatmung führte an 18,4% (799 Tage) der Tage zu einem erhöhten expiratorischen Tidalvolumen. Eine korrekte Einstellung des PEEP

wurde an 61,6% der Beatmungstage dokumentiert. COPD (4,4%), ICP (6,7%), Hyperkapnie (1,8%) und andere Gründe (7,2%) führten zu einer Erhöhung des PEEP, lediglich die Spontanatmung (18,4%) zu einer Senkung des PEEP.

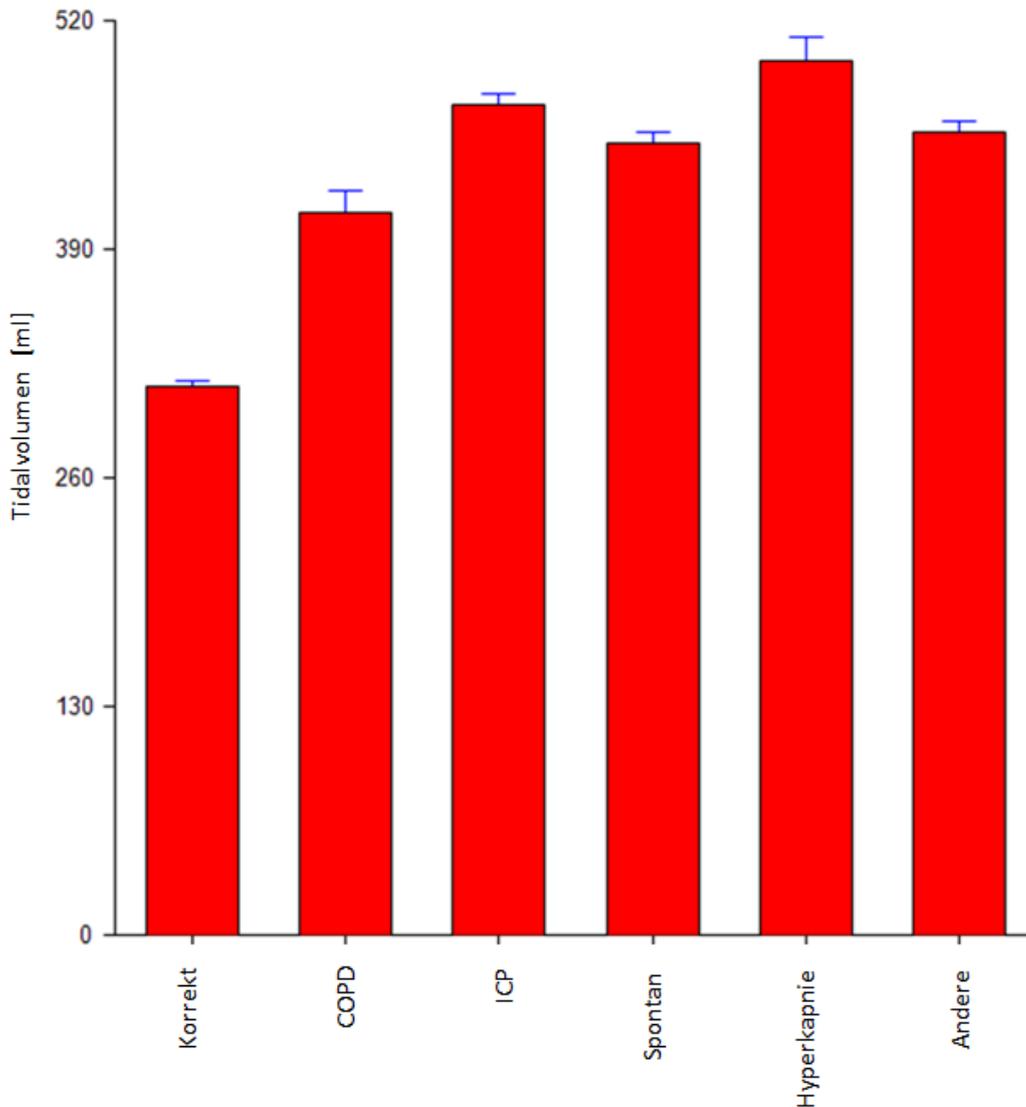


Abb. 3.4 Gründe für die Abweichung vom Beatmungsprotokoll beim expiratorischen Tidalvolumen [ml] (COPD = chronisch obstruktive Lungenerkrankung, ICP = erhöhter intrakranieller Druck)

Die korrekte Einstellung der  $F_{iO_2}$  wurde an 61,6% der Beatmungstage dokumentiert, COPD (4,4%), ICP(6,7%) und Spontanatmung (18,4%) führten zu einer Verringerung der  $F_{iO_2}$ . Lediglich Hyperkapnie (1,8%) und andere Gründe (7,2%) führten zu einer Erhöhung der  $F_{iO_2}$ .

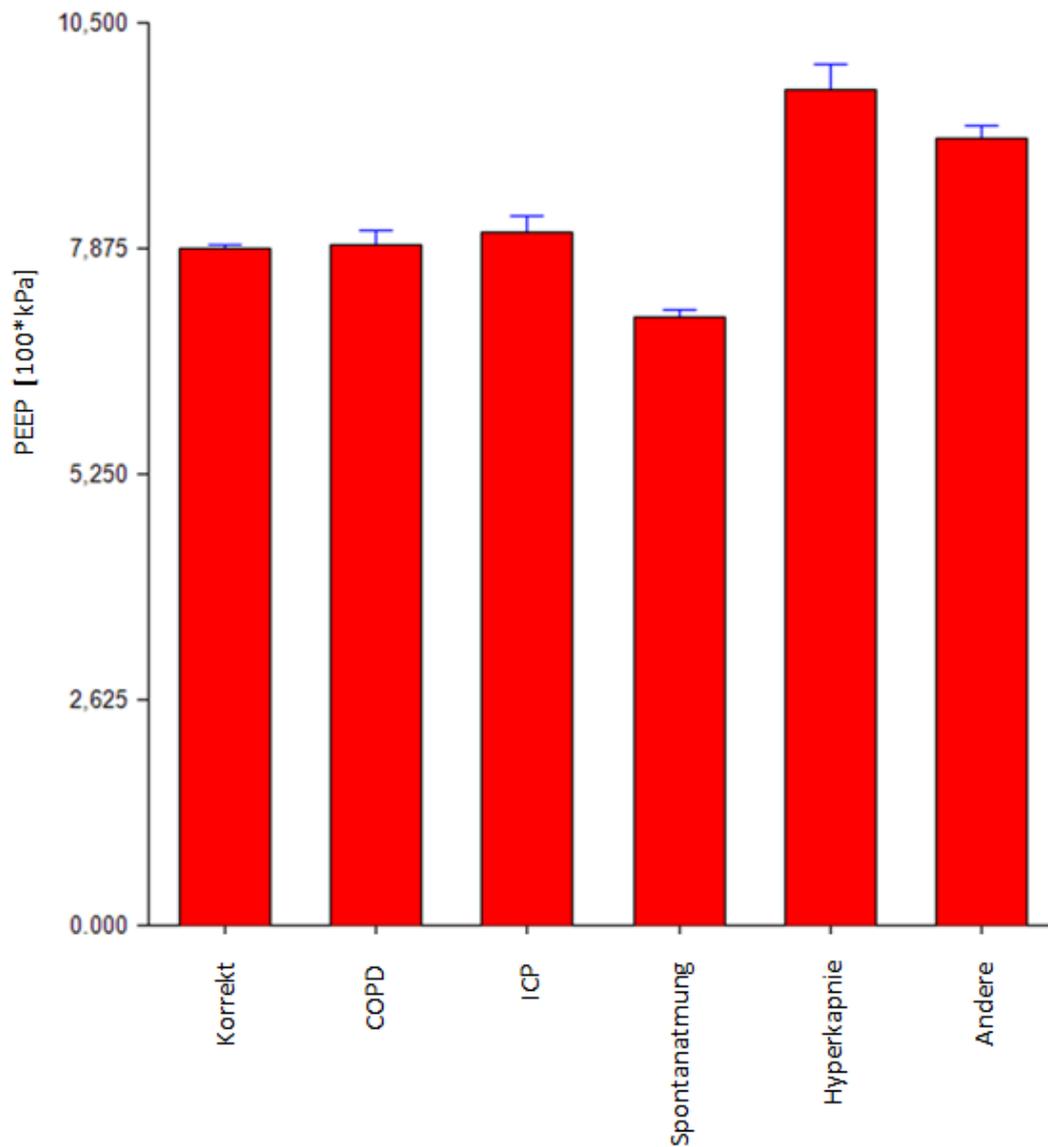


Abb. 3.5 Gründe für die Abweichung vom Beatmungsprotokoll beim PEEP [100\*kPa] (PEEP = positiv endexpiratorischer Druck, COPD = chronisch obstruktive Lungenerkrankung, ICP = erhöhter intrakranieller Druck)

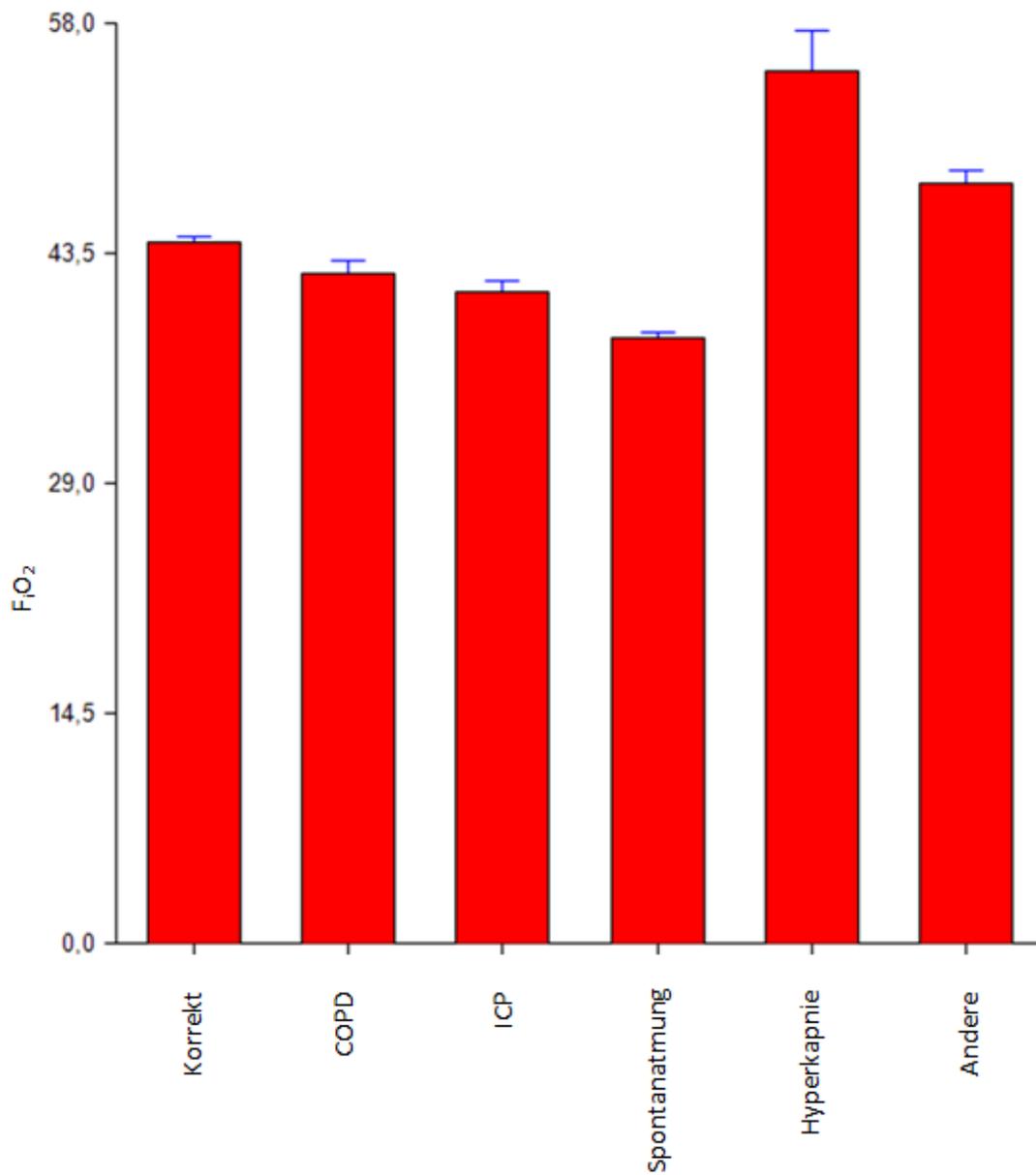


Abb. 3.6 Gründe für die Abweichung vom Beatmungsprotokoll bei der  $F_iO_2$  ( $F_iO_2$  = inspiratorische Sauerstoffkonzentration, COPD = chronisch obstruktive Lungenerkrankung, ICP = erhöhter intrakranieller Druck)

### 3.2.2 Selbsteinschätzung

Variable	Statistik	Protokoll nicht eingehalten	Protokoll eingehalten	Total
VT [ml]	Beatmungstage	1661	2685	4346
	%	38,2	61,8	
	MW	489,5	404,4	436,9
	SD	174,5	83,9	132,9
PEEP [100*kPa]	Beatmungstage	1639	2707	4346
	%	37,7	62,3	
	MW	8,0	7,7	7,9
	SD	2,9	2,4	2,6
F <sub>i</sub> O <sub>2</sub>	Beatmungstage	1643	2703	4346
	%	37,8	62,2	
	MW	43,2	43,2	43,2
	SD	14,2	14,8	14,6

Tab.3.8 Selbsteinschätzung der Einhaltung des Beatmungsprotokolls (MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, VT = Tidalvolumen, PEEP = positiv endexpiratorischer Druck, F<sub>i</sub>O<sub>2</sub> = inspiratorische Sauerstoffkonzentration)

In der Selbsteinschätzung wurde das Protokoll beim expiratorischen Tidalvolumen an 61,8% der Beatmungstage (2685 Tage) eingehalten, beim PEEP in 62,3% (2707 Tage) und bei der inspiratorischen Sauerstoffkonzentration in 62,2% der Beatmungstage (2703 Tage). Wurde das expiratorische Tidalvolumen eingehalten, betrug es in Schnitt 404ml, wurde es nicht eingehalten, 489ml. Wurde der PEEP nach Beatmungsprotokoll eingestellt, betrug er im Schnitt 7,7 kPa\*100, wurde das Protokoll nicht eingehalten 8 kPa\*100. Die F<sub>i</sub>O<sub>2</sub> betrug bei eingehaltenem und bei nicht eingehaltenem Protokoll 0,43.

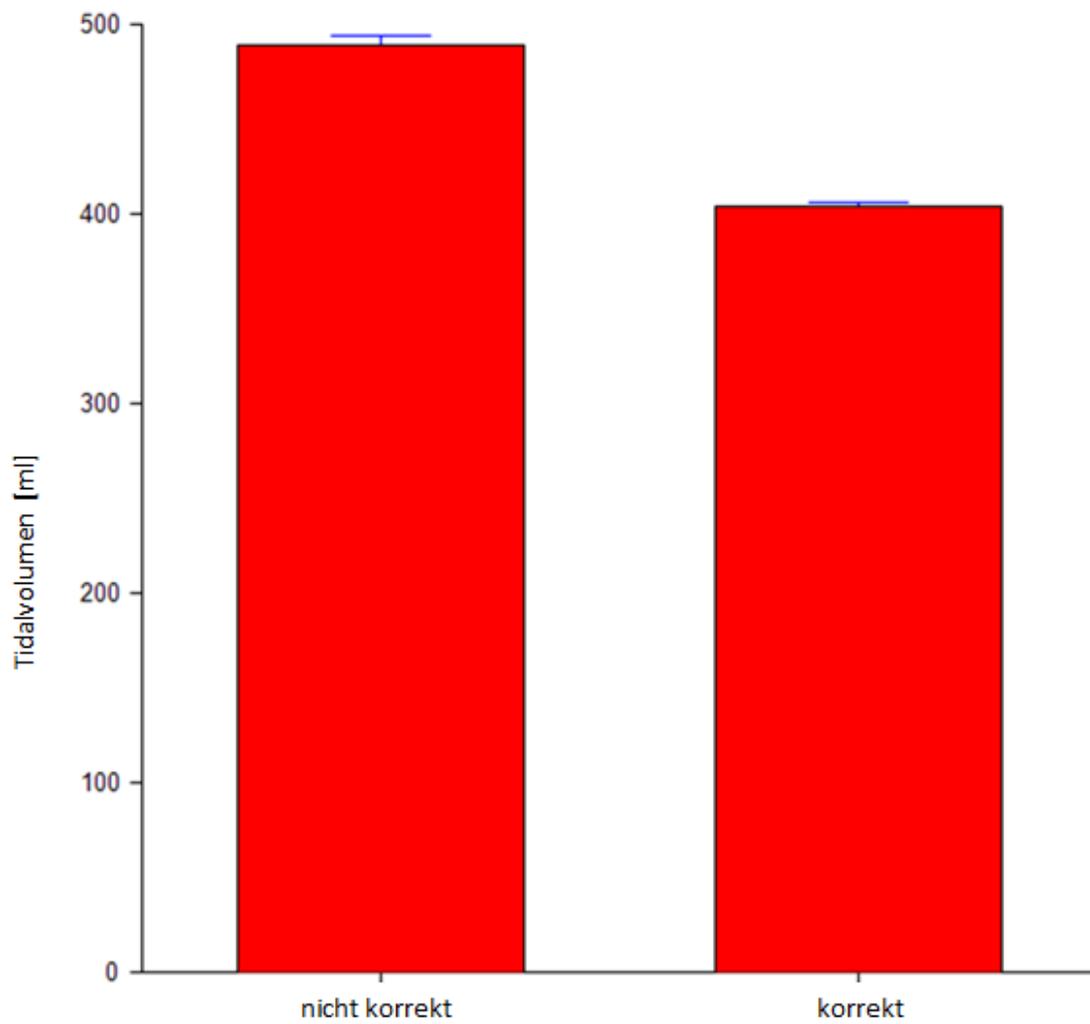


Abb. 3.7 Selbsteinschätzung der Einhaltung des Beatmungsprotokolls beim expiratorischen Tidalvolumen [ml]

### 3.2.3 Objektive Beurteilung der Einhaltung der vorgesehenen Beatmungsparameter

Bei allen in die Studie eingeschlossenen Patienten wurden die Beatmungstage eins bis sieben ausgewertet. Wurden die vorgegebenen Beatmungsparameter eingehalten (0 in Tab. 3.9 bzw. Abb. 3.8), was an 19,9% oder 864 der Tage im Beobachtungszeitraum der Fall war, betrug das expiratorische Tidalvolumen im Durchschnitt 232ml, der PEEP 9,7 kPa\*100 und die  $F_{iO_2}$  0,55. Waren die Patienten im Weaning (1 in Tab. 3.9 bzw. Abb. 3.8), was an 46,5% oder 2023 der beobachteten Beatmungstage der Fall war, betrug das expiratorische Tidalvolumen im Durchschnitt 439ml, der PEEP 6,5 kPa\*100 und die  $F_{iO_2}$  0,36. War das expiratorische Tidalvolumen laut Protokoll zu hoch (2 in Tab. 3.9 bzw. Abb. 3.8), was an 5,2% oder 226 der beobachteten Beatmungstage der Fall war, betrug das expiratorische Tidalvolumen im Durchschnitt 490ml, der PEEP 9,8 kPa\*100 und die  $F_{iO_2}$  0,55. War laut Protokoll der PEEP zu hoch (4 in Tab. 3.9 bzw. Abb. 3.8), was an 1,5% (65) der beobachteten Beatmungstage der Fall war, betrug das expiratorische Tidalvolumen im Durchschnitt 413ml, der PEEP 13,1 kPa\*100 und die  $F_{iO_2}$  0,6. Waren laut Protokoll das expiratorische Tidalvolumen und der PEEP zu hoch (6 in Tab. 3.9 bzw. Abb. 3.8), was an 1% oder 45 der beobachteten Beatmungstage der Fall war, betrug das expiratorische Tidalvolumen im Durchschnitt 511ml, der PEEP 13,4 kPa\*100 und die  $F_{iO_2}$  0,55. War der PEEP laut Protokoll zu niedrig gewählt (8 in Tab. 3.9 bzw. Abb. 3.8), was an 2,5% oder 110 der beobachteten Beatmungstage der Fall war, betrug das expiratorische Tidalvolumen im Durchschnitt 399ml, der PEEP 8,9 kPa\*100 und die  $F_{iO_2}$  0,75. Waren laut Protokoll der PEEP zu niedrig und das expiratorische Tidalvolumen zu hoch (10 in Tab. 3.9 bzw. Abb. 3.8), was an 1,8% oder 78 der beobachteten Beatmungstage der Fall war, betrug das expiratorische Tidalvolumen im Durchschnitt 506ml, der PEEP 7,9 kPa\*100 und die  $F_{iO_2}$  0,7. War das Verhältnis von inspiratorischer Sauerstoffkonzentration zu PEEP nicht korrekt (16 in Tab. 3.9 bzw. Abb. 3.8), was an 5,7% oder 247 der beobachteten Beatmungstage der Fall war, betrug das expiratorische Tidalvolumen im Durchschnitt 402ml, der PEEP 9,4 kPa\*100 und die  $F_{iO_2}$  0,45. War das Verhältnis von inspiratorischer

Sauerstoffkonzentration zu PEEP nicht korrekt und das expiratorische Tidalvolumen zu hoch (18 in Tab. 3.9 bzw. Abb. 3.8), was an 5,6% oder 243 der beobachteten Beatmungstage der Fall war, betrug das expiratorische Tidalvolumen im Durchschnitt 520ml, der PEEP 9,9 kPa\*100 und die  $F_{iO_2}$  0,41. Wurden die Patienten nichtinvasiv beatmet (32 in Tab. 3.9 bzw. Abb. 3.8), was an 10,2% oder 445 der beobachteten Beatmungstage der Fall war, betrug das expiratorische Tidalvolumen im Durchschnitt 76ml, der PEEP 7,7 kPa\*100 und die  $F_{iO_2}$  0,46.

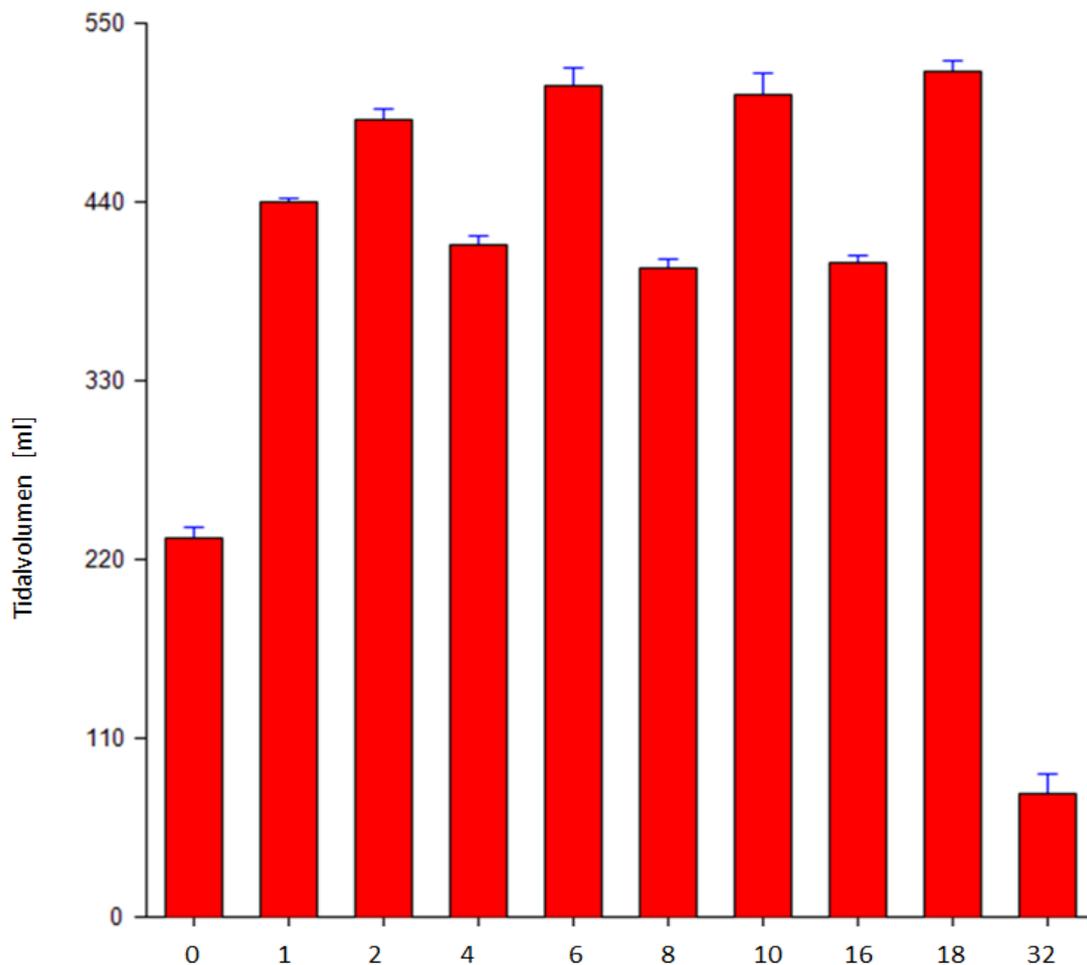


Abb. 3.8 Objektive Beurteilung Tidalvolumen [ml] Legende in Tab.3.10

Variable	Statistik	0	1	2	4	6	8	10	16	18	32	Total
VT [ml]	Beatmungstage	864	2023	226	65	45	110	78	247	243	445	4346
	%	19,9	46,5	5,2	1,5	1,0	2,5	1,8	5,7	5,6	10,2	
	MW	232,9	439,9	490,9	413,4	511,5	399,2	506,0	402,8	520,3	76,1	367,0
	SD	205,7	103,3	106,8	53,4	80,3	66,5	120,7	65,5	110,8	258,7	199,3
PEEP [100*kPa]	Beatmungstage	864	2023	226	65	45	110	78	247	243	445	4346
	%	19,9	46,5	5,2	1,5	1,0	2,5	1,8	5,7	5,6	10,2	
	MW	9,7	6,5	9,7	13,1	13,5	8,9	7,9	9,4	9,9	7,7	7,9
	SD	2,0	1,4	1,6	2,1	4,2	2,7	2,8	2,6	2,9	4,3	2,6
F <sub>i</sub> O <sub>2</sub>	Beatmungstage	864	2023	226	65	45	110	78	247	243	445	4346
	%	19,9	46,5	5,2	1,5	1,0	2,5	1,8	5,7	5,6	10,2	
	MW	54,5	35,7	54,9	60,4	55,5	74,9	70,2	44,9	41,3	45,5	43,3
	SD	11,8	6,4	8,7	10,9	7,0	20,8	19,1	14,1	12,2	12,2	14,5

Tab.3.9 Objektive Beurteilung der Einhaltung des Protokolls (MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, VT = Tidalvolumen, PEEP = positiv endexpiratorischer Druck, F<sub>i</sub>O<sub>2</sub> = inspiratorische Sauerstoffkonzentration, Legende in Tab. 3.10)

Variable	
0	Ok laut Protokoll
1	Weaning
2	VT zu hoch
4	PEEP zu hoch
6	VT zu hoch + PEEP zu hoch
8	PEEP zu niedrig
10	PEEP zu niedrig + VT zu hoch
16	F <sub>I</sub> O <sub>2</sub> /PEEP nicht nach Protokoll
18	F <sub>I</sub> O <sub>2</sub> /PEEP nicht nach Protokoll + VT zu hoch
32	NIV

Tab.3.10 Legende zu Tab.3.9, Abb.3.8 (VT = Tidalvolumen, PEEP = positiv endexpiratorischer Druck, F<sub>I</sub>O<sub>2</sub> = inspiratorische Sauerstoffkonzentration, NIV = nichtinvasive Beatmung)

### 3.3 Weaningfehler

War eine Weiterbeatmung laut Protokoll indiziert (an 52,1% oder 2264 der beobachteten Tage,) betrug das expiratorische Tidalvolumen im Durchschnitt 305ml, der PEEP 9,4 kPa\*100 und die  $F_{iO_2}$  0,51. Gab es laut Protokoll keinen Grund für eine Weiterbeatmung (an 0,2% oder 10 der beobachteten Tage), betrug das expiratorische Tidalvolumen im Durchschnitt 388ml, der PEEP 5,2 kPa\*100 und die  $F_{iO_2}$  0,33. Waren die Patienten im Weaning (an 19,9% oder 866 der beobachteten Tage), betrug das expiratorische Tidalvolumen im Durchschnitt 448ml, der PEEP 6,8 kPa\*100 und die  $F_{iO_2}$  0,38. Gab es ein Weaningversagen (an 11,1% oder 482 der beobachteten Tage), betrug das expiratorische Tidalvolumen im Durchschnitt 424ml, der PEEP 6,7 kPa\*100 die  $F_{iO_2}$  0,38. Sprachten medizinische Gründe gegen eine Extubation (an 16,7% oder 724 der beobachteten Tage), betrug das expiratorische Tidalvolumen im Durchschnitt 424ml, der PEEP 6,8 kPa\*100 und die  $F_{iO_2}$  0,38.

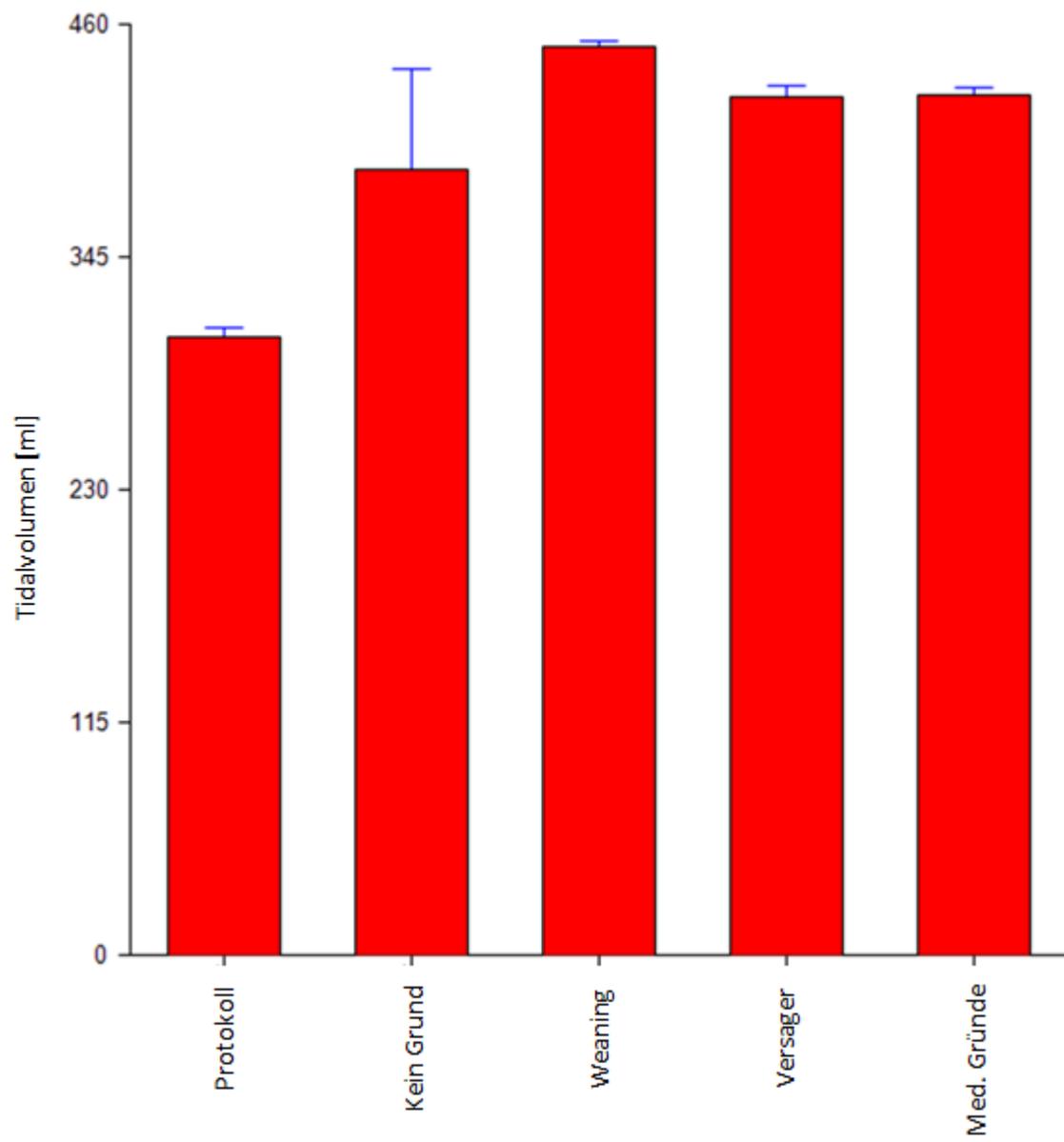


Abb. 3.9 Weaningfehler Tidalvolumen [ml]

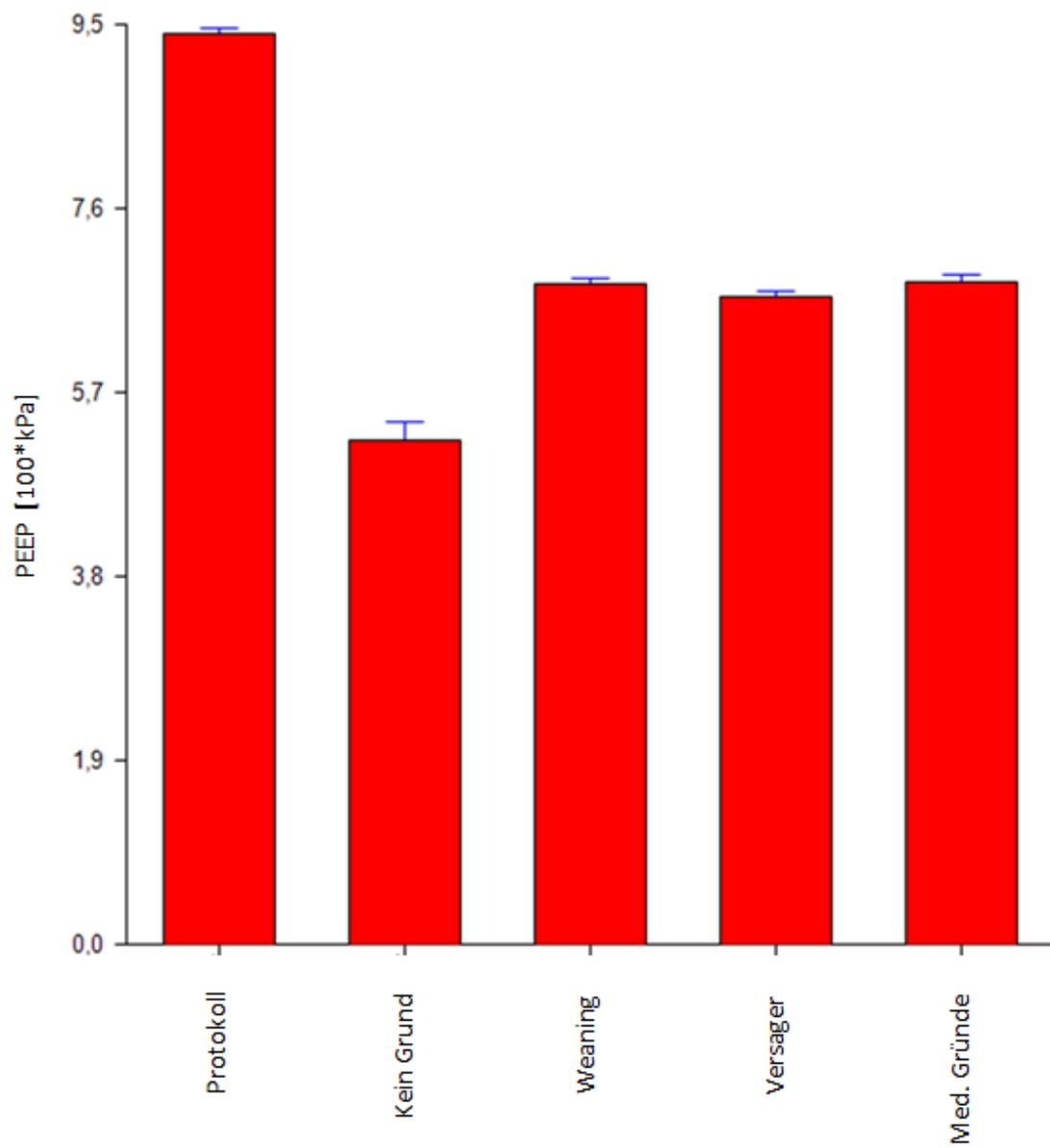


Abb. 3.10 Weaningfehler PEEP [100\*kPa] (PEEP = positiv endexpiratorischer Druck)

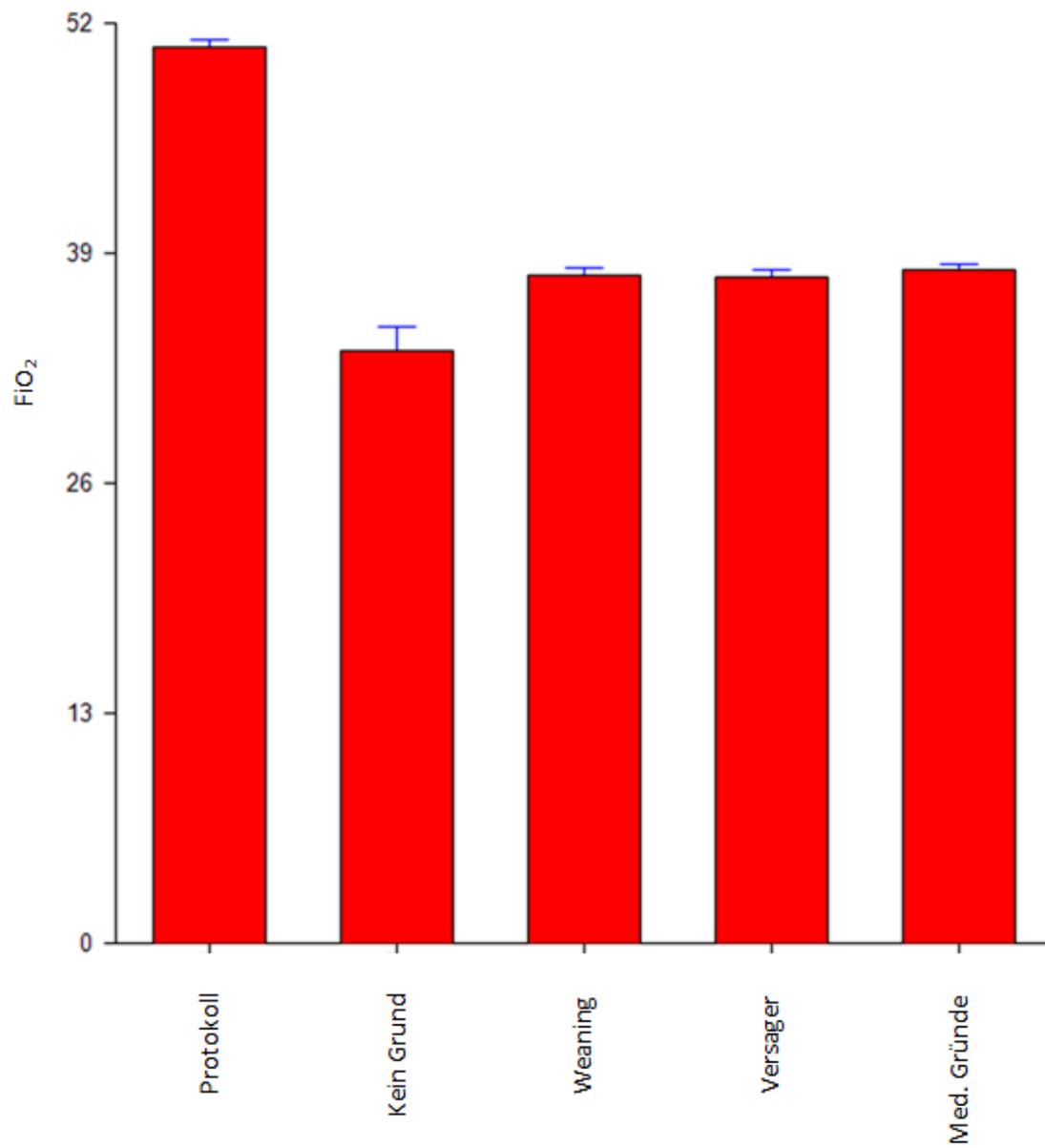


Abb. 3.11 Weaningfehler F<sub>i</sub>O<sub>2</sub> (F<sub>i</sub>O<sub>2</sub> = inspiratorische Sauerstoffkonzentration)

Variable	Statistik	Weiterbeatmung laut Protokoll Ok	Kein Grund für Weiterbeatmung	Weaning	Weaning- versagen	Medizinische Gründe gegen Extubation	Total
VT [ml]	Beatmungstage	2264	10	866	482	724	4346
	%	52,1	0,2	19,9	11,1	16,7	
	MW	305,1	388,3	448,6	424,4	424,7	367,0
	SD	236,9	163,2	110,9	127,2	108,7	199,3
PEEP [100*kPa]	Beatmungstage	2264	10	866	482	724	4346
	%	52,1	0,2	19,9	11,1	16,7	
	MW	9,4	5,2	6,8	6,7	6,8	7,9
	SD	2,9	0,6	1,6	1,7	1,8	2,6
F <sub>i</sub> O <sub>2</sub>	Beatmungstage	2264	10	866	482	724	4346
	%	52,1	0,2	19,9	11,1	16,7	
	MW	50,7	33,5	37,7	37,6	38,1	43,3
	SD	14,7	4,1	14,1	8,5	9,8	14,5

Tab.3.11 Weaningfehler (MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, VT = Tidalvolumen, PEEP = positiv endexpiratorischer Druck, F<sub>i</sub>O<sub>2</sub> = inspiratorische Sauerstoffkonzentration)

### 3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Über einen Zeitraum von drei Monaten wurden alle beatmeten Patienten (N=851) von 24 Intensivstationen, für die Beatmungstage eins bis sieben, in die Studie aufgenommen. Sie wurden in die Behandlungsgruppen chirurgisch, neurologisch/neurochirurgisch und internistisch eingeteilt. Internistische Patienten hatten insgesamt eine kürzere Beatmungsdauer. Die Patienten, männlich wie weiblich waren im Durchschnitt 70 Jahre alt. Bei der Einstellung der Beatmungsparameter Tidalvolumen, PEEP und FiO<sub>2</sub> fand sich an 61,6% der Beatmungstage eine korrekte Einstellung. Ein erhöhtes Tidalvolumen fand sich bei Patienten mit COPD, Spontanatmung, Hyperkapnie und erhöhten intrakraniellen Drücken. In der täglich geforderten Selbsteinschätzung über die korrekte Einstellung der Beatmungsparameter wurde beim Tidalvolumen von 61,8% der Anwender eine korrekte Einhaltung der Parameter angegeben. Dies konnte aber in der objektiven Beurteilung der Beatmungsparameter nicht verifiziert werden. Nur bei wenigen Patienten (0,2%) gab es keinen Grund für eine weitere Beatmung, 19,9% befanden sich im Weaning, 11,1% wurden als Weaningversager eingestuft und bei 68,8% der Patienten gab es medizinische Gründe, die gegen ein Weaning bzw. eine Extubation sprachen.

## 4. Diskussion

In der „ARDS net Studie“ wird die Anwendung einer lungenprotektiven Beatmung empfohlen [82]. Um die Umsetzung zu forcieren, wurde in einem privaten Klinikkonzern die Kampagne „6ml-Jetzt lassen wir die Luft raus“ ins Leben gerufen. Ziel war die Anwendung der lungenprotektiven Beatmung an mehr als 90% der Beatmungstage. Das Tidalvolumen wurde nach dem auf Geschlecht und Körpergröße idealisierten Körpergewicht mit 6ml/kgKG berechnet (Abb. 2.2). Der PEEP und die  $F_{iO_2}$  wurden nach den Empfehlungen der „ARDS net Studie“ (Abb. 2.1) justiert.

### 4.1 Biometrische Daten

Zum Vergleich der von uns untersuchten Patienten mit dem Bundesdurchschnitt wurde der Mikrozensus der Bundesregierung vom Jahr 2009 herangezogen [75]. Der Mikrozensus ist eine amtliche Repräsentationsstatistik über die Bevölkerung und den Arbeitsmarkt, die alle vier Jahre das Zusatzprogramm „Fragen zur Gesundheit“ enthält. 2009 wurden 340.000 Haushalte mit 700.000 Personen, was ca. 1% der Bundesdeutschen Bevölkerung entspricht, befragt. Im Mikrozensus hatten Männer im Alter von 70-75 Jahren eine durchschnittliche Größe von 176 cm, im untersuchten Kollektiv lag die Größe ebenfalls bei 176cm. Bei den Frauen waren es 163 cm im Bundesdurchschnitt vs. 164 cm bei den untersuchten Patienten [75]. Männer wogen im Bundesdurchschnitt 83,3 kg vs. 82,8 kg bei den untersuchten Patienten, Frauen 71,3 kg vs. 71,6 kg. Beim BMI lagen die untersuchten Männer bei 25,8 vs. 27,4 im Mikrozensus, die Frauen bei 23,3 vs. 26,8. Es gibt keine Hinweise auf ein selektiertes Patientenkollektiv und damit auch keine Erklärung für den niedrigeren BMI der von uns untersuchten Patienten. Bei der Betrachtung von ARDS-Patienten mit der Co-Morbidität Adipositas rechnet man mit einem schlechteren Outcome gegenüber normalgewichtigen Patienten. Solange bei diesen Patienten mit einem BMI >30 ein singuläres Organversagen der Lunge auftritt, haben sie kein schlechteres Outcome als Patienten mit einem „normalen“ BMI. Sobald aber zwei und mehr Organsysteme betroffen sind, wird das Outcome adipöser Patienten schlechter [7, 8, 40, 60, 74]. Es zeigt sich zudem, dass adipöse

Frauen ein besseres Outcome haben als adipöse Männer [92]. Es scheint, dass nicht der BMI, sondern vielmehr die Hip-Waist-Ratio den Hinweis auf die Morbidität der Patienten gibt [62, 93]. Erwähnenswert ist auch das „Obesity Paradoxon“, welches besagt, dass Patienten mit einem BMI bis 30 ein besseres Outcome haben, als Patienten mit einem BMI < 20 [76]. Auch gibt es keine Erklärung für die kürzeren Beatmungszeiten von Frauen in der chirurgischen und der neurologisch/neurochirurgischen Gruppe (chirurgisch 179 vs. 204 Std. bzw. neurologisch/neurochirurgisch 197 vs. 274 Std.). In der internistischen Gruppe sind Männer und Frauen gleich lang beatmet (155 vs. 157 Std.), aber insgesamt deutlich kürzer als die beiden anderen Gruppen. Hier könnte die vermehrte Anwendung nichtinvasiver Beatmung bei medizinischen Krankheitsbildern (z.B. COPD) zum Tragen kommen.

#### 4.2 Abweichungen von den vorgesehenen Beatmungsparametern.

Bei 851 Patienten wurden 4346 Beatmungstage untersucht. Bei der Beurteilung, ob die vorgesehenen Beatmungsparameter eingehalten wurden, zeigte sich an 61,6% oder 2677 der Beatmungstage eine korrekte Einstellung des expiratorischen Tidalvolumens mit durchschnittlich 311ml. An 4,4% oder 189 der Beatmungstage wurde ein erhöhtes expiratorisches Tidalvolumen von 410ml auf Grundlage einer COPD dokumentiert, an 6,7% oder 292 der Tage wegen eines erhöhten Hirndruckes ( $VT = 471\text{ml}$ ), an 1,8% oder 78 der Tage auf Grund einer Hyperkapnie ( $VT = 496\text{ml}$ ) und an 7,2% oder 311 der Tage wurden andere Gründe für ein erhöhtes Tidalvolumen ( $VT = 456\text{ml}$ ) angeführt. Spontanatmung führte an 18,4% oder 799 der Tage zu einem erhöhten expiratorischen Tidalvolumen von 450ml. Es gibt einige nachvollziehbare Gründe für Abweichungen von den im Protokoll vorgesehenen Beatmungsparametern, die sich auf ein idealisiertes Körpergewicht beziehen und ein Tidalvolumen von  $6\text{ml/kg KG}$  vorsehen [17, 43]. Dies sind ein erhöhter Hirndruck, eine Hyperkapnie mit einem pH zwischen 7,2 und 7,3, und spontan atmende Patienten (NIV oder CPAP/ASB). Haben die Patienten eine Erhöhung des intrakraniellen Druckes muss der  $\text{paCO}_2$  im Normbereich gehalten werden. Ein erhöhter  $\text{paCO}_2$  geht über die Weitstellung der Hirngefäße und das daraus

resultierende erhöhte intrakranielle Blutvolumen mit einer Erhöhung des Hirndruckes einher. Bei diesen Patienten muss das Atemminutenvolumen, unter Inkaufnahme höherer Tidalvolumina ( $V_T = 471\text{ml}$ ), angepasst werden [82, 83]. Eine Hyperkapnie wurde bis zu einem  $\text{pH} \geq 7,25$  toleriert, sofern keine Kontraindikationen für die Erhöhung des  $\text{paCO}_2$  vorlagen [34]. Sank der  $\text{pH}$ -Wert z.B. auf Grund der Hyperkapnie auf Werte zwischen 7,20 und 7,25 wurde das Tidalvolumen laut Beatmungsprotokoll auf  $8\text{ ml/kg KG}$  erhöht ( $V_T$  bei Hyperkapnie =  $496\text{ml}$ ). Es galt aber, bei dieser Erhöhung des Tidalvolumens auf die Begrenzung des Beatmungsdruckes  $\leq 30\text{ kPa} \cdot 100$  zu achten, um eine beatmungsinduzierte Schädigung der Lunge zu vermeiden [13, 45, 50]. Die Anpassung von PEEP und  $\text{FiO}_2$  erfolgte nach den Vorgaben im Beatmungsprotokoll (Abb. 2.1) [43]. Atmeten die Patienten in einem druckunterstützten Modus spontan, steuerten sie ihre Tidalvolumina in einem gewissen Rahmen selbst. Denn auch bei einer entsprechend niedrigen Druckunterstützung fanden sich höhere Volumina ( $V_T = 450\text{ml}$ ), die aber mit Spitzendrücken unter  $30\text{ kPa} \cdot 100$  einhergingen. Die „ARDS net Studie“ bezieht sich aber nur auf die kontrolliert beatmeten Patienten, daher sollten die Patienten im Spontanatemmodus (NIV oder CPAP/ASB) nicht nach den Kriterien der lungenprotektiven Beatmung bewertet werden.

In der Selbsteinschätzung wurde das Beatmungsprotokoll beim expiratorischen Tidalvolumen an  $61,8\%$  oder an  $2685$  von  $4346$  Beatmungstagen eingehalten, beim PEEP in  $62,3\%$  oder an  $2707$  von  $4346$  Beatmungstagen und bei der inspiratorischen Sauerstoffkonzentration in  $62,2\%$  der Beatmungstage bzw. an  $2703$  von  $4346$  Tagen. Wurde das expiratorische Tidalvolumen eingehalten betrug es im Schnitt  $404\text{ml}$ , wurde es nicht eingehalten  $489\text{ml}$ . Wurde der PEEP nach Beatmungsprotokoll eingestellt, betrug er im Schnitt  $7,7\text{ kPa} \cdot 100$ , wurde das Protokoll nicht eingehalten  $8\text{ kPa} \cdot 100$ . Die  $\text{FiO}_2$  betrug bei eingehaltenem und bei nicht eingehaltenem Protokoll  $0,43$ . Die Selbsteinschätzung über die protokollgemäße Einstellung der Beatmungsparameter traf in den meisten Fällen zu. War die Einstellung in der Selbsteinschätzung in Ordnung (an  $61,8\%$  der  $4346$  untersuchten Beatmungstage) fand sich ein durchschnittliches Tidalvolumen von  $404\text{ml}$ . An

1661 (38,2%) der Beatmungstage entsprach die Einstellung des Tidalvolumens nicht dem Protokoll ( $V_T = 489\text{ml}$ ). Nimmt man nun die Werte aller Patienten an den 4346 Beatmungstagen fanden sich mit einem Tidalvolumen von 436ml, einem PEEP von  $7,86\text{ kPa} \cdot 100$  und einer  $F_{iO_2}$  von 0,4. Diese Patienten hatten eine niedrige  $F_{iO_2}$ , einen entsprechend niedrigen PEEP und eine adäquate Oxygenierung in der arteriellen Blutgasanalyse. Wenn sie außerdem im Spontanatemversuch keine Zeichen der Erschöpfung zeigten, ausreichende Schutzreflexe und eine Körpertemperatur unter  $38,5^\circ\text{C}$  (Tab. 1.3) hatten und keine medizinischen Gründe gegen eine Extubation sprachen (Tab. 1.2), war bei diesen Patienten ein Weaning indiziert [12, 20, 22, 24, 46]. Warum das Weaning nicht bei allen diesen Patienten durchgeführt wurde, ist nicht nachvollziehbar.

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchung wurden die täglich erhobenen Beatmungswerte objektiv, EDV-gestützt, untereinander ( $F_{iO_2}$  und PEEP) und mit dem vorgegeben Tidalvolumen der Patienten verglichen. Betrachtet man hier zuerst das laut Beatmungsprotokoll fehlerhafte Verhältnis von  $F_{iO_2}$  zu PEEP, so musste dies kein Grund für ein fehlerhaft hohes Tidalvolumen sein (war  $F_{iO_2}/\text{PEEP}$  nicht nach Protokoll entsprach das Tidalvolumen an 5,7% der Beatmungstage dem Protokoll und an 5,6% nicht dem Protokoll). Bei dieser Betrachtung der Beatmungsdaten der ein bis sieben Tage beatmeten Patienten fanden sich aber im Gegensatz zur Selbsteinschätzung über die protokollgemäße Einhaltung der Beatmungsparameter nur an 38,3% der Beatmungstage eine protokollgemäße Beatmung der Patienten. Von den 61,7% der Patienten, die nicht nach dem vorgegebenen Beatmungsprotokoll beatmet wurden befanden sich aber 46,5% im Weaning. Hier wurden, in Gegensatz zu den anderen Ergebnissen, Patienten mit einer Nichtinvasiven Beatmung (NIV) gesondert betrachtet. Die ausschließliche Darstellung der nichtinvasiv beatmeten Patienten in der Rubrik „Objektive Beurteilung der Einhaltung der vorgesehenen Beatmungsparameter“ ist als Fehler im Studiendesign zu werten. Bei weiterführenden Untersuchungen müssen sowohl Patienten mit einer nichtinvasiven Beatmung als auch Patienten mit Spontanatmung (z.B. CPAP/ASB) gesondert betrachtet werden. Fasst man die Ergebnisse aus der

Tabelle 3.9 zusammen fand man an 788 (18,1%) von 4346 Beatmungstagen ein nicht dem Beatmungsprotokoll entsprechendes Verhältnis von  $F_iO_2$  und PEEP. An 366 (8,4%) der Tage mit einem zu hohen Tidalvolumen und an 422 (9,7%) Beatmungstagen mit einem dem Beatmungsprotokoll entsprechenden Tidalvolumen. Differieren die eigene Einschätzung über die Einhaltung der im Protokoll vorgegebenen Beatmungsparameter im Gegensatz zur objektiven Überprüfung weiterhin in diesem Maße, muss eine entsprechende Kontrollinstanz im klinischen Alltag eingeführt werden.

Es zeigt sich in dieser Untersuchung, dass es unerlässlich ist Intensivpersonal, Pflegepersonal wie Ärzte, im adäquaten Umgang mit beatmeten Patienten zu schulen. Trotz der Schulung zu Beginn der „6ml-Kampagne“ ist ein großer Teil der Patienten nicht nach Protokoll beatmet worden. Dies sowohl in der Selbsteinschätzung als auch in der „objektiven“ Überprüfung der Beatmungsparameter. Eine Selbsteinschätzung scheint nicht der richtige Hebel zu sein, um eine flächendeckende lungenprotektive Beatmung durchzuführen. Möglicherweise helfen nur die weitere intensive Schulung des Intensivpersonals und Kontrollmechanismen (z.B. Warnhinweise im Patientendatenmanagementsystem (PDMS), mit denen die Sinnhaftigkeit der Beatmungsparameter kontrolliert und ausgewertet werden.

Im Rahmen der Kampagne „6ml-Jetzt lassen wir die Luft raus“ war als Ziel definiert, die Einhaltung der vorgegebenen Beatmungsparameter bei mehr als 90% der Beatmungspatienten bzw. an mehr als 90% der Beatmungstage zu erreichen.

Nach der täglichen Selbsteinschätzung über die Einhaltung der vorgesehenen Beatmungsparameter wurde das Kampagnenziel beim Tidalvolumen an 61,8% (2685 von 4346 Tagen) der Beatmungstage, beim PEEP an 62,3% (2707 von 4346 Tagen) und bei der  $F_iO_2$  an 62,2% (2703 von 4346 Tagen) der Beatmungstage erreicht. Bei der objektiven Beurteilung wurde nur an 19,9% (864 von 4346 Tagen) der Beatmungstage das vorgegebene Beatmungsziel erreicht, jedoch befanden sich die Patienten an 46,5% (2023 von 4346 Tagen) der Beatmungstage im Weaning und wurden an 10,2% (445 von 4346 Tagen) der Beatmungstage nichtinvasiv beatmet (NIV) [15].

Das Ziel, mehr als 90% der Beatmungspatienten protokollgemäß zu beatmen wurde nicht erreicht. Betrachtet man den Teil der Patienten, die sich im Weaning befand (46,5%) und die Patienten mit nichtinvasiver Beatmung (10,2%) kann das Ziel von 90% Patienten mit lungenprotektiver Beatmung nicht erreicht werden. Daher dürfen diese Patienten nicht in die Berechnung der korrekt beatmeten Patienten einbezogen werden, beziehungsweise müssen gesondert erfasst werden. Dies muss im Design weiterer Studien berücksichtigt werden. Es ist daher zum einen eine Re-evaluation der Schulungen über die lungenprotektive Beatmung notwendig. Zum anderen sind zusätzliche Trainings des Intensivpersonals nötig, um alle „weanbaren“ Patienten zu identifizieren und die entsprechenden Maßnahmen einzuleiten. Hierzu gehören die tägliche Sedierungspause und ein täglicher Spontanatmungsversuch bei fehlenden Kontraindikationen, sowie die tägliche Anwendung eines Weaningprotokolls [65]. Im Weaningprotokoll wird das tägliche Behandlungsziel festgelegt (Abb. 1.1). Es wäre zu überlegen, ob im Weaningprotokoll die zusätzliche Rubrik „Tidalvolumen 6 ml/kg KG erreicht“ eingefügt wird.

### 4.3 Weaningversager

Erfüllten die beatmeten Patienten keine Weaningkriterien und die Weiterbeatmung war damit laut Protokoll medizinisch indiziert (an 52,1% der Beatmungstage), entsprach auch das Tidalvolumen mit durchschnittlich 305ml den Vorgaben [12, 20, 22, 24, 46]. Gab es jedoch laut Beatmungsprotokoll keinen Grund für eine Weiterbeatmung, dies war nur an 0,2% der untersuchten Beatmungstage der Fall, war auch hier das Tidalvolumen mit 388ml protokollgerecht. Patienten im Weaning (an 19,9% der Beatmungstage) hatten, bedingt durch die zum Teil angewandten Spontanbeatmungsmuster, ein durchschnittliches Tidalvolumen von 418ml. Wurden die Patienten aus medizinischen Gründen weiter beatmet (16,7%), hierzu zählen unter anderem ein erhöhter intrakranieller Druck, Fieber, eine  $F_iO_2 \geq 0,4$  und ein  $PEEP > 8kPa \cdot 100$ , war das durchschnittliche Tidalvolumen mit 424ml leicht erhöht. Grund für die erhöhten Tidalvolumina könnte eine Hyperkapnie gewesen sein, die nur mit einem erhöhten Tidalvolumen (8 ml/kg KG) therapiert

werden konnte. Hier muss ggf. frühzeitig an alternative Formen der Oxygenierung mittels ECMO und der CO<sub>2</sub>-Elimination mittels ILA gedacht werden, um weitergehenden Schädigungen der Lunge durch hohe Tidalvolumina oder hohe Beatmungsspitzendrücke entgegen zu wirken. Zur letzten Patientengruppe gehörten mit 11,1% die Weaningversager, bei denen mehrere Spontanatmungs- oder auch Extubationsversuche scheiterten [20, 23, 72]. Sie hatten ein durchschnittliches Tidalvolumen von 424ml. Als Gründe für das Weaningversagen gelten eine vorzeitige muskuläre Erschöpfung auf Grund einer längeren Beatmungszeit, eine Criticall-Illness-Polyneuropathie, unzureichender Atemantrieb auf Grund von Medikamenten oder der neurologischen Situation. Diese Patienten werden meist von den Akutkliniken in Spezialkliniken zur Beatmungsentwöhnung verlegt, da oftmals eine Langzeitbeatmung in einer Pflegeeinrichtung notwendig ist. Nach diesen Ergebnissen muss ein Ziel für die Zukunft sein, diejenigen Patienten zu identifizieren, die entweder früher in Weaningkliniken verlegt werden können oder aber früher der Unterbringung in einer Einrichtung der Beatmungspflege zugeführt werden können. Die Entwicklung prädiktiver Faktoren, die mithilfe die Entscheidung zwischen Weaning und Langzeitbeatmung zu treffen, muss ein Ziel weiterer Untersuchungen sein [27, 38, 57].

Trotz aller Verbesserungen im Bereich der lungenprotektiven Beatmungsstrategien verlängern sich die durchschnittlichen Beatmungszeiten mit den Komplikationen Pneumonie, Langzeit- bzw. Heimbeatmung und beatmungsinduzierten Lungenschäden [13, 45, 50]. Daher müssen Wege zur Verkürzung der Beatmungszeiten gefunden werden. Eine Möglichkeit ist der Einsatz von automatisierten Beatmungsverfahren, wie z.B. SMARTCARE™ (Draeger, Lübeck, Deutschland), bei denen die Beatmungsparameter permanent den aktuellen Bedürfnissen und Möglichkeiten der Patienten angepasst werden [16, 71, 81]. So wird z.B. die Druckunterstützung (ASB) dem tatsächlichen Atemtrigger (Ein während der Inspiration durch den Patienten im Atemtrakt erzeugter Unterdruck) dynamisch angepasst. Zur Wertigkeit dieser Verfahren gibt es widersprüchliche Aussagen, sodass es für ein abschließendes Urteil weiterer Untersuchungen bedarf.

#### 4.4 Ausblick

Bei Einhaltung lungenprotektiver Beatmungsmuster mit niedrigen Tidalvolumina kommt man trotz hoher Beatmungsfrequenzen schnell an die Grenze einer ausreichenden CO<sub>2</sub>-Elimination, da der Anteil der Totraumventilation überproportional zunimmt. Hier muss man überlegen, ob eine frühere und großzügigere Anwendung von extrakorporalen CO<sub>2</sub>-Eliminationsverfahren einen Vorteil bringt. Kommt ein Oxygenierungsproblem, wie z.B. beim schweren ARDS, hinzu, bleibt ein extrakorporales Verfahren zur besseren Versorgung des Organismus mit Sauerstoff die einzige Option [83]. Die Anwendung der ECMO erfolgt in wenigen hochspezialisierten Zentren mit entsprechender Selektion der Patienten und limitierten Plätzen. Verfahren wie die ILA (interventional lung assist; pumpenlose extrakorporale Membransysteme) werden häufiger angewandt, sind aber nur für Patienten mit einem primären Kohlendioxideliminationsproblem geeignet. Ob die Anwendung besonderer Beatmungsmuster, wie die Beatmung mit einem Tidalvolumen von nur 3 ml/kgKG in Kombination mit einem extrakorporalen Lungenunterstützungsverfahren einen Vorteil für das Outcome der Beatmungspatienten bringt, bleibt Gegenstand weiterer Untersuchungen [5, 58, 68]. Es ist notwendig eine Checkliste für die Auswahl der Patienten zu entwickeln, die von einem extrakorporalen Lungenunterstützungsverfahren profitieren werden. Diese Checkliste muss eine Entscheidungsfindung zwischen ECMO und ILA unterstützen.

Es bleibt die Frage, welche Diagnostik bei der Therapie des ARDS weiterhilft. Die Bestimmung des extravasalen Lungenwassers (ELVWI), z.B. mittels PiCCO® kann mithelfen, frühzeitig die Entscheidung über eine Hämofiltration zu treffen [54, 59]. Mittels Sonographie der Lunge, CT-Thorax, Thoraxröntgenaufnahme, transthorakaler oder transoesophagealer Echokardiografie kann der Flüssigkeitsgehalt der Lunge bzw. der Volumenstatus des Patienten nur geschätzt werden. Diese Schätzung ist stark von der individuellen Performance und Interpretation des Untersuchers abhängig. Biomarker, wie Protein C, könnten zukünftig eine Prognose des zu erwartenden Lungenversagens erlauben [80]. Eine abschließende Bewertung ist zurzeit noch nicht möglich.

Zuletzt bleibt die Frage, welche Therapieoptionen bleiben beim ARDS? Die Hämofiltration kann helfen, das interstitielle Lungenödem zu reduzieren und die Oxygenierung zu verbessern. Die dorsoventrale Wechsellagerung ist eine adäquate Therapie, die hilft das Outcome des ARDS zu verbessern [19, 31, 77, 87]. Extrakorporale Lungenersatzverfahren können die Regeneration der ARDS-geschädigten Lunge unterstützen [41]. Da es keine neuen revolutionären Behandlungsmethoden des ARDS gibt, bleibt es bei der bisherigen Erkenntnis, dass die zum ARDS führende Grunderkrankung forciert therapiert werden muss [68].

Die Diskussion über die Beatmungstherapie mittels oralem Tubus vs. Trachealkanüle führt zur Diskussion über den geeigneten Zeitpunkt der Tracheotomie [30]. Die Entscheidung über eine Tracheotomie des zu erwartend langzeitbeatmeten Patienten sollte zwischen den Beatmungstagen sieben und zehn erfolgen, wenn eine Beatmungsdauer von mehr als 14 Tagen zu erwarten ist. Eine frühe Tracheotomie innerhalb der ersten fünf Beatmungstage mag einen Vorteil bei der Sedierungsnotwendigkeit, dem Patientenkomfort und der Patientenautonomie bringen. Zheng et.al. beschreiben bei einer Tracheotomie an Tag 3 vs. Tag 15 mehr ventilatorfreie Tage, ein verbessertes Weaning, weniger Sedierungstage, kürzere Intensivaufenthalte und weniger Ventilator assoziierte Pneumonien [2, 21, 35, 39, 84, 94]. Die Mortalität langzeitbeatmeter Patienten ist unabhängig vom Zeitpunkt der Tracheotomie. Als Technik bietet sich die bettseitige bronchoskopisch assistierte perkutane Dilatations-tracheotomie an, die bei normalgewichtigen und bei adipösen Patienten gleich sicher anwendbar ist [52]. Bei Kontraindikationen kann ein operatives Tracheostoma angelegt werden.

#### 4.5 Fazit

Solange die flächendeckende Anwendung der lungenprotektiven Beatmung nicht durch eine adäquate Schulung des Personals und durch eine regelhafte Kontrolle unterstützt wird, kann der Vorteil für die Patienten nicht ausgeschöpft werden. Es müssen tägliche Sedierungspausen, ein täglich re-evaluiertes Weaningprotokoll und eine protokollgerechte Einstellung der Beatmungs-

parameter durchgeführt werden. Hierfür ist ein regelhafter Kontrollmechanismus zu etablieren. Dies kann über eine Angabe im Weaningprotokoll oder im Besten Falle EDV-gestützt über eine elektronische Patientenakte erfolgen.

In der Beatmung des ARDS-Patienten selbst gibt es keine relevanten neuen Therapiemöglichkeiten [68]. Die lungenprotektive Beatmung ist auch weiterhin anzuwenden. Die Anwendung bei mehr als 90% aller beatmeten Patienten ist nicht zu erreichen. Das Ziel muss zukünftig sein, dass mehr als 90% aller kontrolliert beatmeten Patienten lungenprotektiv beatmet werden. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen die Anwender auf den Intensivstationen erneut geschult werden und das Ergebnis muss im Rahmen einer erneuten Studie überprüft werden.

Letztlich muss auch die Frage gestellt werden, ob alle Patienten von der Beatmung entwöhnbar sind. Wenn nein, sind Mechanismen nötig, diejenigen Patienten zu identifizieren, bei denen kein Weaning möglich ist. Diese Patienten müssen zukünftig ohne den „Umweg“ über eine Weaningklinik direkt in eine Einrichtung der Beatmungspflege verlegt werden.

## 5. Zusammenfassung

Nach der Erstbeschreibung des ARDS in 1967 erfolgte 2012 die Berlin Definition des ARDS durch die AECC. Diese beschreibt ein akutes Lungenversagen des Erwachsenen mit der Entwicklung bilateraler pulmonaler Infiltrate, die ohne kardiale Ursache innerhalb einer Woche auftreten. Die Schwere des Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) wird in Abhängigkeit des Oxygenierungsindex eingeteilt. In der Therapie des ARDS gilt vorrangig die Behandlung der Grundkrankheit, die zur Entstehung des ARDS geführt hat. Ein wesentlicher Bestandteil ist die lungenprotektive Beatmung der Patienten mit einem Tidalvolumen von 6 ml/kg bezogen auf das geschlechtsspezifische idealisierte Körpergewicht. Neben der lungenprotektiven Beatmung mit bevorzugt volumenkontrollierten Beatmungsverfahren ist die tägliche Anwendung von Sedierungspausen und Weaningprotokollen erforderlich. Wesentliche Risikofaktoren für das Versagen des Weanings von einer invasiven Beatmung sind ein Patientenalter über 70 Jahre, eine kontinuierliche Sedierung der Patienten, längere Beatmungszeiten, eine Anämie und fehlgeschlagene Extubationsversuche.

Um die Einführung der flächendeckend angewandten lungenprotektiven Beatmung in einem privaten Klinikkonzern zu unterstützen, wurde die Kampagne „6ml – die Luft muss raus“ ins Leben gerufen. Das Ziel war die Anwendung der lungenprotektiven Beatmung bei mehr als 90% der beatmeten Patienten. Zu Beginn der Studie wurden alle ärztlichen und pflegerischen Mitarbeiter der Intensivstationen in der korrekten Anwendung der lungenprotektiven Beatmung geschult. Über einen Beobachtungszeitraum von drei Monaten wurden alle beatmeten Patienten für die Beatmungstage eins bis sieben in die Studie eingeschlossen. Die Patienten wurden einer der drei Patientengruppen (chirurgisch, neurologisch/neurochirurgisch oder internistisch) zugeordnet. Insgesamt wurden 851 Patienten mit 4346 Beatmungstagen in die Studie eingeschlossen, davon waren 63,6% männlich und 36,4% weiblich. 35% der Patienten wurden chirurgisch, 23,7% neurologisch/neurochirurgisch und 41,2% internistisch eingruppiert.

In Punkto Tidalvolumen und BMI gab es keine signifikanten geschlechtsbezogenen Unterschiede zwischen den Patientengruppen. Lediglich bei der Beatmungsdauer waren die Patienten der neurologisch/neurochirurgischen Gruppe geschlechtsunabhängig länger beatmet, als die Patienten der chirurgischen und der internistischen Gruppe. Bei den in der Datenerhebung dokumentierten Gründen für die Abweichung von den vorgegebenen Beatmungsparametern fand sich beim Grund „Hyperkapnie“ ein erhöhtes Tidalvolumen, eine erhöhte  $F_iO_2$  und ein erhöhter PEEP. Das Tidalvolumen ist zudem bei den Gründen COPD und erhöhter intrakranieller Druck erhöht.

Bei der täglichen Erfassung der Studiendaten wurden die Mitarbeiter der Intensivstationen aufgefordert eine Selbsteinschätzung abzugeben, ob die erhobenen Werte den im Studienprotokoll geforderten entsprachen. An 62% der Beatmungstage wurde eine Übereinstimmung mit den vorgegebenen Parametern angegeben. Bei einer objektiven Auswertung der Daten zeigte sich aber nur an 20% der Beatmungstage eine protokollgerechte Einstellung der Beatmungsparameter. Die Patienten wurden jedoch an 10% der Beatmungstage nichtinvasiv beatmet und waren an 46,5% der Tage im Weaning. Bei diesen Patienten ist kein Tidalvolumen mit 6 ml/kg KG zu erwarten, sie müssen gesondert betrachtet werden. War laut Selbsteinschätzung bei den Patienten kein Weaning indiziert, waren das Tidalvolumen, der PEEP und die  $F_iO_2$  protokollgerecht.

Das Ziel einer Anwendung der lungenprotektiven Beatmung bei mehr als 90% aller beatmeten Patienten bzw. an mehr als 90% der Beatmungstage wurde im Rahmen der Studie nicht erreicht. Es gab jedoch verschiedene nachvollziehbare Gründe für die entsprechenden Abweichungen. Dies sind Patienten mit COPD oder erhöhtem intrakraniellen Druck. Die meisten Patienten mit Abweichungen vom mit dem idealisierten Körpergewicht berechneten Tidalvolumen befanden sich im Weaning. Die Anwendung der lungenprotektiven Beatmungsmuster ist nur für kontrolliert beatmete Patienten möglich.

Die Selbsteinschätzung der behandelnden Ärzte und Pflegekräfte bezüglich einer protokollgerechten und damit einer lungenprotektiven Beatmung traf nur in

einem Teil der Fälle zu. Sie ist daher nicht geeignet, die strikte Anwendung lungenprotektiver Beatmungsformen zu überwachen. Hier scheint Handlungsbedarf hinsichtlich einer Kontrollinstanz zu bestehen. Diese kann über ein Weaningprotokoll generiert werden.

Wesentlich bleibt aber die grundlegende und regelmäßige Schulung aller Anwender im Beatmungsregime. Hier ist Bedarf für weitere Schulungen gegeben.

Die Patienten dieser Studie lagen mit ihrem BMI geringfügig unter dem altersangepassten Durchschnitt im Mikrozensus 2009 der Bundesrepublik Deutschland. Insgesamt aber nimmt der BMI der Bevölkerung kontinuierlich zu und es ist in der Zukunft mit mehr adipösen Patienten zu rechnen. Bis zu einem BMI von 30 verbessert sich das Outcome bei einer Langzeitbeatmung. Darüber hinaus aber verschlechtert sich das Outcome adipöser Patienten deutlich, sobald es zum Versagen von zwei und mehr Organsystemen kommt. Versagt die konventionelle Beatmungstherapie mit lungenprotektiver Beatmung, dorsoventraler Wechsellagerung, Therapie der zum ARDS führenden Grunderkrankung und angepasstem Flüssigkeitsregime, können extrakorporale Lungenunterstützungsverfahren helfen.

Schließlich ergeben sich folgende Fragen:

Ist bei jedem Patienten ein Weaning möglich oder gibt es prädiktive Faktoren, die das Weaningversagen sicher vorhersagen? Sollte man alle Patienten mit einer hohen Wahrscheinlichkeit des Weaningversagens direkt in eine Einrichtung der Beatmungspflege verlegen? Oder sollte man das bisherige Modell beibehalten und weiterhin annähernd alle Patienten aus der Akutklinik in eine Weaningklinik verlegen?

Als Fazit bleiben zwei wesentliche Aussagen:

Die wichtigste Therapie des ARDS ist die Therapie der zur respiratorischen Insuffizienz führenden Grunderkrankung.

Der wichtigste Faktor in der Anwendung lungenprotektiver Beatmungsformen ist die Schulung der Ärzte und Intensivpflegekräfte, sowie die Kontrolle der korrekten Anwendung.

## 6. Literatur

1. Albaiceta GM, Blanch L. Beyond volutrauma in ARDS: the critical role of lung tissue deformation. *Critical Care* 2011;15:304
2. Alhajhusain A, Ali AW, Najmuddin A, et.al. Timing of Tracheotomie in Mechanically Ventilated Critically Ill Morbidly Obese Patients *Critical Care Research and Practice* 2014;Article ID 840638, 7 Pages
3. Artigas A, Bernard GR, Carlet J, et.al. The American-European Consensus Conference on ARDS, Part 2. Ventilatory, Pharmacologic, Supportive Therapy, Study Design Strategies, and Issues Related to Recovery and Remodeling. *Am J Respir Crit Care Med* 1998;157:1332-47
4. Ashbaugh DG, Bigelow DB, Petty TL, et.al. Acute Respiratory Distress Syndrome in Adults. *Lancet* 1967;8:319-323
5. Bein T, Weber-Carstens S, Goldmann A, et.al. Lower tidal volume Strategy ( $\approx 3$  ml/kg) combined with extracorporeal CO<sub>2</sub> removal versus 'conventional' protective ventilation (6 ml/kg) in severe ARDS. *Intensive Care Med* 2013;39:847-856
6. Belperio JA, Keane MP, Lynch JP, et.al. The Role of Cytokines during the Pathogenesis of Ventilator-Associated and Ventilator-Induced Lung Injury. *Semin Respir Crit Care Med* 2006;27:350-364
7. Bercault N, Boulain T, Kuteifan K, et.al. Obesity-related excess mortality rate in an adult intensive care unit: A risk-adjusted matched cohort study. *Crit Care Med* 2004; 32:998-1003
8. Berkus J, Sundh J, Nilholm L. Long-term survival according to ventilation mode in acute respiratory failure secondary to chronic obstructive pulmonary disease: A multicenter, interception cohort study. *Journal of Critical Care* (2010) 25, 539.c13-539.c18
9. Bernard GR, Artigas A, Brigham KL, et.al. Report of the American-European Consensus Conference on ARDS: Definitions, Mechanisms, Relevant Outcomes, and Clinical Trial Coordination. *Intensive Care Med* 1994;20:225-232

10. Blackwood B, Alderdice F, Burns K, et.al. Use of weaning protocols for reducing duration of mechanical ventilation in critically ill adult patients: Cochrane systematic review and meta-analysis. *BMJ* 2011;342:c7237
11. Blackwood B, Clarke M, McAuley DF, et.al. How Outcomes Are Defined in Clinical Trials of Mechanically Ventilated Adults and Children. *Am J Respir Crit Care Med* 2014;189[8]:886-893
12. Boles J-M, Bion J, Connors R, et.al. Weaning from mechanical ventilation. *Eur Respir J* 2007;29:1033-1056
13. Boussarsar M, Thierry G, Jaber S, et.al. Relationship between ventilatory settings and barotrauma in the acute respiratory distress syndrome. *Intensive Care Med* 2002;28:406-413
14. Brun-Buisson C, Minelli C, Bertolini G, et.al. Epidemiology and outcome of acute lung injury in European intensive care units. *Intensive Care Med* 2004;30:51-61
15. Burns KEA, Adhikari NKJ, Keenan SP, et.al. Use of non-invasive ventilation to wean critically ill adults off invasive ventilation: meta-analysis and systematic review. *BMJ* 2009;338:b1574
16. Burns KEA, Lellouche F, Lessard MR, Friedrich JO. Automated weaning and spontaneous breathing trial system versus non-automated weaning strategies for discontinuation time in invasively ventilated postoperative adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2014, Issue 2, Art. No.: CD008639
17. Collins SR, Blank RS. Approaches to Refractory Hypoxemia in Acute Respiratory Distress Syndrome: Current Understanding, Evidence and Debate. *Respir Care* 2011;56(10):1573-82
18. Combes A, Bréchet N, Luyt CE. What is the niche for extracorporeal membrane oxygenation in severe acute respiratory distress syndrome? *Curr Opin Crit Care* 2012, 18:527-532
19. De Jong A, Molinari N, Sebbane M, et.al. Feasibility and Effectiveness of Prone Position in Morbidly Obese Patients With ARDS *Chest* 2013; 143(6):1554-1561

20. Dembinski R. Entwöhnung von der Beatmung. *Intensivmedizin up2date* 2012;12:9-20
21. Durbin CG Tracheostomy: Why, When and How? *Respir Care* 2010;55(8):1056-1068
22. Epstein SK "Narrow" thinking about difficult Weaning: Don't forget the endotracheal tube. *Respiratory Care* 2012;57(12):2130-32
23. Epstein SK (2012): Weaning from Mechanical Ventilation. In: Vincent (Hrsg.): *Encyclopedia of Intensive Care Medicine*. Berlin/Heidelberg Springer Verlag: S.2469-75
24. Epstein SK, Walkey A. Methods of weaning from mechanical ventilation. *UpToDate® WoltersKluwer Amsterdam Niederlande*. Empfangen 10.10.2013 von <http://www.uptodate.com/contents/methods-of-weaning-from-mechanical-ventilation>
25. Ferguson ND, Cook DJ, Guyatt GH. High-Frequency Oscillation in Early Acute Respiratory Distress Syndrome. *N Engl J Med* 2013; 368:795-805
26. Fitzgerald M, Millar J, Blackwood B, et.al. Extracorporeal carbon dioxide removal for patients with acute respiratory failure secondary to the acute respiratory distress syndrome: a systematic review. *Critical Care* 2014;18:222
27. Frutos-Vivar F, Ferguson ND, Esteban A, et.al. Risk Factors for Extubation Failure in Patients Following a Successful Spontaneous Breathing Trial. *Chest* 2006;130:1664-71
28. Gattinoni L, Protti A, Caironi P, et.al. Ventilator-induced lung injury: The anatomical and physiological framework. *Crit Care Med* 2010; 38[Suppl.]:S539-S548
29. Girard TD, Kress JP, Thomason JWW, et.al. Efficacy and safety of a paired sedation and ventilator weaning protocol for mechanically ventilated patients in intensive care (Awakening and Breathing Controlled Trial): a randomised controlled trial. *Lancet* 2008;371:126-34
30. Gomes Silva BN, Andriolo RB, Saconato H, Atallah ÁN, Valente O, Early versus late tracheostomy for critically ill patients. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2012, Issue 3. Art. No.: CD007271

31. Guérin C, Reignier J, Richard JC. Prone Positioning in Severe Acute Respiratory Distress Syndrome. *N Engl J Med* 2013;368:2159-68
32. Haas CF. Mechanical Ventilation with Lung Protective Strategies: What Works? *Crit Care Clin* 2011;27:469-486
33. Henzler D (2012): Extracorporeal Lung Support. In: Vincent (Hrsg.): *Encyclopedia of Intensive Care Medicine*. Berlin/Heidelberg Springer Verlag: S.910-918
34. Hickling KG, Walsh J, Henderson S, et.al. Low mortality rate in adult respiratory distress syndrome using low-volume, pressure-limited ventilation with permissive hypercapnia: A prospective study. *Crit Care Med* 1994;22(10):1568-78
35. Huang H, Li Y, Ariani F, et.al. (2014) Timing of Tracheostomy in Critically Ill Patients: A Meta Analysis. *PLoS One* 9(3):e92981
36. Hubmayr RD. Perspective on Lung Injury and Recruitment. *Am J Respir Crit Care Med* 2002;165:1647-53
37. Johnson ER, Matthay MA. Acute Lung Injury: Epidemiology, Pathogenesis and Treatment. *J Aerosol Med Pulm Drug Deliv.* 2010 Aug;23(4):243-52
38. Khamiees M, Raju P, DeGirolamo A, et.al. Predictors of Extubation Outcome in Patients Who Have Successfully Completed a Spontaneous Breathing Trial. *Chest* 2001;120:1262-70
39. Koch T, Hecker B, Hecker A, et.al. Early tracheostomy decreases ventilation time but has no impact on mortality of intensive care patients: a randomized study *Langenbecks Arch Surg* (2012) 397:1001-1008
40. Kunar G, Majumdar T, Jacobs ER. Outcomes of Morbidly Obese Patients Receiving Invasive Mechanical Ventilation. *Chest* 2013;144(1):48-54
41. Küstermann J, Brederlau J, Kranke P, et.al. Lungenersatzverfahren-Einsatz und Management extrakorporaler Lungenersatzverfahren. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 2012;47:646-653
42. Lachmann B. Open up the lung and keep the lung open. *Intensive Care Med* 1992;18:319-321

43. Larsen R/ Ziegenfuß (Hrsg.) 2013 Akutes Lungenversagen (ARDS). Aus Beatmung. Berlin/ Heidelberg Springer Verlag, S. 371-390
44. Larsen R/ Ziegenfuß (Hrsg.) 2013 Alternative Beatmungsformen: IRV, APRV, BIPAP; ASV, PAV, ATC, ILV. Aus Beatmung. Berlin/ Heidelberg Springer Verlag, S. 253-283
45. Larsen R/ Ziegenfuß (Hrsg.) 2013 Auswirkungen und Komplikationen der Beatmung. Aus Beatmung. Berlin/ Heidelberg Springer Verlag, S. 361-368
46. Larsen R/ Ziegenfuß (Hrsg.) 2013 Entwöhnung von der Beatmung (Weaning). Aus Beatmung. Berlin/ Heidelberg Springer Verlag, S. 339-359
47. Larsen R/ Ziegenfuß (Hrsg.) 2013 Hochfrequenzbeatmung, CFT, ECMO, IVOX. Aus Beatmung. Berlin/ Heidelberg Springer Verlag, S. 285-296
48. Larsen R/ Ziegenfuß (Hrsg.) 2013 Indikationen, Ziele und Durchführung der Beatmung. Aus Beatmung. Berlin/ Heidelberg Springer Verlag, S. 307-315
49. Larsen R/ Ziegenfuß (Hrsg.) 2013 Standardformen der Beatmung. Aus Beatmung. Berlin/ Heidelberg Springer Verlag, S. 237-251
50. Lionetti V, Recchina FA, Ranieri VM. Overview of ventilator-induced lung injury mechanisms. *Curr Opin Crit Care* 2005;11:82-86
51. Liu LL, Aldrich M, Shimabukuro DW, et.al. Rescue Therapies for Acute Hypoxemic Respiratory Failure. *Anesth Analg* 2010;111:693-702
52. McCague A, Aljanabi H, Wong WT. Safety Analysis of Percutaneous Dilational Tracheostomies with Bronchoscopy in the Obese Patient *Laryngoscope*, 122:1031-1034, 2012
53. Mendez JL, Hubmayr RD. New insights into the pathology of acute respiratory failure. *Curr Opin Crit Care* 2005;11:29-36
54. Monnet X, Perel A (2012): Extravascular Lung Water. In: Vincent (Hrsg.): *Encyclopedia of Intensive Care Medicine*. Berlin/Heidelberg Springer Verlag: S.919-923

55. Morán I, Zalava E, Fernández R, et.al. Recruitment manoeuvres in acute lung injury/acute respiratory distress syndrome. *Eur Respir J* 2003;22: Suppl. 42, 37s-42s
56. Morris AC, Hay AW, Swann DG, et.al. Reducing ventilator-associated pneumonia in intensive care: Impact of implementing a care bundle. *Crit Care Med* 2011;39:2218-24
57. Nemer SN, Valente Barbas CS. Predictive parameters for weaning from mechanical ventilation. *J Bras Pneumol* 2011;37(5):669-679
58. Neto et.al. Protocol for a systematic review and individual patient data meta-analysis of benefit of so-called lung-protective ventilation settings in patients under general anesthesia for surgery. *Systematic Review* 2014, 3:2
59. Ney L, Reuter DA, Dinkel M, et.al. (2012) Monitoring. In: Roissant, et.al. (Hrsg.): *Die Anaesthesiologie*. Berlin/Heidelberg Springer Verlag: S.388-437
60. O'Brien JM, Phillips GS, Ali NA, et.al. Body mass index is independently associated with hospital mortality in mechanically ventilated adults with acute lung injury. *Crit Care Med* 2006;34:738-744
61. Oeckler RA, Hubmayr RD. Ventilator-associated lung injury: a search for better therapeutic targets. *Eur Respir J* 2007;30:12-16-26
62. Paolini JB, Mancini J, Genestal M. Predictive value of abdominal obesity vs. Body mass index for determining risk of intensive care unit mortality. *Crit Care Med* 2010;38:1308-1314
63. Papadakos PJ, Lachmann B. The Open Lung Concept of Alveolar Recruitment Can Improve Outcome in Respiratory Failure and ARDS. *Mt Sinai J Med* 2002; Jan-Mar; 69(1-2):73-7
64. Papadakos PJ, Lachmann B. The Open Lung Concept of Mechanical Ventilation: The Role of Recruitment and Stabilization. *Crit Care Clin* 2007;23:241-250
65. Papadakos PJ. The long and short of sedation practices: Daily interruption or bolus dosing? *Crit Care Med* 2006;34(5):1544-45

66. Park PK, Napolitano LM, Bartlett RH. Extracorporeal Membrane Oxygenation in Adult Respiratory Distress Syndrome. *Crit Care Clin* 2011;27:627-646
67. Parker JC, Hernandez LA, Peevy KJ. Mechanisms of ventilator-induced lung injury. *Crit Care Med* 1993;21:131-143
68. Petrucci N De Feo C. Lung protective ventilation strategy for the acute respiratory distress syndrome. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2013, Issue 2. Art. No.: CD003844
69. Robertson TE, Mann HJ, Hyzy R, et.al. Multicenter implementation of a consensus-developed, evidence-based, spontaneous breathing trial protocol. *Crit Care Med* 2008;36:2753-62
70. Rose L, Dainty KN, Blackwood B. Weaning from Mechanical Ventilation: A Scoping Review of Qualitative Studies. *American Journal of Critical Care* 2014;23:e54-e71
71. Rose L, Schultz MJ, Cardwell CR, Juvet P, McAuley DF, Blackwood B. Automated versus non-automated weaning for reducing the duration of mechanically ventilation für critically ill adults and children. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2014, Issue 6. Art. No.: CD009235
72. Rothaar RC, Epstein SK. Extubation failure: magnitude of the problem, impact on outcomes, and prevention. *Curr Opin Crit Care* 2003;9:59-66
73. Rubenfeld GD, Caldwell E, Peabody E. Incidence and outcomes of acute lung injury. *N Engl J Med* 2005; 353:1685-1693
74. Smith RL, Chong TW, Hedrick TL, et. al. Does Body Mass Index Affect Infection-Related Outcomes in the Intensive Care Unit? *Surgical Infections* 2007;8(6):581-588
75. Statistisches Bundesamt Hg. 2010. Mikrozensus der Bundesrepublik Deutschland. Empfangen 21.01.2014 von <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Gesundheit/GesundheitszustandRelevantesVerhalten/Tabellen/Koerpermasse.html>
76. Staudinger T. Die respiratorische Katastrophe des adipösen Patienten. *J Klein Endokrinol Stoffw* 2012;5(2):30-34

77. Sud S, Friedrich JO, Adhikari NKJ, et.al. Effect of prone positioning during mechanical ventilation on mortality among patients with acute respiratory distress syndrome: a systematic review and meta-analysis
78. Sud S, Sud M, Friedrich JO, Wunsch H, Meade MO, Ferguson ND, Adhikari NKJ. High-frequency ventilation versus conventional ventilation for treatment of acute lung injury and acute respiratory distress syndrome. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2013, Issue 2. Art. No.: CD004085
79. Tanios MA, Nevins ML, Hendra KP, et.al. A randomized, controlled trial of the role of weaning predictors in clinical decision making. *Crit Care Med* 2006; 34:2530-62
80. Terpstra ML, Aman J, van Nieuw Amerongen GP, et.al. Plasma Biomarkers for Acute Respiratory Distress Syndrome: A systematic Review and Meta-Analysis. *Crit Care Med* 2014;42:691-700
81. Terragni PP, Rosboch GL, Lisi A, et.al. How respiratory system mechanics may help in minimising ventilator-induced lung injury in ARDS patients. *Eur Respir J* 2003;22: Suppl. 42, 15s-21s
82. The Acute Respiratory Distress Syndrome Network. Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 2000;342:1301-8
83. The ARDS Definition Task Force. Acute Respiratory Distress Syndrome; The Berlin Definition. *JAMA* 2012;307(23):2526-33
84. Trouillet J-L, Luyt C-E, Guiguet M, et.al. Early Percutaneous Tracheotomy Versus Prolonged Intubation of Mechanically Ventilated Patients After Cardiac Surgery *Ann Intern Med.* 2011;154:373-383
85. Tsumno K, Miura K, Takeya M, et.al. Histopathologic Pulmonary Changes from Mechanical Ventilation at High Peak Airway Pressures. *Am Rev Respir Dis* 1991;143:1115-1120
86. Valente Barbas CS, Janot Matos GF, Passos Amato MB, et.al. Goal-Oriented Respiratory Management for Critically Ill Patients with Acute

- Respiratory Distress Syndrome. *Critical Care Research and Practice* 2012, Article ID 952168, 13 pages
87. Voggenreiter G, Neudeck F, Aufmkolk M, et.al. Intermittend prone positioning in the treatment of severe and moderate posttraumatic lung injury. *Crit Care Med* 1999;27(11):2375-2382
  88. Wauer VH, Groll G, von Dossow V. Experimentelle Ergebnisse zur anwendung des "Open-Lung-Konzepts". *Anaesthesiol Reanimat* 2007;27(2):32-37
  89. Wolhuis EK, Korevaar JC, Spronk P. Feedback and education improve physician compliance in use of lung-protective mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 2005;31:540-546
  90. Young D, Lamb SE, Shah S, et.al. High-Frequency Oscillation for Acute Respiratory Distress Syndrome. *N Engl J Med* 2013;368:806-13
  91. Zambon M, Vincent JL. Mortality rates for patients with acute lung injury/ARDS have decreased over time. *Chest* 2008 May;133(5):1120-7
  92. Zavorsky GS, Christou NV, Kim DJ, et.al. Preoperative Gender Differences in Pulmonary Gas Exchange in Morbidly Obese Subjects. *Obes Surg* 2008;18:1587-98
  93. Zavorsky GS, Hoffman SL. Pulmonary gas exchange in the morbidly obese. *Obesity reviews* 2008;9:326-339
  94. Zheng Y, Sui F, Chen X-K, et. al. Early versus late percutaneous dilational tracheostomy in critically ill patients anticipated requiring prolonged mechanical ventilation *Chin Med J* 2012;125(11):1925-1930

## 7. Abkürzungs- und Abbildungsverzeichnis

### 7.1 Abkürzungsverzeichnis

AECC	Amerikanisch-Europäische Konsensus Konferenz
AF	Atemfrequenz
ALI	Acute lung injury
ARDS	Acute respiratory distress Syndrome
ASB	Assisted spontaneous Breathing
av-ECLA	arteriovenöse extrakorporale Lungenassistenz (arteriovenous ECLA)
BIPAP	Biphasic Positive Airway Pressure
BMI	Body Mass Index
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
COPD	Chronisch obstruktive Lungenerkrankung
d.h.	das heißt
ECLA	extracorporal lung assist
ECMO	Extrakorporale Membranoxygenierung
EDV	elektronische Datenverarbeitung
F <sub>i</sub> O <sub>2</sub>	inspiratorische Sauerstoffkonzentration
GCS	Glasgow Coma Scale
ggf.	gegebenenfalls
HF	Herzfrequenz
HFOV	Hochfrequenzbeatmung
I:E	Verhältnis Inspiration zu Expiration
ICP	intrakranieller Druck
ILA	Interventional Lung Assist
IPPV	Intermittend Positive Pressure Ventilation
kg	Kilogramm
KG	Körpergewicht
kPa	Kilo Pascal
LVEDP	linksventrikulärer enddiastolischer Druck

Min	Minute
ml	Milliliter
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
MW	Mittelwert
NIV	Nichtinvasive Beatmung
paCO <sub>2</sub>	arterieller Kohlendioxidpartialdruck
paO <sub>2</sub> / F <sub>i</sub> O <sub>2</sub>	Oxygenierungsindex / Horowitzindex
paO <sub>2</sub>	arterieller Sauerstoffpartialdruck
PDMS	Patientendatenmanagementsystem
pECLA	pumpenlose extrakorporale Lungenassistentz
PEEP	Positiv endexpiratorischer Druck
PiCCO®	Pulse Contour Cardiac Output
P <sub>syst</sub>	systolischer Blutdruck
RASS	Richmond Agitation and Sedation Scale
SaO <sub>2</sub>	arterielle Sauerstoffsättigung
SD	einfache Standardabweichung (standard deviation)
SIMV	Synchronisierte intermittierende mandatorische Ventilation
SpO <sub>2</sub>	periphere Sauerstoffsättigung
va-ECMO	venoarterielle extrakorporale Membranoxygenierung
VILI	Ventilator induced lung injury
VT	Tidalvolumen
VT <sub>exp</sub>	expiratorisches Tidalvolumen
VT <sub>ist</sub>	tatsächliches Tidalvolumen
VT <sub>soll</sub>	geplantes Tidalvolumen
vv-ECMO	venovenöse extrakorporale Membranoxygenierung

## 7.2 Abbildungsverzeichnis

- Tab. 1.1 Richmond-Agitation and Sedation Scale [65]
- Tab. 1.2 Kontraindikationen für die Extubation (GCS = Glasgow Coma Scale, PEEP = positiv endexpiratorischer Druck,  $F_iO_2$  = inspiratorische Sauerstoffkonzentration)
- Tab. 1.3 Abfrage der adäquaten Sicherung der Atemwege [18, 42]
- Tab. 2.1 Erfasste Parameter der untersuchten Patienten ( $VT_{soll}$  = errechnetes Tidalvolumen,  $VT_{ist}$  = tatsächliches Tidalvolumen, COPD = chronisch obstruktive Lungenerkrankung, ICB = erhöhter intrakranieller Druck, BMI = Body Mass Index,  $F_iO_2$  = inspiratorische Sauerstoffkonzentration, PEEP = positiver endexpiratorischer Druck,  $paO_2$  = arterieller Sauerstoffpartialdruck)
- Tab. 3.1 Größe [cm] nach Fachrichtung und Geschlecht (MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung)
- Tab. 3.2 Körpergewicht [kg] nach Fachrichtung und Geschlecht (MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung)
- Tab. 3.3 Alter [Jahre] nach Fachrichtung und Geschlecht (MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung)
- Tab. 3.4 Body-Maß-Index (BMI) nach Fachrichtung und Geschlecht (MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung)
- Tab. 3.5 expiratorisches Tidalvolumen [ml] nach Fachrichtung und Geschlecht (MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung)
- Tab. 3.6 Beatmungsdauer [Stunden (h)] nach Fachrichtung und Geschlecht (MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung)
- Tab. 3.7 Gründe für die Abweichung vom Beatmungsprotokoll (MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, VT = Tidalvolumen, PEEP = positiv endexpiratorischer Druck,  $F_iO_2$  = inspiratorische Sauerstoffkonzentration, COPD = chronisch obstruktive Lungenerkrankung, ICP = erhöhter intrakranieller Druck)
- Tab. 3.8 Selbsteinschätzung der Einhaltung des Beatmungsprotokolls (MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, VT = Tidalvolumen, PEEP =

positiv endexpiratorischer Druck,  $F_iO_2$  = inspiratorische Sauerstoffkonzentration)

Tab. 3.9 Objektive Beurteilung der Einhaltung des Protokolls (MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, VT = Tidalvolumen, PEEP = positiv endexpiratorischer Druck,  $F_iO_2$  = inspiratorische Sauerstoffkonzentration, Legende in Tab. 3.10)

Tab.3.10 Legende zu Tab.3.9, Abb.3.8 (VT = Tidalvolumen, PEEP = positiv endexpiratorischer Druck,  $F_iO_2$  = inspiratorische Sauerstoffkonzentration, NIV = nichtinvasive Beatmung)

Tab. 3.11 Weaningfehler (MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, VT = Tidalvolumen, PEEP = positiv endexpiratorischer Druck,  $F_iO_2$  = inspiratorische Sauerstoffkonzentration)

Abb. 1.1 Beispiel eines Weaningprotokolls zur täglichen Anwendung ( $F_iO_2$  = inspiratorische Sauerstoffkonzentration, PEEP = positiv endexpiratorischer Druck, CPAP = Continuous Positive Airway Pressure, ASB = Assisted Spontaneous Breathing, HF = Herzfrequenz, AF = Atemfrequenz,  $SaO_2$  = arterielle Sauerstoffsättigung)

Abb. 2.1 Beatmungseinstellung für Patienten mit akutem Lungenversagen ( $paO_2$  = arterieller Sauerstoffpartialdruck,  $SpO_2$  = periphere Sauerstoffsättigung,  $F_iO_2$  = inspiratorische Sauerstoffkonzentration, PEEP = positiv endexpiratorischer Druck)

Abb. 2.2 Einstellhilfe für das vorgesehene Tidalvolumen [ml] (VT = Tidalvolumen, Körpergröße [cm])

Abb. 3.1 Body-Maß-Index (BMI) nach Fachrichtung und Geschlecht

Abb. 3.2 expiratorisches Tidalvolumen [ml] nach Fachrichtung und Geschlecht

Abb. 3.3 Beatmungsdauer [Stunden (h)] nach Fachrichtung und Geschlecht

Abb. 3.4 Gründe für die Abweichung vom Beatmungsprotokoll beim expiratorischen Tidalvolumen [ml] (COPD = chronisch obstruktive Lungenerkrankung, ICP = erhöhter intrakranieller Druck)

- Abb. 3.5 Gründe für die Abweichung vom Beatmungsprotokoll beim PEEP [100\*kPa] (PEEP = positiv endexpiratorischer Druck, COPD = chronisch obstruktive Lungenerkrankung, ICP = erhöhter intrakranieller Druck)
- Abb. 3.6 Gründe für die Abweichung vom Beatmungsprotokoll bei der  $F_{iO_2}$  ( $F_{iO_2}$  = inspiratorische Sauerstoffkonzentration, COPD = chronisch obstruktive Lungenerkrankung, ICP = erhöhter intrakranieller Druck)
- Abb. 3.7 Selbsteinschätzung der Einhaltung des Beatmungsprotokolls beim expiratorischen Tidalvolumen [ml]
- Abb. 3.8 Objektive Beurteilung Tidalvolumen [ml] Legende in Tab.3.10
- Abb. 3.9 Weaningfehler Tidalvolumen [ml]
- Abb. 3.10 Weaningfehler PEEP [100\*kPa] (PEEP = positiv endexpiratorischer Druck)
- Abb. 3.11 Weaningfehler  $F_{iO_2}$  ( $F_{iO_2}$  = inspiratorische Sauerstoffkonzentration)
- Abb. 8.1 Kick Off Flyer der Kampagne „Jetzt lassen wir die Luft raus...“  
Seite 1 und Seite 2

## 8. Anhang

### 8.1 Kick Off Flyer der Kampagne „Jetzt lassen wir die Luft raus...“



## Jetzt lassen wir die Luft raus...



### KAMPAGNE ZUR UMSETZUNG VON LEITLINIEN ZUR BEATMUNG VON PATIENTEN MIT AKUTEM LUNGENVERSAGEN (ALI/ARDS)

Wir empfehlen den Ausdruck des Qualitätssindikators als Quotienten der protokollgerecht beatmeten Patienten gemessen an der Anzahl aller wegen ALI/ARDS beatmeten Patienten in einer wöchentlichen Grafik:



Tag	Anteil in %
1	60
2	75
3	80
4	70
5	60
6	75
7	60

Wir hoffen anhand dieser geringen Zusatzdokumentation einen möglichen Zusammenhang mit den konzernweit aus Routinedaten erhaltenen Messzahlen bezüglich der Beatmung zu analysieren.

Wir würden uns freuen, Sie und Ihr Intensivteam zur Mitarbeit an der Kampagne bewegen zu können und sind überzeugt, dass wir hiermit eine Optimierung der Beatmung bei Patienten mit akutem Lungenversagen erreichen können.

Wir dürfen uns nochmals für Ihre Mitarbeit bedanken und stehen für Rückfragen jederzeit zur Verfügung.

**Information:**  
HELIOS Klinikum Berlin-Buch  
Prof. Dr. med. Ralf Kuhlen  
Für die AG Beatmung,  
Fachgruppe Intensivmedizin  
Schwanebecker Chaussee 50  
13125 Berlin

Telefon: +49 30 9401-7090  
Telefax: +49 30 9401-7099  
Email: ralf.kuhlen@helios-kliniken.de  
www.helios-wissen.de/beatmung

9C / 05.2007

Beatmung · HELIOS Kliniken Gruppe

Die aktuelle Grafik sollte auf der Station aushängen, um den Fortschritt der Kampagne transparent zu machen. Neben den beschriebenen Anlagen finden Sie in der Arbeitsmappe eine Excel Tabelle, wobei das 1. Arbeitsblatt die Berechnung der Tidalvolumina und errechneten Körpergewichte beinhaltet, das 2. Arbeitsblatt die Matrix zur Erstellung der Beispielgrafik beinhaltet.

Um den Erfolg dieser Maßnahme messbar zu gestalten, sollte die Kampagne für 3 Monate verfolgt werden. Bitte führen Sie während dieser 3 Monate das 2. Arbeitsblatt der Excel-Tabelle fort, so dass die Daten während der Kampagne verfolgbar bleiben.

(Abb.8.1 Kick Off Flyer der Kampagne „Jetzt lassen wir die Luft raus...“ Seite 1)



## Jetzt lassen wir die Luft raus...

Die Beatmung von Patienten mit akutem respiratorischem Versagen ist eine der wichtigsten Therapiemaßnahmen moderner Intensivtherapie. Beim akuten Lungenversagen dient die Beatmung vor allem der Wiederherstellung eines eingeschränkten Gasaustausches. Auch wenn die maschinelle Beatmung in diesen Situationen lebensrettend ist, hat sich in den letzten Jahren gezeigt, dass eine unglückliche Beatmungseinstellung mit hohen Drücken und Volumina zu einem weiteren Fortbestehen des Lungenversagens und letztendlich auch der Entwicklung eines Multiorganversagens beitragen kann.

In der mittlerweile richtungsweisenden Studie des amerikanischen ARDS Netzwerkes zur Beatmung beim akuten Lungenversagen konnte eine 25-prozentige Reduktion der Sterblichkeit durch Reduktion des Atemzugvolumens von 12 ml auf 6 ml/kg belegt werden. In klinischen Folgearbeiten konnte bestätigt werden, dass die Anwendung einer protektiven Beatmungsstrategie auch im klinischen Alltag zu einer Reduktion der Letalität beatmeter Patienten mit ARDS führt. Schon die anfängliche Einstellung des Atemzugvolumens ist als Risikofaktor für den Verlauf eines Lungenversagens identifiziert.

Trotz dieser Datenlage wird diese einfache Intervention nach wie vor bei weniger als 50% der wegen ALI/ARDS beatmeten Patienten genutzt.

*Die Kampagne „Jetzt lassen wir die Luft raus...“ hat sich zum Ziel gesetzt, den Verbreitungsgrad der protektiven Beatmungsstrategie auf über 90% anzuheben.*

Um dieses Ziel zu erreichen, muss die Tabelle zur Beatmungseinstellung gut sichtbar an jedem Beatmungsplatz angebracht werden. Darüber hinaus sollten die Hilfsmittel aus der Arbeitsmappe zum Einsatz kommen.

### Die Arbeitsmappe

Hierin finden Sie:

- den Einstellalgorithmus für die maschinelle Beatmung bei ALI/ARDS
- eine Tabelle, in der die Körpergröße eines Menschen mit dem errechneten Körpergewicht und dem hieraus resultierenden Atemzugvolumen in Beziehung gesetzt sind
- das Visitenprotokoll
- den Qualitätsindikator für die protektive Beatmung. Hiermit wird messbar, wie viele der wegen ALI/ARDS beatmeten Patienten tatsächlich eine protektive Beatmungsstrategie erhalten.

Die ersten beiden Tabellen gut sichtbar an jedem Beatmungsgerät aushängen. Hiermit ist gewährleistet, dass an jedem Beatmungsplatz die Vorgabe für eine protokollgerechte Einstellung der Ventilation verfügbar ist.

Sie sollten die Einführung dieser Tabellen unbedingt mit geeigneten Maßnahmen zur Fortbildung Ihrer Mitarbeiter begleiten.

### Seminar „Jetzt lassen wir die Luft raus“

31.08. – 01.09.07

### Seminar Beatmungsoptimierung

12. – 14.09.2007 und 15. – 17.09.2007

### Grundlagen der Beatmung

24. – 25.06.2007

29. – 30.09.2007

21. – 22.10.2007

10. – 11.11.2007

08. – 09.12.2007

Mehr Infos zu allen Seminaren unter:  
[www.helios-akademie.de](http://www.helios-akademie.de)

Zur Überprüfung der Maßnahmen ist am Ende der täglichen Visite bei jedem Patienten durch Angabe von „ja“ oder „nein“ auf dem Visitenprotokoll anzukreuzen, ob der Patient wegen ALI/ARDS beatmet ist und ob die zur Visite vorgefundene Beatmung dem ARDS Netzwerkprotokoll entspricht.

(Abb.8.1 Kick Off Flyer der Kampagne „Jetzt lassen wir die Luft raus...“ Seite 2)

## Danksagung

Ich danke meiner Frau Melanie, sowie meinen Kindern Philipp und Tabea für die Unterstützung und die Freiräume.

Ich danke Prof. Dr. med. Jörg Brederlau für die immer konstruktive und aufmunternde Betreuung.

Ich danke Univ.-Prof. Dr. med. Christian Wunder für die Betreuung der Arbeit.

Ich danke Prof. Dr. med. Ralf Kuhlen für die tatkräftige Unterstützung bei der Auswertung der Daten.

Ich danke der HELIOS Forschungsförderung für die Unterstützung der Arbeit (grant ID 004700).



## Lebenslauf

Heiko Benthin geb. Sehrt

- 1975-1988 Allgemeine Hochschulreife
- 1988-1990 Zivildienst
- 1991 Ausbildung zum Rettungsassistenten
- 1990-1999 Studium der Medizin, Georg-August-Universität Göttingen
- 1999 Erlaubnis für die Tätigkeit als Arzt im Praktikum 29.04.1999
- 1999-2003 Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Klinik und Poliklinik für  
Anästhesiologie der Julius-Maximilians-Universität Würzburg  
(Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. N. Roewer)
- 2000 Erlangung der Approbation: 01.12.2000
- 2003-2005 Assistenzarzt der Abteilung Anästhesie im Klinikum Dortmund  
(Priv.-Doz. Dr. med. J.F. Zander)
- 2005 Facharzt für Anästhesie: 03.12.2005
- 2006-2010 Assistenzarzt im Zentrum Anästhesie, Schmerztherapie und  
Notfallmedizin im HELIOS Klinikum Wuppertal  
(Prof. Dr. med. L. Brandt)
- 2006 Zusatzbezeichnung Notfallmedizin: 27.04.2006
- Seit 2010 Oberarzt der Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und  
Schmerztherapie im HELIOS Klinikum Schwelm  
(Dr.med. C. Mork)
- 2010 Zusatzbezeichnung Intensivmedizin: 04.12.2010
- 2013 Fachkunde Strahlenschutz: 19.04.2013
- 2013 ATLS Provider: 22.06.2013