

Zertifizierte Fortbildung

Spezifische Therapie des akuten Lungenversagens

Wissenschaftliche Leitung

T. Fuchs-Buder, Nancy
A.R. Heller, Augsburg
M. Rehm, München
M. Weigand, Heidelberg
A. Zarbock, Münster



H. Wrigge · C. Glien

Klinik für Anästhesiologie, Intensiv- und Notfallmedizin, Schmerztherapie, BG Klinikum Bergmannstrost
Halle gGmbH, Halle (Saale), Deutschland

Zusammenfassung

Wegen der hohen Heterogenität und Dynamik des Krankheitsverlaufes stellt die Behandlung des akuten Lungenversagens Intensivmediziner vor außerordentliche Herausforderungen. Nachdem die aktuelle Definition, Pathophysiologie und die Differenzialdiagnosen in der vorliegenden Zeitschrift bereits dargestellt wurden, werden im Folgenden Möglichkeiten der spezifischen und individualisierten Therapie behandelt. Die Beatmungstherapie mit Limitierung der Tidalvolumina und Druckamplitude zeigt einen Vorteil hinsichtlich der Letalität, ist aber aufgrund der vielfältigen Ätiologie des akuten Lungenversagens im Kontext mit den unterschiedlichen Gegebenheiten individuell anzupassen. In den letzten Jahren wurde die Bedeutung der Bauchlage, der möglichst frühzeitigen Spontanatmung und der Frühmobilisation für den positiven Krankheitsverlauf erkannt. Eine individualisierte Therapie sollte die Besonderheiten des Patienten und den spezifischen Krankheitsverlauf berücksichtigen.

Schlüsselwörter

„Acute respiratory distress syndrome“ · PEEP-Titration · Lungenrekrutierung · Bauchlage · COVID-19

Online teilnehmen unter:
www.springermedizin.de/cme

Für diese Fortbildungseinheit
werden 3 Punkte vergeben.

Kontakt

Springer Medizin Kundenservice
Tel. 0800 77 80 777
(kostenfrei in Deutschland)
E-Mail:
kundenservice@springermedizin.de

Informationen

zur Teilnahme und Zertifizierung finden
Sie im CME-Fragebogen am Ende des
Beitrags.

Lernziele

Nach Lektüre dieses Beitrags

- können Sie eine individualisierte Beatmungseinstellung vornehmen.
- kennen Sie Strategien zur Ermittlung des besten „positive endexpiratory pressure“ („best-PEEP“).
- kennen Sie verschiedene Möglichkeiten der Rekrutierung sowie deren Indikationen und Komplikationen.
- wenden Sie die Bauchlage zielgerichtet und indikationsgerecht an.
- kennen Sie die Möglichkeiten und Vorteile einer frühzeitigen Spontanatmung und Mobilisierung.

Einleitung

Dieser CME-Beitrag knüpft an einen Beitrag zu Pathophysiologie und Definition des „acute respiratory distress syndrome“ (ARDS) von Dembinski [1], die S3-Leitlinie zur invasiven Beatmung [2] und die S2-Leitlinie zur Lagerungstherapie [3] an. Der Fokus liegt auf der Individualisierung des „**positive endexpiratory pressure**“ (PEEP), der Indikation und Durchführung von Rekrutierungsmanövern und der Anwendung von Bauchlagerung bei der Therapie des ARDS. Aus aktuellem Anlass wird in übersichtlicher Form auf die bisher bekannten Spezifika bei der Therapie der „coronavirus disease 2019“ (COVID-19) eingegangen.

Individualisierung der Beatmungseinstellung

Die allgemeine Empfehlung, dass **Atemzugvolumen** (Tidalvolumen, V_T) auf einen Wert von 6 ml/kg des idealen Körpergewichts zu normieren, gilt grundsätzlich. Allerdings muss beachtet werden, dass es sich nur um eine grobe Annäherung an das vermeintliche Lungenvolumen des Patienten handelt. Dabei ist die Idee, dass abhängig von Körpergröße und Geschlecht über das ideale Körpergewicht (**Infobox 1**) eine Abschätzung des **endexpiratorischen Lungenvolumens** (EELV) oder der funktionellen Residualkapazität ermöglicht wird. Insbesondere für die Faktoren Übergewichtigkeit (Adipositas) und schwere Lungenerkrankung ist es möglich, dass sich bei gleicher Körpergröße und gleichem Geschlecht, also vergleichbarem idealen Körpergewicht, die Lungenvolumina von 2 Patienten unterscheiden (**Abb. 1**). Es erscheint also aus physiologischer Sicht sinnvoll, weitere Parameter als nur Körperlänge und Geschlecht zu betrachten. Letztendlich stehen die Begrenzung der Dehnung der einzelnen belüfteten Lungenareale und die Vermeidung der Überdehnung dieser Lungenareale bei der Einstellung einer protektiven Beatmung im Vordergrund des Bestrebens. Die spezifische Dehnung einer Alveole hängt vom Volumen der Alveole und der spezifischen Ventilation dieses Lungenareals, also dem anteiligen V_T , ab. Bei gleichem V_T entscheidet die Anzahl der Alveolen, die an der Ventilation teilnehmen, damit das EELV, über die spezifische Dehnung der einzelnen Alveole. Schematisch zeigt **Abb. 1** das EELV von 2 hypothetischen Patienten, abhängig vom BMI. Beide Patienten sind männlich und gleich groß, sodass sich rechnerisch dasselbe **Idealgewicht** von 75 kg ergibt (**Infobox 1**, der BMI für das Idealgewicht ist 23 kg/m²). Der klinisch empfohlene Bezug des V_T auf das Idealgewicht (V_T /kg Idealgewicht) ist eine erste pragmatische Näherung, um das geschlechts- und größenabhängige Lungenvolumen bei der Auswahl des V_T zu berücksichtigen. Das Beispiel zeigt, dass diese einfache Abschätzung in der klinischen Praxis durchaus zu Unterschieden in der wirklichen mechanischen Belastung des Lungenparenchyms führen kann. Wenn, wie in diesem Fall, eine Reduktion des EELV durch Adipositas vorliegt, erhöht sich die mechanische Dehnung des geringeren Lungenvolumens, dass dasselbe V_T aufnehmen muss. Dies ist in der *unteren Reihe* der **Abb. 1** zu sehen; dort ist die inspiratorische Ausdehnung des Lungenvolumens in *dunkelblau* dargestellt.

Das heißt konkret, wenn nur wenige Alveolen belüftet sind und an der Ventilation teilnehmen können, ist bei gleichem V_T die

Specific treatment of acute lung failure

Due to a high heterogeneity and dynamic changes in the course of acute respiratory distress syndrome (ARDS), intensive care physicians are faced with extraordinary challenges. While the current definition, pathophysiology and differential diagnoses were previously addressed in this journal, this article focuses on some specific and individualized treatment options. Ventilation treatment with limitation of tidal volumes and pressure amplitudes has been shown to be advantageous with respect to mortality. Nevertheless, because of the multifactorial etiology of ARDS in the context of individual circumstances, this strategy needs to be adjusted to each patient's needs. In recent years it has become increasingly evident that prone positioning, early spontaneous breathing and early mobilization improve the course of the disease. Therefore, an individualized treatment should consider these issues and take the characteristics of the patient and the specific disease progression into account.

Keywords

Acute respiratory distress syndrome · PEEP titration · Lung recruitment maneuver · Prone position · COVID-19

spezifische Dehnung dieser Alveolen größer. Da die **Compliance** des respiratorischen Systems (C_{RS}) indirekt vom EELV abhängt und einfacher zu bestimmen ist als das Lungenvolumen, erscheint die Einbeziehung von C_{RS} neben der allgemeinen Abschätzung des idealen Körpergewichts als sinnvoll. Hier hat sich in letzter Zeit der Parameter des „ Δ -pressure“ oder des „driving pressure“ (Δp) bewährt. Das Δp beschreibt die Druckamplitude, die zur Ventilation oder zur Applikation des V_T erforderlich ist. Rechnerisch ergibt sich Δp aus der Differenz von p_{plat} und PEEP oder dem Quotienten aus V_T und C_{RS} :

$$\Delta p = P_{p_{plat}} - PEEP(1)$$

$$\Delta p = \frac{V_T}{C_{RS}}(2)$$

$$EELV \sim C_{RS}(3)$$

Damit beinhaltet Δp neben der Höhe des V_T eine Information zur **Lungenfunktion** in Form der C_{RS} und indirekt auch zum EELV (Gl. 3), obwohl diese Proportionalität Limitierungen aufweist und im mathematischen Sinne nicht korrekt ist.

Zur Bedeutung von Δp gibt es 2 große Studien: zum einen eine retrospektive Analyse von Amato et al. [4], in die die Daten von mehr als 3500 Patienten aus 9 multizentrischen randomisierten Studien zum ARDS eingingen. Die Autoren konnten einen Anstieg des auf die Erkrankungsschwere bezogenen relativen Risikos zu versterben bei einem $\Delta p > 15$ cm H₂O zeigen. Dagegen sank das Risiko bei einem $\Delta p < 15$ cm H₂O.

Zum anderen fand eine große prospektive Observationsstudie eine ähnliche Assoziation zwischen Überleben und Δp [5]. Hier betrug der Δp -Grenzwert, ab dem sich die Sterblichkeit erhöht, 14 cm H₂O. Zu beachten ist, dass diese Assoziation keine Kausalität bedeutet, und dass die Erkrankungsschwere möglicherweise nur unzureichend durch die multivariate Analyse von Amato et al. abgebildet war [4]. Dennoch erscheint es physiologisch unbedingt sinnvoll, das V_T in Bezug zur aktuellen **Atemmechanik** in Form der C_{RS} zu setzen. Bei Patienten mit einem ARDS ist die grundsätzliche

Ein 38-jähriger Patient wird nach einem Stromunfall mit zweit- und drittgradigen Verbrennungen von insgesamt 45% der Körperoberfläche und einem Inhalationstrauma, Grad 2, in das Brandverletzenzentrum aufgenommen. Es bestehen bei dem Patienten keine bekannten Vorerkrankungen, und bei einer Körpergröße von 180 cm und einem Gewicht von 103 kg errechnet sich ein Body-Mass-Index (BMI) von 31 kg/m².

Nach Aufnahme und initialer chirurgischer Therapie erfolgt eine druckkontrollierte Beatmung mit einer inspiratorischen Sauerstofffraktion (F_IO₂) von 0,4 und einem PEEP von 5 cm H₂O. Darunter zeigt sich initial ein suffizienter Gasaustausch. Nach 72 h kommt es zur erheblichen Verschlechterung der respiratorischen Situation mit ausgeprägter Oxygenierungsstörung und einer notwendigen F_IO₂ von 1,0. Zu diesem Zeitpunkt erfolgt die Beatmung mit einem PEEP von 16 cm H₂O, einem Plateaudruck (p_{plat}) von 28 cm H₂O sowie einem arteriellen Sauerstoffpartialdruck (p_aO₂) und arteriellen Kohlendioxidpartialdruck (p_aCO₂) von 60 mm Hg bzw. 40 mm Hg. Die Thoraxröntgenaufnahme ergibt beidseitige Verschattungen mit einer pulmonalvenösen Stauungskomponente nach initialer Volumentherapie, relevante Pleuraergüsse werden sonographisch ausgeschlossen. In dieser Situation wird die Analgosedierung reduziert und der Beatmungsmodus auf eine „airway pressure release ventilation“ (APRV) mit dem Ziel der augmentierten Spontanatmung geändert. Der PEEP wird titriert und auf 22 cm H₂O erhöht und der p_{plat} bei 28 cm H₂O belassen. Die Analgosedierung wird angepasst, um die Spontanatmung zu ermöglichen. Innerhalb der folgenden 24 h kann die F_IO₂ auf 0,35 reduziert werden, mit einem p_aO₂ von 87 mm Hg und einem p_aCO₂ von 50 mm Hg. Im weiteren Verlauf erfolgen eine zunehmend augmentierte Beatmung sowie schrittweise Reduktion des PEEP und p_{plat}.

Bei diesem Patienten bestand, aufgrund der bei Brandverletzten initial notwendigen aggressiven Volumentherapie und des ausgeprägten Inflammationsgeschehens, eine Kombination aus pulmonaler Stauung und interstitiellem Ödem im Sinne eines ARDS. Es zeigt sich, dass eine individualisierte Beatmungstherapie zur raschen Besserung der schweren Gasaustauschstörung führen kann.

Idee bei der Anwendung eines PEEP, den **Alveolarkollaps** in der Expiration zu verhindern und das EELV möglichst ausreichend groß zu halten. Somit gibt es Ansätze, Δp zur PEEP-Titration zu nutzen, in dem bei einer absteigenden „PEEP-Treppe“ während volumenkontrollierter Beatmung das PEEP-Niveau gesucht wird, auf dem das konstante V_T im niedrigsten Δp resultiert, also die C_{RS} am größten ist. Die PEEP-Titration durch Minimierung des Δp während volumenkontrollierter Beatmung ist in **Abb. 2** gezeigt. Der PEEP wird von einem maximal tolerablen Wert (exemplarisch 24 cm H₂O) schrittweise gesenkt, und nach Erreichen stabiler Bedingungen (hier idealerweise 30 min, in praxi sollte aber mindestens 2 min gewartet werden) wird jeweils auf dem aktuellen PEEP-Niveau die Druckamplitude Δp gemessen, die für die Applikation des konstanten V_T erforderlich ist. Die PEEP-Stufe mit dem geringsten Δp (**Abb. 2** grüne Kurve mit rot markiertem Minimum) repräsentiert bei konstantem V_T die beste C_{RS} und das PEEP-Niveau mit der günstigsten Atemmechanik. Zur Sicherheit kann die nächsthöhere PEEP-Stufe gewählt werden, um einen zeitabhängigen Kollaps des Lungengewebes zu berücksichtigen.

Individuelle Faktoren

Einige Faktoren können Abweichungen von der Beatmungseinstellung nach Idealgewicht und PEEP-Tabellen bedingen. Die Konstitution des Patienten spielt eine Rolle; insbesondere Patienten mit **Adipositas** benötigen aufgrund des hohen Gewebedrucks, der auf den Alveolen lastet, auch unter gesunden Bedingungen, einen relativ hohen PEEP [6]. Ähnlich wie Adipositas wirkt sich beispielsweise ein erhöhter **intraabdomineller Druck** etwa im Rahmen eines septischen Schocks aus, in dem sich Teile davon über das Zwerchfell auf die Pleura übertragen und zu einer Kompression, insbesondere der dorsalen abhängigen Lungenareale, führen. Bei einem höheren Druck außerhalb der Alveole im Verhältnis zum Inneren kann es zu **Kompressionsatelektasen** kommen. Die genannten Faktoren bedingen eine Einschränkung der **Thoraxwand-Compliance** („chestwall compliance“, C_{CW}), die summiert mit der Lungen-Compliance (C_L) die C_{RS} bildet. Die Frage, ob bei einer eingeschränkten C_{RS} eine erniedrigte C_L oder (auch) eine erniedrigte C_{CW} vorliegt, kann oft nicht einfach beantwortet werden. Die beiden Komponenten von C_{RS} lassen sich unter Berücksichtigung des **Pleuradrucks** trennen, der über die Messung des Ösophagusdrucks (p_{ES}) abgeschätzt werden kann. Hinweise auf einen erhöhten Pleuradruck oder p_{ES} können klinische Aspekte wie Adipositas, aber auch ein erkrankungsbedingt erhöhter abdominaler Druck sein, der sich teilweise auf den Pleuradruck überträgt. Weiterhin ist es sinnvoll, sich den Mechanismus der Lungenschädigung klarzumachen und abzuschätzen, ob das Lungengewebe mit dem vorliegenden Schädigungsmechanismus rekrutierbar ist. Das heißt, die Anwendung von höheren **Beatmungsdrücken** führt zur Wiedereröffnung von Lungengewebe, und dieses kann im Anschluss durch einen entsprechenden PEEP auch offen gehalten werden. Dies kann z. B. der Fall sein, wenn sich im Rahmen der **systemischen Inflammation** eines extrapulmonalen septischen Geschehens ein sekundärer Lungenschaden mit einem interstitiellem Ödem entwickelt und die konsekutive Erhöhung des spezifischen Lungengewichts einen nachfolgenden Alveolarkollaps bedingt. Die in dieser Form geschädigte Lunge ist häufig, insbesondere in der Frühphase, noch rekrutierbar und kann durch Anwendung höherer Beatmungsdrücke wiedereröffnet und mit einem adäquaten PEEP offen gehalten werden. Anders kann es sich beispielsweise darstellen, wenn im Fall einer **Pneumonie** das Lungengewebe infiltriert und mit putridem Sekret gefüllt ist, das sich auch durch Anwendung höherer Beatmungsdrücke nicht aus den Alveolen verdrängen lässt. Damit ist eine Rekrutierung durch höhere Beatmungsdrücke nur in geringem oder nichtausreichendem Maß möglich. In diesen Fällen kann die Anwendung eines hohen PEEP sogar dazu führen, dass die bereits rekrutierten und belüfteten Lungenareale in der Inspiration zusätzlich überdehnt und überbläht werden. Wichtig bei der Wahl des PEEP ist die Abschätzung oder Testung, ob **rekrutierbares Lungengewebe** vorhanden ist oder nicht. Zur Beurteilung der Rekrutierbarkeit kann beispielsweise eine Thorax-CT herangezogen werden, da diese Aufschluss über Art und Verteilung der Infiltrationen und Konsolidierungen im Lungenbereich gibt. Eine relativ pragmatische Methode zur Individualisierung des PEEP wurde vom amerikanischen ARDS-Netzwerk vorgeschlagen [7], bei der der PEEP nach Tabellen an-

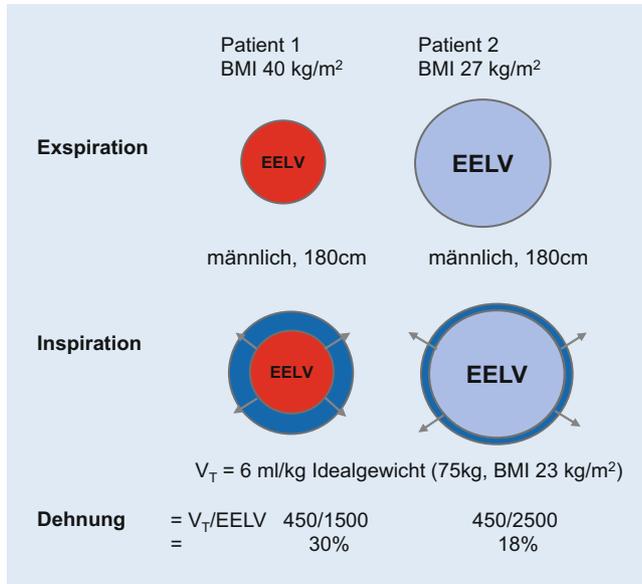


Abb. 1 ▲ Schematische Darstellung des endexpiratorischen Lungenvolumens (EELV) von 2 hypothetischen Patienten, abhängig vom Body-Mass-Index (BMI). V_T Atemzugvolumen

hand der benötigten F_{iO_2} herauf- oder heruntertitriert wird, wobei das Ziel eine **Sauerstoffsättigung** zwischen 90 und 94 % darstellt. Andere Möglichkeiten der PEEP-Titrationsen sehen z. B. die Verwendung atemmechanischer Parameter vor; so ist die Durchführung einer **statischen Compliance-Messung** beispielsweise in Form eines Low-flow-Manövers möglich. Hierbei beschreibt ein Punkt der höchsten Steigungsänderung im absteigenden Schenkel der statischen Druckvolumenkurve den Bereich, bei dem die Compliance schlagartig abnimmt. Praktikabler erscheint die Durchführung eines „PEEP trial“, bei dem, von einem hohen PEEP ausgehend, dieser schrittweise reduziert wird und, im Rahmen einer druckkontrollierten Beatmung mit konstantem Δp der PEEP-Wert gesucht wird, in dem sich das V_T maximiert. Bei volumenkontrollierter Beatmung wird analog das Δp als Zielgröße betrachtet, und ein minimales Δp würde das PEEP-Niveau mit bester Compliance anzeigen (**Abb. 2**). Bildgebende Verfahren wie beispielsweise die **elektrische Impedanztomographie** (EIT) oder der pulmonale Ultraschall können ebenfalls zur PEEP-Optimierung genutzt werden. In **Abb. 3** zeigen die beiden Originalregistrierungen einer EIT die über einen Atemzyklus summierten tidalen Impedanzänderungen und die regionale Verteilung der **tidalen Ventilation**. Die Perspektive ist ähnlich der einer transversalen CT, allerdings ist zu beachten, dass es sich um ein funktionelles und nicht morphologisches Bild handelt. In **Abb. 3a** liegt der Schwerpunkt der Ventilation in der ventralen Thoraxhälfte, und die abhängigen Areale nehmen offenbar nicht an der Ventilation teil, was für dorsale Belüftungsstörungen spricht. Nach Optimierung des PEEP und Einbeziehung der anteiligen Spontanatmung kommt es zur Umverteilung der Ventilation in dorsale Lungenregionen, einer insgesamt gleichmäßigen Ventilationsverteilung und mutmaßlich zur Rekrutierung abhängiger Lungenregionen (**Abb. 3b**). Die EIT kann somit als bettseitiges, nichtinvasives Bildgebungsverfahren zusätzliche regionale Informationen bei der Beatmungsoptimierung liefern.

Wie auch die S3-Leitlinie zur Beatmung feststellt, gibt es momentan keinen konsentierten Weg zur Einstellung des PEEP [2]. Die Ergebnisse der weltweit durchgeführten LUNG-SAFE-Studie [5] zeigen allerdings, dass in der praktischen Anwendung selten ein PEEP höher als 10 cm H₂O auch bei Patienten mit schwerem ARDS angewendet wird, was aus Sicht des Autors auf größere Defizite im Bereich der individualisierten Beatmungseinstellung hinweisen kann.

► Merke

- Neben dem idealen Körpergewicht ist die Art der Lungenschädigung für die Individualisierung einer protektiven Beatmung von Bedeutung.
- Der Driving pressure (Δp) erscheint relevanter als das Tidalvolumen und sollte <15 cm H₂O betragen.
- Eine Thorax-CT kann zur Abschätzung der rekrutierbaren Lungenabschnitte herangezogen werden.

Rekrutierungsmanöver

Rekrutierungsmanöver sollen dazu dienen, den **kritischen Öffnungsdruck** von rekrutierbaren Alveolen zu überschreiten, um nachfolgend mit einem PEEP oberhalb des kritischen Verschlussdrucks diese Lungenareale offen zu halten. Physikalisch beruht dies auf dem **Laplace-Gesetz**, wonach ein Hohlkörper einen höheren Druck zur Öffnung braucht als zum Offenhalten. Der klinische Stellenwert von Rekrutierungsmanövern ist hoch umstritten, und die aktuelle S3-Leitlinie zur invasiven Beatmung kann Rekrutierungsmanöver beim ARDS nicht generell empfehlen. In einer Metaanalyse untersuchten Suzumura et al. [8] die zu dem Zeitpunkt vorliegenden randomisierten kontrollierten Studien und kamen zu dem Ergebnis, dass sich zwar formal ein Vorteil für Rekrutierungsmanöver hinsichtlich der Krankenhausletalität finden ließ, dass aber die Heterogenität der eingeschlossenen Studien zu hoch war, um einen endgültigen Schluss zu ziehen. In einer späteren randomisierten kontrollierten Studie [9] wurden Patienten entweder einer Gruppe mit PEEP-Einstellung nach höherer PEEP-Tabelle des ARDS-Netzwerks [7] oder einer Gruppe, die ein Rekrutierungsmanöver mit nachfolgender PEEP-Titration gemäß der besten C_{RS} erhielt, zugeführt. Das initial nach Protokoll durchgeführte Rekrutierungsmanöver sah einen PEEP von 45 cm H₂O und einen p_{plat} von 15 cm oberhalb des PEEP, also 60 cm H₂O, vor [9]. Da es im Laufe der Studie zu Todesfällen im Rahmen dieses Rekrutierungsmanövers kam, wurde das Protokoll geändert, und es erfolgte ein abgeschwächtes Rekrutierungsmanöver mit einem PEEP von 35 cm H₂O und einem p_{plat} von 50 cm H₂O [9]. Während der Studie haben etwa 40 % der Teilnehmenden die beiden jeweiligen Manöver erhalten; in den restlichen Fällen musste das Manöver wegen **hämodynamischer Instabilität** bei niedrigeren PEEP-Werten abgebrochen werden. Die primäre Outcome-Variable der Studie war die 28-Tage-Letalität, und es zeigte sich ein Vorteil für die Patienten mit Anwendung eines niedrigeren PEEP ohne Rekrutierungsmanöver. Im Rahmen der Diskussion dieser Ergebnisse muss festgestellt werden, dass 1) über 60 % der Patienten ein primär pulmonales ARDS in Form einer Pneumonie hatten, was häufig ein geringes oder kein Rekrutierungspotenzial besitzt. Weiterhin war es so, dass auch die

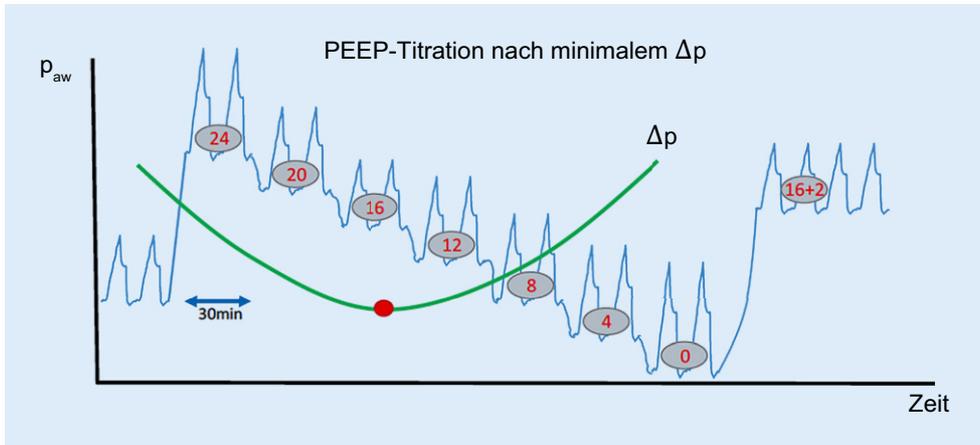


Abb. 2 ◀ Titration des positiven endexpiratorischen Drucks (PEEP) durch Minimierung des „driving pressure“ (Δp) während volumenkontrollierter Beatmung. p_{aw} Atemwegsdruck

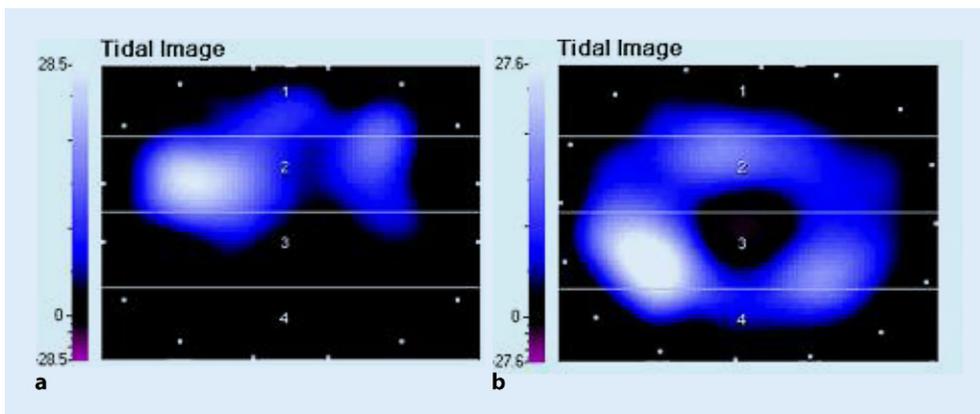


Abb. 3 ◀ Originalregistrierungen einer elektrischen Impedanztomographie (EIT) zeigen die über einen Atemzyklus summierten tidalen Impedanzänderungen und somit die regionale Verteilung der tidalen Ventilation. (Erklärungen s. Text)

niedrige PEEP-Gruppe mit einem PEEP von im Mittel $13 \text{ cmH}_2\text{O}$ beatmet wurde, während die sog. Hoch- oder individualisierte PEEP-Gruppe einen PEEP von $16,4 \text{ cmH}_2\text{O}$ erzielt hat. Der Unterschied im Δp zwischen den beiden Gruppen war geringer als $2 \text{ cmH}_2\text{O}$ und betrug in beiden Gruppen unter $13 \text{ cmH}_2\text{O}$. Würden die während des Rekrutierungsmanövers verstorbenen Patienten aus der Studie herausgenommen, würden sich keine Unterschiede zwischen den Gruppen mehr zeigen. Es kann zusammengefasst werden, dass durch das Rekrutierungsmanöver der venöse Rückfluss zum rechten Herzen reduziert und die rechtskardiale Nachlast aufgrund der gesteigerten intrapulmonalen Drücke erhöht wird. Diese Nebenwirkungen im Sinne einer akuten Vorlastsenkung bedingen kurzfristig eine hämodynamische Depression, die je nach Art des Manövers unterschiedlich ausgeprägt sein kann, aber in der Summe bei Patienten mit schwerem ARDS zum Tod führen kann. Daher bestätigen die Ergebnisse die Empfehlung der S3-Leitlinie, routinemäßig keine Rekrutierungsmanöver bei Patienten mit ARDS durchzuführen. Physiologisch erscheinen Rekrutierungsmanöver dann sinnvoll, wenn es z. B. im Fall einer Diskonnexion vom Beatmungsgerät oder Bronchoskopie zu einer bedrohlichen **Hypoxämie** durch zusätzlichen Verlust von belüftetem Lungengewebe kommt, dem mutmaßlich durch ein Rekrutierungsmanöver auch kurzfristig entgegengewirkt werden kann. Auch hierzu liegt keine Empfehlungen der S3-Leitlinie vor [2], allerdings war dieser Aspekt umstritten. Sollte sich der behandelnde Anästhesist im

Einzelfall entscheiden, ein Rekrutierungsmanöver durchzuführen, stehen prinzipiell folgende Arten von Manövern zur Auswahl (eine Übersicht gibt [10]):

1. Anwendung eines „continuous positive airway pressure“ (CPAP) von $40\text{--}50 \text{ cmH}_2\text{O}$ für etwa 40 s („sustained inflation“). Dieses Manöver hat den Nachteil, dass während der kontinuierlichen Druckerhöhung die hämodynamischen Nebenwirkungen besonders ausgeprägt sind.
2. Eine zweite Variante sind sog. Seufzer, also große Atemzüge, die über einen phasenweisen PEEP-Anstieg noch in ihrer Maximaldruckhöhe verstärkt werden können.
3. Als relativ praktikabel hat sich die Methode erwiesen, eine phasen- oder schrittweise Erhöhung von PEEP und p_{plat} durchzuführen und nach wenigen Atemzügen (8 bis 10) die Drücke wieder schrittweise zurückzunehmen oder gleich mit einer PEEP-Titration zu verbinden.

► **Merke**

- Es existiert keine generelle Empfehlung für routinemäßige Rekrutierungsmanöver.
- Rekrutierungsmanöver können bei plötzlichem PEEP-Verlust und nachfolgender Hypoxämie sinnvoll sein.

Infobox 1

Berechnung des idealen KörpergewichtsMänner: $50 + (0,91 \bullet [\text{Länge in cm} - 152,4])$ Frauen: $45,5 + (0,91 \bullet [\text{Länge in cm} - 152,4])$

► Cave

- Rekrutierungsmanöver können eine schwere hämodynamische Instabilität verursachen.

Bauchlage beim Acute respiratory distress syndrome

Die S2-Leitlinie zu Bauchlage und Frühmobilisation beschäftigt sich eingehend mit dem Thema und wird zur Lektüre empfohlen [3]. Grundsätzlich gilt, dass die Therapiestrategien des ARDS z.T. widersprüchlich sind. Auf der einen Seite wird beim schweren ARDS die Bauchlage empfohlen, und diese geht mit üblicherweise einer **tieferen Analgosedierung** einher. Zusätzlich war die Anwendung von Muskelrelaxanzien in der Diskussion [11], obwohl es aktuelle Daten gibt, die dieses Therapiekonzept nicht befürworten [12]. Auf der anderen Seite steht die Frühmobilisation mit **frühzeitiger Spontanatmung**, beides Verfahren, die von der S3-Leitlinie zur invasiven Beatmung [2] empfohlen und auch vom Autor favorisiert werden. Allerdings gibt es Patienten mit einem schweren ARDS, die aufgrund eines erniedrigten Lungenvolumens und einer schweren **hyperkapnischen Acidose** für die Spontanatmung möglicherweise in der Frühphase nicht geeignet sind. Daher begrenzt sich die Empfehlung der S3-Leitlinie zur anteiligen Spontanatmung auf Patienten mit mittelschwerem und leichtem ARDS. Die bereits erwähnte LUNG-SAFE-Studie zeigt, dass wahrscheinlich aufgrund der Einfachheit der Anwendung die Muskelrelaxierung beim schweren ARDS in etwa 38 % der Fälle angewendet wird [5, 13], obwohl hierfür keine gute Evidenz vorliegt [11] bzw. kein Effekt auf das Überleben von Patienten mit ARDS nachgewiesen werden konnte [12]. Auf der anderen Seite wird die Bauchlage trotz guter Evidenz für Patienten mit einem p_aO_2/F_iO_2 -Verhältnis (P/F-Ratio) <150 mm Hg in nur 16 % der Fälle angewandt. Dies liegt vermutlich am höheren Aufwand der Durchführung der Bauchlage, die auch mit Komplikationen wie z.B. Dislokation von Kathetern etc. verbunden sein kann. Bei Patienten mit einem ARDS und besserer Oxygenierung, p_aO_2/F_iO_2 -Verhältnis ≥ 150 mm Hg, konnte für die Bauchlage kein Überlebensvorteil gezeigt werden [14]. Bei dieser Patientengruppe überwiegen die Vorteile der Frühmobilisation mit geringerer Analgosedierung und früher Spontanatmung, auch wenn es hierfür bisher wenige große Studien gibt [15]. Gemäß S2-Leitlinie ist für die Praxis wichtig, dass 1) die Indikation für die Bauchlage das schwere ARDS mit einem p_aO_2/F_iO_2 -Verhältnis <150 mm Hg ist, dass 2) die Bauchlage möglichst für einen Zeitraum von mindestens 16 h durchgeführt werden sollte, 3) die kontinuierliche laterale Rotationstherapie (KLRT) oder die inkomplette Bauchlage (135°) beim schweren ARDS nicht gleichwertig wirksam sind, da keine Vorteile für das Überleben der Patienten gezeigt werden konnten [16]. Diese Verfahren sind für Ausnahmefälle wie z. B. Vorhandensein eines Fixateurs externe oder Ähnliches vorgesehen. Weiterhin kann beachtet werden, dass eine **augmen-**

tierte Spontanatmung auch während der Bauchlage möglich ist, obwohl sich die Atemmechanik in Bauchlage häufig verschlechtert und der Anteil der Unterstützung oft erhöht werden muss [17].

Nach Empfehlung der Leitlinie soll die Bauchlage bzw. die intermittierende Bauchlage beendet werden, wenn es zur anhaltenden Verbesserung der **Oxygenierung** in Rückenlage kommt, oder wenn die Patienten auch in Bauchlage mit 16-h-Intervallen nicht zur Respondergruppe, d. h. zur Gruppe mit verbesserter Oxygenierung, gehören. Ansonsten gelten auch während der Bauchlage die Kriterien der protektiven Beatmung.

Beim Konzept der Frühmobilisation wird eine Mobilisation innerhalb von 72 h nach Aufnahme auf die Intensivstation (ITS) angestrebt. Hierbei wird die *passive Mobilisation* (Durchbewegen, passives Bettradfahren, Kipptisch, Stehbrett, Rehabilitationsstuhl) unterschieden von der *assistierten aktiven Mobilisation* mit Bewegungsübungen in Rückenlage, selbstständiger Mobilisation im Bett, Balancetraining, assistiertem Bettfahrradfahren und der *aktiven Mobilisation* (Sitzen auf der Bettkante, Stehen, Gehen oder aktives Bettfahrradüben; [16]). Abhängig von der Erfahrung des durchführenden Teams sind diese Maßnahmen auch bei beatmeten Patienten und auch unter Katecholamintherapie oder anderen Organersatzverfahren grundsätzlich möglich. In frühen Studien konnten Schweickert et al. [18] zeigen, dass die Frühmobilisation zu einer früheren Selbstständigkeit des Patienten führt, weil sie mit einer verringerten Analgosedierung, mit weniger Delir und anderen Vorteilen einhergeht. Retrospektive Analysen von Balzer et al. konnten feststellen [19], dass sich die Überlebensrate nach 2 Jahren nachhaltig unterscheidet, mit Vorteil für die nicht so tief sedierten Patienten.

► Merke

- Die Bauchlage ist bei Patienten mit einer P/F Ratio <150 mm Hg indiziert; der Zeitraum der Bauchlagerung sollte mindestens 16 h betragen.
- Bei Patienten mit leichtem bis mittelschwerem ARDS (P/F Ratio >150 mm Hg) sind Frühmobilisation und Spontanatmung zu favorisieren.

Spezielle Aspekte der Beatmung und Therapie von COVID-19-bedingtem Acute respiratory distress syndrome

Eine abschließende Bewertung der Therapieprinzipien für dieses Patientenkollektiv ist zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Beitrags noch zu früh, auch weil die Evidenzlage noch gering ist. Grundsätzlich gelten ähnliche Prinzipien wie bei der Behandlung der bisher bekannten ARDS-Formen [20]. Es scheint sich aber herauszukristallisieren, dass es verschiedenste Verlaufsformen der Erkrankung gibt, wie z. B. von Gattinoni et al. zusammengefasst [21]. Dabei wird, bezogen auf die Merkmale „elastance“, Ventilation-Perfusion-Verhältnis, Lungengewicht und Rekrutierbarkeit, ein L-Typ („low“) von einem H-Typ („high“) unterschieden; bei den beiden Typen sind die genannten Merkmale entsprechend verändert. Pathophysiologisch scheint die **Lungenarterienthrombose** mit Intimaschäden durch das Virus selbst eine Rolle zu spielen, sodass ein Teil der Patienten (L-Typ) mit einer O_2 -Inhalation oder High-flow-Sauerstofftherapie

behandelt werden kann. Sowohl nichtbeatmete wie auch invasiv beatmete Patienten scheinen häufig von einer Bauchlage zu profitieren. Insbesondere bei leichten und mittelschweren Oxygenierungsstörungen scheint der Effekt der Bauchlage weniger auf der Rekrutierung von Lungengewebe als auf einer Verbesserung eines Missverhältnisses von Ventilation und Perfusion zu beruhen, was durch **Vasoregulationsstörungen** und thrombotische Areale aufgrund der endothelialen Schädigung durch das Virus bedingt sein kann. Das klassische ARDS mit schwersten Konsolidierungen und einem großen Verlust von Lungengewebe ist bei moderaten Verläufen (L-Typ) von ARDS durch COVID-19 weniger stark ausgeprägt. Dies erklärt auch die erfolgreiche Beatmung mit z. T. moderaten PEEP-Werten. Allerdings gibt es auch schwere Verlaufsformen mit schwerem interstitiellem Lungenödem sowie nachfolgender Konsolidierung größerer Lungenareale und einem erhöhten Lungengewicht (H-Typ). Auch wenn es erste therapeutische Ansätze zur Senkung der Sterblichkeit von beatmeten Patienten mit COVID-19 gibt [22], muss das Ziel der Beatmungstherapie, wenn sie denn nötig ist, sein, den Patienten intensivmedizinisch möglichst schonend und ohne weitere zusätzliche Komplikationen durch den Erkrankungsverlauf zu führen. Dabei sind aus Sicht der Autoren, wenn irgend möglich, die Konzepte der Frühmobilisation und der frühen Spontanatmung bei so geringer Analgosedierung wie möglich anzuwenden, um nicht noch **iatrogene Komplikationen** und eine Verlängerung der Beatmungszeit mit nachfolgenden Sekundärpneumonien zu riskieren. Nach schweren Verläufen auftretende „Critical-illness“-Myopathie und „Critical-illness“-Polyneuropathie können das **Weaning** von der Beatmung bei COVID-19-Patienten in besonderer Weise erschweren. In einzelnen Fällen hat sich die „neurally adjusted ventilatory assist“ (NAVA) als Verfahren erwiesen, das auch bei extremen Atemfrequenzen und extremer Muskelschwäche eine adäquate und zeitgerechte Unterstützung der Spontanatmung liefern kann.

► Merke

- Bei fehlender kausaler Therapie sollte das Ziel der Beatmungstherapie die Vermeidung sekundärer pulmonaler Komplikation sein.
- Das Konzept der Frühmobilisation und Spontanatmung sollte aus Sicht der Autoren favorisiert werden.

Resümee

Die bisherige Evidenz zeigt, dass Intensivmediziner häufig keine Individualisierung des PEEP vornehmen und selten mit einem PEEP von mehr als 10 cm H₂O beatmen, obwohl dies insbesondere beim schweren ARDS angezeigt zu sein scheint. Dabei gibt es mit den F_iO₂-/PEEP-Tabellen pragmatische Ansätze zur PEEP-Optimierung, die durch atemmechanisch basierte, physiologisch orientierte oder auf Bildgebung basierende Verfahren ergänzt werden können. Das pragmatische Verfahren der PEEP-Sauerstoff-Tabelle des ARDS-Netzwerks scheint bisher nicht anderen Verfahren einer individualisierten Messung der Atemmechanik oder Betrachtung von bildgebenden Verfahren über- oder unterlegen zu sein. Bei Patienten mit schwerem ARDS ist die Durchführung der Bauchlage empfohlen, wenn es keine Kontraindikation gibt, insbesondere

der kompletten Bauchlage für mindestens 16 h. Der routinemäßige Einsatz von Rekrutierungsmanövern kann die Sterblichkeit von Patienten mit ARDS erhöhen und wird wegen der schwerwiegenden Komplikationen nicht empfohlen.

Fazit für die Praxis

- Aufgrund unterschiedlicher Ätiologien des „acute respiratory distress syndrome“ (ARDS) ist eine Abschätzung des zur Ventilation zur Verfügung stehenden Lungenvolumens sinnvoll. Daher ist das Atemzugvolumen der individuellen Situation anzupassen, und es sollte ein „driving pressure“ (Δp) von 15 cm H₂O nicht überschritten werden.
- Eine generelle Empfehlung für Rekrutierungsmanöver kann nicht gegeben werden. Im Rahmen einer individuellen „Positive-end-expiratory-pressure“(PEEP)-Titration kann, unter Berücksichtigung der Indikationen, Risiken und bei vermutetem hohem Rekrutierungspotenzial, ein initiales Rekrutierungsmanöver erwogen werden.
- Bei einem schweren ARDS mit einer P/F-Ratio <150 mm Hg wird die Durchführung einer Bauchlage für mindestens 16 h empfohlen. Diese steht in gewissem Widerspruch zu möglichst früher Spontanatmung und Mobilisation. Allerdings ist eine anteilige Spontanatmung auch in Bauchlage möglich.
- Bei einem milden bzw. moderaten ARDS mit einer P/F-Ratio >150 mm Hg sollten, nach Ausschluss von Kontraindikationen (z. B. erhöhter intrakranieller Druck, ICP), die möglichst frühzeitige Spontanatmung und Frühmobilisation favorisiert werden.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. H. Wrigge

Klinik für Anästhesiologie, Intensiv- und Notfallmedizin, Schmerztherapie, BG Klinikum Bergmannstrost Halle gGmbH
Merseburger Str. 165, 06112 Halle (Saale), Deutschland
hermann.wrigge@bergmannstrost.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. Gemäß den Richtlinien des Springer Medizin Verlags werden Autoren und Wissenschaftliche Leitung im Rahmen der Manuskripterstellung und Manuskriptfreigabe aufgefordert, eine vollständige Erklärung zu ihren finanziellen und nichtfinanziellen Interessen abzugeben.

Autoren. H. Wrigge: Finanzielle Interessen: Förderung von Teilprojekten im IFB „Adipositas Erkrankungen“ der Universität Leipzig durch das BMBF, Berlin, Koförderung eines Teilprojekts durch Fa. InfectoPharm, Heppenheim, Koförderung eines Teilprojekts durch das europäische „investigator initiated trial program“ von Pfizer, Berlin, technische Unterstützung (EIT Geräte, Beatmungsgerät) von Swisstom, Landquart, Schweiz, und Dräger Medical, Lübeck. – Referentenhonorare: InfectoPharm (Heppenheim), GE Healthcare (Freiburg), Dräger Medical (Lübeck), MSD (Konstanz). – Beratung bei der Erstellung von „white papers“ für Dräger Medical, Lübeck, Mitglied des Expert Panel zur Expirationmuskulstimulation von Liberate Medical, KY, USA. Nichtfinanzielle Interessen: Chefarzt, Klinik für Anästhesiologie, Intensiv- und Notfalltherapie, BG Klinikum Bergmannstrost, Halle (Saale), Mitarbeit an der S3-Leitlinie „Invasive Beatmung und extrakorporaler Lungenersatz“ und der S2-Leitlinie „Lagerungstherapie und Frühmobilisation“ | Mitgliedschaften: DGAI, BDA, DIVI, Deutsche Sepsis-Gesellschaft, Paul Ehrlich Gesellschaft, ESICM, ESA. C. Glien gibt an, dass kein finanzieller Interessenkonflikt besteht. Nichtfinanzielle Interessen: Oberarzt, Anästhesie,

Intensivmedizin und Notfallmedizin, BG Kliniken „Bergmannstrost“, Halle (Saale) | Mitgliedschaft: DGAI.

Wissenschaftliche Leitung. Die vollständige Erklärung zum Interessenkonflikt der Wissenschaftlichen Leitung finden Sie am Kurs der zertifizierten Fortbildung auf www.springermedizin.de/cme.

Der Verlag erklärt, dass für die Publikation dieser CME-Fortbildung keine Sponsorengelder an den Verlag fließen.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

19. Balzer F, Weiß B, Kumpf O, Treskatsch S, Spies C, Wernecke K-D et al (2015) Early deep sedation is associated with decreased in-hospital and two-year follow-up survival. *Crit Care* 19(1):197
20. Kluge S, Janssens U, Welte T, Weber-Carstens S, Marx G, Karagiannidis C (2020) German recommendations for critically ill patients with COVID-19. *Med Klin Intensivmed Notfallmed*, 1–4
21. Gattinoni L, Chiumello D, Caironi P, Busana M, Romitti F, Brazzi L et al (2020) COVID-19 pneumonia: different respiratory treatments for different phenotypes? *Intensive Care Med* 46(6):1099–1102
22. Group RC, Horby P, Lim WS, Emberson JR, Mafham M, Bell JL et al (2020) Dexamethasone in hospitalized patients with Covid-19—preliminary report. *N Engl J Med*. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2021436>

Literatur

1. Dembinski R (2020) Ist es wirklich ein akutes Lungenversagen?: Aktuelle Definitionen, Pathophysiologie und Differentialdiagnosen. *Anaesthesist* 69(6):439–450
2. Fichtner F, Mörer O, Laudi S, Weber-Carstens S, Nothacker M, Kaisers U (2018) Clinical practice guideline: Mechanical ventilation and extracorporeal membrane oxygenation in acute respiratory insufficiency. *Dtsch Arztebl* 115(50):840–847
3. Bein Th, Bischoff M, Brückner U, Gebhardt K, Henzler D, Hermes C et al (2015) S2e guideline: positioning and early mobilisation in prophylaxis or therapy of pulmonary disorders. *Anaesthesist* 64(Suppl 1):1–26
4. Amato MBP, Meade MO, Slutsky AS, Brochard L, Costa ELV, Schoenfeld DA et al (2015) Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 372(8):747–755
5. Bellani G, Laffey JG, Pham T, Fan E, Brochard L, Esteban A et al (2016) Epidemiology, patterns of care, and mortality for patients with acute respiratory distress syndrome in intensive care units in 50 countries. *JAMA* 315(8):788–800
6. Nestler C, Simon P, Petroff D, Hammermüller S, Kamrath D, Wolf S et al (2017) Individualized positive end-expiratory pressure in obese patients during general anaesthesia: a randomized controlled clinical trial using electrical impedance tomography. *Br J Anaesth* 119(6):1194–1205
7. Brower RG, Lanken PN, MacIntyre N, Matthay MA, Morris A, Ancukiewicz M et al (2004) Higher versus lower positive end-expiratory pressures in patients with the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 351(4):327–336
8. Suzumura EA, Figueiró M, Normilio-Silva K, Laranjeira L, Oliveira C, Buehler AM et al (2014) Effects of alveolar recruitment maneuvers on clinical outcomes in patients with acute respiratory distress syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med* 40(9):1227–1240
9. Investigators WG for the AR for ARDST (ART), Cavalcanti AB, Suzumura ÉA, Laranjeira LN, de Moraes Paisani D, de Damiani LP et al (2017) Effect of lung recruitment and titrated positive end-expiratory pressure (PEEP) vs low PEEP on mortality in patients with acute respiratory distress syndrome: a randomized clinical trial. *JAMA* 318(14):1335
10. Lim S-C, Adams AB, Simonson DA, Dries DJ, Broccard AF, Hotchkiss JR et al (2004) Transient hemodynamic effects of recruitment maneuvers in three experimental models of acute lung injury. *Crit Care Med* 32(12):2378–2384
11. Papazian L, Forel J-M, Gacouin A, Penot-Ragon C, Perrin G, Loundou A et al (2010) Neuromuscular blockers in early acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 363(12):1107–1116
12. Network TNHL and BIPCT (2019) Early neuromuscular blockade in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 380(21):1997–2008
13. Group TLSI and the ET, Laffey JG, Bellani G, Pham T, Fan E, Madotto F et al (2016) Potentially modifiable factors contributing to outcome from acute respiratory distress syndrome: the LUNG SAFE study. *Intensive Care Med* 42(12):1865–1876
14. Munshi L, Sorbo LD, Adhikari NKJ, Hodgson CL, Wunsch H, Meade MO et al (2017) Prone position for acute respiratory distress syndrome. A systematic review and meta-analysis. *Ann Am Thorac Soc* 14(Supplement_4):S280–S288
15. Zhou Y, Jin X, Lv Y, Wang P, Yang Y, Liang G et al (2017) Early application of airway pressure release ventilation may reduce the duration of mechanical ventilation in acute respiratory distress syndrome. *Intens Care Med* 43(11):1648–1659
16. Bein T, Bischoff M, Brückner U, Gebhardt K, Henzler D, Hermes C et al (2015) Kurzversion S2e-Leitlinie – „Lagerungstherapie und Frühmobilisation zur Prophylaxe oder Therapie von pulmonalen Funktionsstörungen“. *Anaesthesist* 64(8):596–611
17. Varpula T, Jousela I, Niemi R, Takkunen O, Pettilä V (2003) Combined effects of prone positioning and airway pressure release ventilation on gas exchange in patients with acute lung injury. *Acta Anaesthesiol Scand* 47(5):516–524
18. Schweickert WD, Pohlman MC, Pohlman AS, Nigos C, Pawlik AJ, Esbrook CL et al (2009) Early physical and occupational therapy in mechanically ventilated, critically ill patients: a randomised controlled trial. *Lancet* 373(9678):1874–1882



Spezifische Therapie des akuten Lungenversagens

Zu den Kursen dieser Zeitschrift: Scannen Sie den QR-Code oder gehen Sie auf www.springermedizin.de/kurse-der-anaesthesist

? Sie behandeln einen 64-jährigen Patienten (Körperlänge 180 cm, Körpergewicht 90 kg) mit einem schweren sekundären „acute respiratory distress syndrome“ (ARDS; P/F-Ratio <100 mm Hg) aufgrund einer Verbrennung. Im CT zeigt sich ein interstitielles Ödem, aber keine größeren Atelektasen. Zur Aufrechterhaltung eines ausreichenden mittleren arteriellen Drucks ist ein mäßiger Katecholamin-Support erforderlich. Aktuell erfolgt eine druckkontrollierte Beatmung („peak inspiratory pressure“ [PIP] 28 cm H₂O, „positive endexpiratory pressure“ [PEEP] 10 cm H₂O, inspiratorische Sauerstofffraktion [F_IO₂] 0,8, Atemzugvolumen [Tidalvolumen, V_T] 380 ml). Wie gehen Sie in diesem Fall konkret vor, um die pulmonale Situation zu verbessern?

- Durchführung einer Bauchlage für 16 h mit Beibehaltung der Respiratoreinstellungen
- Durchführung eines PEEP-Trial und Rekrutierungsmanöver (unter Beachtung der hämodynamischen Situation) sowie Reduktion des „driving pressure“ (Δp) auf <15 cmH₂O
- Durchführung einer Bauchlage und Erhöhung des Driving pressure (Δp) bis zum Erreichen eines V_T von 6 ml/kgKG
- Relaxierung des Patienten, um mögliche Dyssynchronien mit dem Beatmungsgerät auszuschließen, mit dem Ziel, den Driving pressure (Δp) nachfolgend zu reduzieren

○ Änderung der Respiratoreinstellung im Sinne einer Erhöhung der PEEP-Einstellung gemäß der ARDS-Network-Hoch-PEEP-Tabelle ohne Änderung des Plateaudrucks

? Was ist hinsichtlich der Bestimmung der Compliance des respiratorischen Systems (C_{RS}) zu beachten?

- Sie ist schwieriger zu bestimmen als das Lungenvolumen.
- Sie ist unabhängig vom intraabdominellen Druck.
- Sie kann über eine Messung des Ösophagusdrucks bestimmt werden.
- Sie entspricht der Summe aus Lungen- und Thoraxwand-Compliance.
- Sie ist unabhängig von den belüfteten Anteilen der Lunge.

? Was ist die Besonderheit eines Rekrutierungsmanövers?

- Es ist bei allen zugrunde liegenden Pathologien des „acute respiratory distress syndrome“ (ARDS) sinnvoll.
- Es dient zur Überwindung des kritischen Öffnungsdrucks der Alveolen.
- Es ist relativ komplikationsarm.
- Es wird in der S3-Leitlinie zur Beatmung generell empfohlen.
- Es erhöht primär die rechtsventrikuläre Vorlast.

? Ein 1,90 m großer 35-jähriger männlicher Patient mit sportlichem Habitus muss aufgrund eines schweren Thoraxtraumas auf Ihrer Intensivstation beatmet werden. Aktuell zeigt sich, entsprechend der Berlin-Definition des „acute respiratory distress syndrome“ (ARDS), eine milde Hypoxämie, aber keine weiteren Befunde oder Risikofaktoren für ein ARDS vorliegen. Sie möchten eine individualisierte Beatmungstherapie initiieren. Wie ist hinsichtlich des idealen Körpergewichts vorzugehen?

- Sie verzichten auf die Berechnung des idealen Körpergewichts und beatmen den Patienten mit einem Driving pressure (Δp) zwischen 10 und 15 cmH₂O.
- Aufgrund des sportlichen Habitus vermuten Sie eine überdurchschnittliche Lungenskapazität, und daher ist eine Berechnung nicht notwendig.
- Sie gehen für die Einstellung des Respirators davon aus, dass das ideale Körpergewicht 90 kg beträgt.
- Nach Berechnung kommen Sie auf den Wert von 84 kg als ideales Körpergewicht für diesen Patienten.
- Um das ideale Körpergewicht zu berechnen, sollte eine CT-morphologische Abschätzung der an der Ventilation teilnehmenden Lungenareale stattfinden.

Informationen zur zertifizierten Fortbildung

Diese Fortbildung wurde von der Ärztekammer Nordrhein für das „Fortbildungszertifikat der Ärztekammer“ gemäß § 5 ihrer Fortbildungsordnung mit 3 Punkten (Kategorie D) anerkannt und ist damit auch für andere Ärztekammern anerkennungsfähig.

Anerkennung in Österreich und der Schweiz: Für das Diplom-Fortbildungs-Programm (DFP) werden die von

deutschen Landesärztekammern anerkannten Fortbildungspunkte aufgrund der Gleichwertigkeit im gleichen Umfang als DFP-Punkte anerkannt (§ 14, Abschnitt 1, Verordnung über ärztliche Fortbildung, Österreichische Ärztekammer (ÖÄK) 2013). Die Schweizerische Gesellschaft für Anästhesiologie und Reanimation vergibt 1 Credit für die zertifizierte Fortbildung in „Der Anaesthesist“.

Hinweise zur Teilnahme:

- Die Teilnahme an dem zertifizierten Kurs ist nur online auf www.springermedizin.de/cme möglich.
- Der Teilnahmezeitraum beträgt 12 Monate. Den Teilnahmeschluss finden Sie online beim Kurs.
- Die Fragen und ihre zugehörigen Antwortmöglichkeiten werden online in zufälliger Reihenfolge zusammengestellt.

- Pro Frage ist jeweils nur eine Antwort zutreffend.
- Für eine erfolgreiche Teilnahme müssen 70% der Fragen richtig beantwortet werden.
- Teilnehmen können Abonnenten dieser Fachzeitschrift und e.Med- und e.Dent-Abonnenten.

? Was ist bei der Durchführung einer Bauchlagerung zu beachten?

- Es konnte eine Mortalitätsverbesserung für Patienten mit „acute respiratory distress syndrome“ (ARDS) und einer P/F-Ratio >150 mmHg gezeigt werden.
- Die Dauer der Bauchlagerung sollte mindestens 16 h am Stück betragen.
- Während der Durchführung einer Bauchlage ist eine augmentierte Spontanatmung nicht möglich.
- Es sollte standardmäßig eine Relaxierung des Patienten in Bauchlage erfolgen.
- Die laterale Rotationstherapie und die inkomplette Bauchlage (135°) sind der Bauchlage gleichwertig.

? Welches ist keine suffiziente Option, um die Einstellung des „Positive-endexpiratory-pressure“(PEEP)-Werts zu optimieren?

- Reduktion eines hohen PEEP bis Erreichen eines maximalen Atemzugvolumens (V_T) während druckkontrollierter Beatmung
- Anhand der zugrunde liegenden Erkrankung
- Messung der statischen Compliance mithilfe eines Low-flow-Manövers
- Einsatz von bildgebenden Verfahren (z. B. elektrische Impedanztomographie [EIT] und/oder Ultraschall)
- Anwendung der ARDS-Network-Tabelle

? Vor 36 h haben Sie einen polytraumatisierten Patienten mit einem schweren Thoraxtrauma und multiplen Extremitätenverletzungen aufgenommen. Die operative Erstversorgung, nach Grundlagen der „damage control surgery“, ist abgeschlossen. Schwere intrakranielle Verletzungen konnten CT-morphologisch ausgeschlossen werden, und der Patient ist mit einer intrakraniellen Druckmessung versorgt. Es zeigt sich eine moderate Hypoxämie mit einer P/F-Ratio von 130 mmHg. Bei jetzt stabilisierter Kreislagsituation mit noch mittleren Katecholamindosierungen reduzieren Sie die Analgosedierung mit dem Ziel, eine augmentierte Spontanatmung zuzulassen. Wie gehen Sie im Hinblick auf Analgosedierung, La-

gerung und Beatmungseinstellungen sinnvollerweise weiter vor?

- Aufgrund eines nichtausschließbaren diffusen axonalen Schadens ist eine Reduzierung der Analgosedierung ohne weitere Diagnostik zu diesem Zeitpunkt nicht empfehlenswert.
- Da eine Bauchlagerung bei vorliegendem Verletzungsmuster nicht möglich ist, sollten hier, zur Behandlung der Gasaustauschstörung, vorerst alternative Lagerungsformen gegenüber der Spontanatmung den Vorrang erhalten.
- Eine augmentierte Spontanatmung ist in dieser Situation auch unter milder Analgosedierung zur Schmerztherapie und zur vegetativen Abschirmung möglich und empfehlenswert.
- Physiologisch ergeben sich bei einer augmentierten Spontanatmung keine Vorteile gegenüber einer suffizienten kontrollierten Beatmung mit lungenprotektiven Einstellungen.
- Da eine Bauchlage bei diesem Patienten zu diesem Zeitpunkt nicht möglich ist, sollte in diesem Fall ein extrakorporales Verfahren (z. B. extrakorporale Membranoxygenierung, ECMO) als nächster Schritt zur Anwendung kommen.

? Was ist hinsichtlich des Konzepts der Frühmobilisation zu beachten?

- Es wird eine Mobilisation innerhalb von 48 h nach Aufnahme auf eine Intensivstation angestrebt.
- Multiple Extremitätenverletzungen stehen dem Konzept der Frühmobilisation entgegen.
- Es wird in passive, assistiert-aktive und aktive Frühmobilisation unterschieden.
- Frühmobilisation kann nur bei vollständig orientierten und kooperativen Patienten effektiv angewandt werden.
- Es konnten bisher keine längerfristigen Vorteile der Frühmobilisation gezeigt werden.

? Was ist hinsichtlich einer individuellen Beatmungstherapie beim „acute respiratory distress syndrome“ (ARDS) zu beachten?

- Das Vorliegen einer Adipositas macht beim lungengesunden Patienten die Anwendung erhöhter „Positive-endexpiratory-pressure“(PEEP)-Einstellungen nicht erforderlich.
- Das endexpiratorische Lungenvolumen ist abhängig von der Anzahl der an der Ventilation teilnehmenden Alveolen.
- In Bezug auf die rekrutierbaren Lungenanteile gibt es keinen Unterschied zwischen einem sekundären ARDS und einem ARDS auf Grundlage einer Lobärpneumonie.
- Die frühzeitige Spontanatmung wird in der aktuellen S3-Leitlinie für das schwere ARDS empfohlen.
- Eine frühzeitige Relaxierung zeigt eine Verbesserung hinsichtlich der Mortalität bei schwerem ARDS.

? Was ist hinsichtlich der Spontanatmung beim „acute respiratory distress syndrome“ (ARDS) zu beachten?

- Spontanatmung beim ARDS führt zu einer verbesserten Ventilation, v. a. der dorsalen abhängigen Lungenareale.
- Spontanatmung kann in jedem Fall auch in der Frühphase des schweren ARDS eingesetzt werden.
- Die mit Spontanatmung einhergehende Verringerung der Analgosedierung hat keinen Einfluss auf das Auftreten eines Delirs.
- Spontanatmung ist beim intubierten Patienten mit ARDS nur sehr selten möglich.
- Spontanatmung beim ARDS ist generell bei Patienten mit einem Schädel-Hirn-Trauma kontraindiziert.