

Intraoperative Beatmung bei Erwachsenen

Hermann Wrigge, Fridolin Streibert



Quelle: KH Krauskopf.

Die Beatmungstherapie kann offenbar nicht nur bei Patienten mit akutem Lungenversagen einen Einfluss auf den Krankheitsverlauf haben. Lungenprotektive Beatmungskonzepte werden daher auch für die Narkosebeatmung propagiert. Dieser Beitrag diskutiert verschiedene Aspekte der Beatmungstherapie in Narkose und berücksichtigt dabei auch die zunehmende Verbreitung von Adipositas bei erwachsenen Patienten.

Lungenschäden durch Beatmung

Mechanische Schädigung

Die Applikation von positivem Beatmungsdruck in die Lunge kann zu direkten Schäden des vulnerablen Lungenparenchyms führen. Diese können sich im Extremfall als Zerreißen des Gewebes mit Gasübertritt in die Pleura (Pneumothorax) oder ins Mediastinum (Pneumomediastinum) zeigen. Dabei spielt offenbar mehr die Überdehnung durch hohe Volumina (Volutrauma) eine Rolle als die alleinige Anwendung hoher Beatmungsdrücke (Barotrauma). Entscheidend für die Schädigung durch hohe

Drücke ist der transpulmonale Druck – also der Druckgradient zwischen Pleuraspalt und Alveole.

Weitere Mechanismen der mechanischen Lungenschädigung sind im Lungenparenchym auftretende Scherkräfte, wenn nicht belüftete Areale neben belüfteten oder sogar überdehnten Arealen liegen. Als „Atelektrauma“ bezeichnet man den Schädigungsmechanismus, bei dem sich Alveolen durch den Inspirationsdruck öffnen, aber während der Expiration wieder kollabieren. Dieses zyklische Öffnen und Schließen gilt ebenfalls als lungenschädigend und tritt auf, wenn der transpulmonale Druckgradient lokal außerhalb der Alveole größer ist als innen.

Biotrauma

Bei Patienten mit akutem Lungenversagen (acute respiratory distress syndrome, ARDS) zeigte sich: Die Anwendung eines Tidalvolumens (V_T) von 12 ml/kg Idealgewicht führte im Vergleich zu einem V_T von 6–7 ml/kg zu einer höheren Letalität der Patienten [1]. Die Mehrzahl der Patienten mit ARDS verstirbt jedoch nicht primär an einer Hypoxie oder am Rechtsherzversagen, sondern an einem Multiorganversagen. Daher erschien der Zusammenhang zwischen einer Reduktion des V_T und dem Überleben zunächst als nicht naheliegend. Allerdings konnte in zahlreichen experimentellen und einigen humanen Studien ein Zusammenhang zwischen mechanischem Stress auf das Lungengewebe und einer bereits bestehenden pulmonalen und systemischen Inflammation gezeigt werden. Dabei scheinen verschiedene Mechanismen eine Rolle zu spielen, u. a. auch die Translokation von Entzündungsmediatoren, Endotoxin, Zellen der Immunabwehr und Bakterien aus der Lunge in das systemische Kompartiment [2].

Schädigt Beatmung auch Lungengesunde?

Im Gegensatz zu experimentellen Daten spricht beim Menschen einiges für die „Two-Hit“-Hypothese. Danach tritt eine mechanische Schädigung durch invasive Beatmung insbesondere dann auf, wenn bereits eine Vorschädigung und/oder inflammatorische Aktivierung besteht [3]. Dass es mindestens eine Assoziation von intraoperativer Entzündungsreaktion und postoperativen pulmonalen Komplikationen gibt, suggerieren Befunde bei ösophaguschirurgischen Eingriffen [4]: Hier zeigte sich, dass diejenigen Patienten, welche bereits intraoperativ höhere Serumspiegel von Zytokinen aufwiesen, später häufiger eine Pneumonie nach dem großen Zweihöhleneingriff entwickelten.

In einer Metaanalyse wurde ein gemischtes Kollektiv von mehr als 2800 Patienten betrachtet. Die Patienten wurden in verschiedenen Studien perioperativ oder auf der Intensivstation beatmet, ohne dass bereits ein ARDS vorlag [5]. Bei Verwendung höherer V_T (Mittelwert 10,6 ml/kg Idealgewicht) waren die Inzidenz von ARDS-Entstehungen und die Sterblichkeit höher, als wenn niedrigere V_T (Mittelwert 6,5 ml/kg Idealgewicht) und ein etwas höherer PEEP (3,4 versus 6,4 cmH₂O) verwendet wurden.

Merke

Diese Ergebnisse stützen die These, dass „protektive“ Beatmung unter bestimmten Umständen auch bei Patienten ohne ARDS den Krankheitsverlauf und das klinische Outcome beeinflussen kann.

Pathophysiologie der Atelektasenbildung

Die Einleitung einer Vollnarkose mit nachfolgender kontrollierter Beatmung ist mit einigen Änderungen verbunden, die sich auf die hämodynamische und pulmonale

Funktion auswirken können. Während bei Spontanatmung ein Unterdruck zur Inspiration führt, führt bei maschineller Beatmung ein Überdruck zur Vasokonstriktion, ausgelöst durch PEEP (positive end-expiratory pressure) und den inspiratorischen Druck. Durch anteilige Übertragung auf das Gefäßsystem kommt es dadurch zur Verminderung des venösen Rückstroms zum rechten und linken Herzen. Somit resultieren eine Vorlastsenkung sowie eine Nachlastserhöhung für das rechte Herz, letzteres durch Widerstandserhöhung durch externe Gefäßkompression in der Lungenstrombahn. Während der Durchführung eines Rekrutierungsmanövers werden diese kreislaufdepressiven Effekte noch verstärkt. Abhängig von der Höhe des intrathorakalen Überdrucks sind zusätzliche kurz- oder längerfristige Volumen- und/oder Vasopressorgaben erforderlich.

Nach Narkoseeinleitung kommt es häufig zur Ausbildung von Atelektasen, insbesondere in den dorsalen, abhängigen Lungenarealen über 2 grundsätzliche Mechanismen. Die Präoxygenierung führt zu einer Auswaschung des Stickstoffs aus der Lunge. Durch Wegfall der Zwerchfellatmung und schwerkraftabhängige Umverteilung der Ventilation nach ventral kann eine Minderbelüftung der abhängigen Lungenareale auftreten, in denen dann der Sauerstoff resorbiert wird (Resorptionsatelektase). Durch Relaxierung der Zwerchfell- und Thoraxwandmuskulatur erhöht sich der Druck im Pleuraspalt. Dabei kommt es zum Alveolarkollaps (Kompressionsatelektase), wenn der Druck in den Alveolen niedriger ist als im Pleuraspalt (negativer transpulmonaler Druck).

Resorptionsatelektasen kann man zwar durch Verwendung einer FiO_2 (inspiratorische Sauerstofffraktion) von 0,8 oder weniger zur Präoxygenierung vorbeugen [6]. Dies wird aber wegen der individuell sehr variablen Apnoe-Toleranz nicht empfohlen.

Merke

Kompressionsatelektasen werden vermieden, indem ein PEEP gewählt wird, der höher als der maximale Pleuradruck ist und zu einem stets positiven transpulmonalen Druck führt.

Dabei ist zu beachten, dass bereits kollabierte Lungenareale nach dem Gesetz nach Laplace zur Rekrutierung einen höheren Druck brauchen, welcher über PEEP-Niveau liegt. Hieraus ergibt sich eine Rationale für ein Rekrutierungsmanöver nach Narkoseeinleitung oder das Vermeiden der Diskonnektion des Beatmungsgerätes.

Protektive Beatmung im Operationssaal

Grundsätzlich ergeben sich für das Konzept einer protektiven Beatmung 3 Komponenten:

- die Eröffnung kollabierter Lungenareale durch ein geeignetes Rekrutierungsmanöver

INFO

Transport beatmeter Patienten

Besonderes Augenmerk sei an dieser Stelle auf beatmete Patienten der Intensivstation gelegt, die für einen operativen Eingriff in den OP verlegt werden. Bei diesem innerklinischen Transport lässt sich meist ein mehrfacher Wechsel des Beatmungsgerätes nicht verhindern. Häufig wird hierbei bei Dis- und Rekonnektion des Beatmungsgerätes zunächst eine plötzliche Unterbrechung der differenzierten Intensivbeatmung mit völligem intrapulmonalem Druckverlust induziert und anschließend durch eine andere Ventilationsform ersetzt. Dies führt zunächst zu unterschiedlichen Druckverhältnissen und Belastungen des Lungengewebes und später zu verändertem Gasaustausch. Möglicherweise bringt man sich dadurch um den Lohn der differenzierten Beatmungstherapie im Intensivsetting. Das konsequente Abklemmen des Tubus zum Erhalt des PEEP vor Wechsel des Respirators kann helfen, diese negativen Effekte zu reduzieren. Eine Fortsetzung der Intensivbeatmung erscheint logisch, falls dies mit dem geplanten Prozedere vereinbar ist. Allerdings kann insbesondere das Konzept der augmentierten Spontanatmung intraoperativ häufig nicht fortgeführt werden.

- die Auswahl eines ausreichenden PEEP zum Offenhalten der Lunge
- die Einstellung eines niedrigen V_T , das eine inspiratorische Überdehnung der Lunge vermeidet

Rekrutierungsmanöver

Rekrutierungsmanöver erscheinen (nur) dann physiologisch sinnvoll, wenn nach dem Wiedereröffnen von nicht belüfteten Alveolen ein ausreichender PEEP eingesetzt wird, um einen erneuten Kollaps zu vermeiden. Als geeigneter Zeitpunkt für ein Rekrutierungsmanöver erscheint der Moment, wenn

- der Patient nach der Einleitung in den OP verbracht wurde,
- die Überwachung installiert wurde und
- der Patient nicht mehr von der Beatmung diskonnektiert werden muss.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass Rekrutierungsmanöver hämodynamische Nebenwirkungen haben und schon deshalb einer individuellen Risiko-Nutzen-Abwägung unterliegen. Praktikabel ist die Erhöhung des PEEP auf 30 cmH₂O für 6–8 Atemzüge mit einer Druckamplitude von 10 cmH₂O über PEEP. Das Erreichen dieser Einstellungen gelingt bei den meisten Narkosebeatmungsgeräten nicht auf Anhieb, da die Gerätesoftware aus Sicherheitsgründen keine unabhängige Einstellung von P_{insp} und PEEP ermöglicht. Daher erfolgt die endgültige Einstellung der empfohlenen Rekrutierungsdrücke Schritt für Schritt – somit kann dabei eine individuelle Begrenzung dieser Drücke unterhalb des empfohlenen Niveaus durchgeführt werden, sollte der Patient eine Kreislaufdepression entwickeln.

Merke

Um zusätzliche Schädigungen des Lungengewebes durch unkontrollierte Druckenwendung und nachfolgenden PEEP-Verlust durch ein Rekrutierungsmanöver zu verhindern, wird eine kontrollierte Durchführung mit dem Narkosebeatmungsgerät empfohlen!

Auswahl des PEEP

Bei normalgewichtigen Patienten konnte gezeigt werden, dass ein PEEP von 10 cmH₂O den im CT nachweisbaren Alveolarkollaps verhindert [7, 8]. Bei der Auswahl des PEEP spielen neben der Konstitution des Patienten auch die Art des operativen Eingriffes und die Lagerung des Patienten eine Rolle. So konnte jüngst bei Patienten vor roboterassistierten laparoskopischen Eingriffen in 30°-Kopftieflage gezeigt werden: Es sind PEEP-Werte von 15 cmH₂O im Mittel erforderlich, um anhand des Monitorings mittels elektrischer Impedanztomografie eine offene Lunge zu erhalten [9].

In einer retrospektiven Analyse von Interventionsstudien, in denen eine PEEP-Änderung vorgenommen wurde, konnte nachgewiesen werden: Eine Zunahme des Driving Pressures (Plateaudruck minus PEEP) nach der PEEP-Änderung führte zu einer Verdreifachung der Inzidenz von pulmonalen postoperativen Komplikationen [10]. Prospektive Untersuchungen zur PEEP-Titration mit dem Ziel einer Minimierung des Driving Pressures werden aktuell durchgeführt [11].

Auswahl des Tidalvolumens

Daten von Beatmungsstudien bei Patienten mit ARDS konnten uns zeigen: Eine Begrenzung des Tidalvolumens und der Druckamplitude für dessen Applikation (Driving Pressure) ist sinnvoll, um beatmungsassoziierte Lungenschäden und das Outcome der Patienten günstig zu beeinflussen [12]. Die absolute Höhe des Tidalvolumens kann bei lungengesunden Patienten im OP in der Regel etwas höher sein als bei Patienten mit akutem Lungenversagen. Denn die entscheidende Determinante ist hierbei die Dehnung der individuellen respiratorischen Einheit. Dabei ist die Größe des Lungenvolumens neben dem Tidalvolumen wichtig, weil sich bei einem höheren Lungenvolumen mehr respiratorische Einheiten an der Aufnahme des Tidalvolumens beteiligen. Da lungengesunde Patienten im OP normalerweise keine starke Einschränkung des Lungenvolumens haben, werden hier Tidalvolumina von 8 ml/kg Idealgewicht empfohlen. Der Driving Pressure lässt sich nicht nur als Differenz von Atemwegsplateaudruck minus PEEP ($P_{plat} - PEEP$) berechnen, sondern auch als Quotient aus Tidalvolumen durch Compliance (V_T/C). Damit hat der Driving Pressure den Vorteil: Neben der absoluten Größe des Tidalvolumens gehen auch die Compliance des respiratorischen Systems und damit indirekt auch das endexpiratorische Lungenvolumen in diesen Parameter mit ein.

Merke

„Kenngrößen“ der lungenprotektiven Beatmung im OP sind: geeignetes Rekrutierungsmanöver (nach Risiko-Nutzen-Abwägung), adäquater PEEP und niedriges V_T .

Gegenwärtige Evidenz

Mit zunehmendem Verständnis der schädigenden Mechanismen durch maschinelle Beatmung, insbesondere bei Patienten mit akutem Lungenversagen, wurden auch zunehmend Untersuchungen bei lungengesunden Patienten durchgeführt. Hierbei zeigten zunächst Metaanalysen, dass auch Patienten ohne ein akutes Lungenversagen von protektiven Beatmungseinstellungen profitieren können.

In einer ersten Interventionsstudie im OP wurden leider 3 Interventionen gleichzeitig getestet: die Applikation eines Rekrutierungsmanövers, die Reduktion des Tidalvolumens auf 8 ml/kg Idealgewicht und die Verwendung eines PEEP von 8 cmH₂O [13]. In der Kontrollgruppe stand demgegenüber eine Beatmung mit einem Tidalvolumen von 10–12 ml/kg Idealgewicht ohne PEEP und ohne Rekrutierungsmanöver. Diese Studie konnte zeigen, dass die Inzidenz von pulmonalen und extrapulmonalen Komplikationen in der protektiven Beatmungsgruppe niedriger war.

Eine nachfolgende Studie randomisierte 900 Patienten mit größeren abdominalchirurgischen Eingriffen in 2 Gruppen: Eine Gruppe erhielt ein Rekrutierungsmanöver mit anschließendem PEEP von 12 cmH₂O, die andere Gruppe kein Rekrutierungsmanöver und einen PEEP von 2 cmH₂O. In beiden Gruppen war das Tidalvolumen auf 8 ml/kg Idealgewicht begrenzt. Die Auswertung dieser Studie konnte keinen Unterschied hinsichtlich der Inzidenz postoperativer pulmonaler Komplikationen zeigen. Allerdings war in der Interventionsgruppe mit dem höheren PEEP ein etwas höherer Verbrauch an Vasopressoren und Flüssigkeitszufuhr erforderlich. Dafür war in der Kontrollgruppe häufiger eine Intervention wegen niedriger peripherer Sauerstoffsättigung nötig. Insgesamt bleibt es fraglich, ob eine der beiden Strategien langfristig einen klinisch messbaren Vorteil hat, wenn das Tidalvolumen und damit der Driving Pressure sinnvoll begrenzt wird. Aktuelle Daten zeigen aber auch, dass Tidalvolumina von 10 ml/kg Idealgewicht bei den untersuchten Patienten keine Erhöhung von respiratorischen Komplikationen nach sich gezogen haben [14].

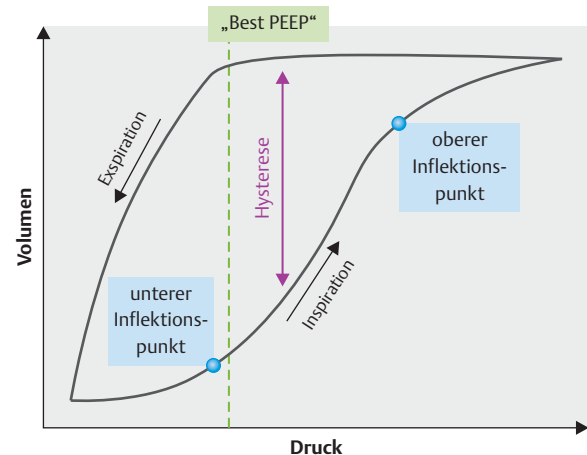
Vorläufiges Fazit

Fasst man die bisherige Evidenz zusammen, ergibt sich das Bild, dass die Reduktion der Tidalvolumina die Inzidenz pulmonaler postoperativer Komplikationen senken kann. Bei protektiven Beatmungsstrategien ist der Effekt von PEEP offenbar geringer als der des V_T . Die Einbeziehung des Driving Pressure ist möglicherweise günstiger

INFO

„Best PEEP“ und Laplace-Gesetz

Das Laplace-Gesetz beschreibt im Kontext der „Best-PEEP“-Strategie die Beziehung zwischen Wandspannung (T) und Radius (R) der Alveole und dem zur Eröffnung notwendigen transmuralen Druck (P_t). So kann mit der Formel $P_t = T/R$ dargestellt werden, mit welchem Beatmungsdruck die Wandspannung bei einem Rekrutierungsmanöver überwunden werden muss. Um die wiedereröffneten Alveolen mit der Zielgröße „Best PEEP“ kontinuierlich offenzuhalten, spielen alle Faktoren der Laplace-Formel eine Rolle und sollten beachtet werden. Als Grundregel gilt: Je kleiner die Alveole, desto größer ist der Wiedereröffnungsdruck. Praktisch bedeutet dies, dass mehr Druck zum Wiedereröffnen einer kollabierten Alveole (Rekrutierung) benötigt wird als zum Offenhalten – dann in Form eines PEEP. Physiologisch lässt sich dies daran ablesen, dass die Druck-Volumen-Kurve in der Inspiration flacher verläuft als in der Expiration (► Abb. 1). Das Phänomen der Abweichung der Kurven zwischen In- und Expiration nennt man Hysterese.



► **Abb. 1** Druck-Volumen-Kurve. Die Expirationskurve verläuft bis zum Punkt des „best PEEP“ verhältnismäßig flach, fällt danach jedoch zügig ab.

als die Betrachtung des Tidalvolumens allein [15], weil mit dem Driving Pressure auch Informationen über die Compliance mit eingehen.

Merke

Der Driving Pressure liefert wichtige Informationen zur Compliance von Lunge und Thorax und scheint besser zur Beatmungseinstellung geeignet zu sein als das V_T alleine.

Die Durchführung einer protektiven Beatmung bei lungengesunden Patienten im OP ist im Normalfall unkompliziert möglich. Daher sollte aus Sicht der Autoren aus

► **Tab. 1** ARISTCAT Score (nach [16]).

Prädiktor	Ausprägung	Punkte
Alter in Jahren	< 50	0
	51–80	3
	> 80	16
SpO ₂ präoperativ	> 96%	0
	91–95%	8
	< 90%	24
Atemwegsinfektion innerhalb der letzten 4 Wochen	nein	0
	ja	17
Hb präoperativ	> 6,21 mmol/l	0
	< 6,21 mmol/l	11
Lokalisation OP-Gebiet	peripher	0
	Abdomen	15
	intrathorakal	24
OP-Dauer	< 2 h	0
	2–3 h	16
	> 3 h	23
Notfalleingriff	nein	0
	ja	8
Bewertung		
niedriges Risiko		< 26
mittleres Risiko		26–44
hohes Risiko		> 44
Hb: Hämoglobin, SpO ₂ : periphere Sauerstoffsättigung		

physiologischen Erwägungen eine Beatmung mit niedrigen Tidalvolumina, niedrigem Driving Pressure und höherem PEEP auch im OP angewendet werden – auch wenn bisherige Studien hier insbesondere für den höheren PEEP keinen zweifelsfreien Vorteil zeigen konnten. Dabei sollte allerdings eine vorhergehende Risiko-Nutzen-Abwägung im Einzelfall die Anwendung von protektiver Beatmung prüfen – denn z. B. kurze Eingriffe mit geringem chirurgischem Trauma besitzen auch eine niedrige Inzidenz für die Entstehung postoperativer Komplikationen. Auch die hämodynamische Toleranz des Patienten gegenüber höheren PEEP-Werten sollte unbedingt Berücksichtigung finden.

Im klinischen Alltag können Scoring-Systeme, wie z. B. ARISTCAT [16], hilfreich sein. Mithilfe des ARISTCAT-Scores (► **Tab. 1**) kann mittels Patientenalter, OP-Gebiet und Schnitt-Naht-Zeit, präoperativer pulmonaler Infektionsanamnese sowie perioperativem SpO₂- und Hb-Wert das postoperative pulmonale Komplikationsrisiko abgeschätzt werden.

Beatmung von adipösen Patienten im OP

Übergewichtige Patienten werden in hochentwickelten Zivilisationen immer häufiger und begegnen uns damit zunehmend auch im OP. Im Rahmen der bariatrischen Chirurgie geschieht dies elektiv und dann kommen auch entsprechende Anästhesie- und Beatmungskonzepte zur Anwendung. Außerhalb dieser Routinen ist dies dagegen oft nicht konsequent der Fall und kann dann insbesondere bei Notfällen zu Problemen führen.

FALLBEISPIEL

Sie leiten bei einem 58-jährigen Patienten mit einem bekannten Hypertonus und Nikotinabusus eine Vollnarkose ein. Sein Körpergewicht beträgt 133 kg, die Körpergröße 180 cm (entspricht einem Body-Mass-Index [BMI] von 41 kg/m²). Wegen eines neu diagnostizierten Prostatakarzinoms soll eine laparoskopische radikale Prostatektomie durchgeführt werden. Vor Beginn der Narkoseeinleitung zeigte sich eine periphere Sauerstoffsättigung (SpO₂) von 97% unter Raumluft bei normwertigen Kreislaufparametern. Nach Präoxygenierung (FiO₂ = 1,0, Flow 12 l/min) via Maske steigt die SpO₂ auf 99% suffizient an. Die Maskenbeatmung nach erfolgter Narkoseinduktion gelingt zunächst nicht suffizient, nach Einbringen eines Guedel-Tubus und zunehmender Wirkung des Muskelrelaxans verbessert sich die Ventilation merklich. Die SpO₂ war allerdings kurzzeitig auf 79% abgefallen. Nach problemloser Intubation verifizieren Sie die Tubuslage mittels Kapnometrie und auskultieren beidseits ein vesikuläres Atemgeräusch. Sie beatmen den Patienten volumenkontrolliert mit einer Atemfrequenz von 10/min, einem Atemzugvolumen (V_T) von 800 ml, einer FiO₂ von 0,4 und einem PEEP von 5 cmH₂O. Nach Transport des Patienten vom Einleitungsraum in den OP erfolgt auf Wunsch des Operators die 30°-Anti-Trendelenburg-Lagerung. Dabei kommt es erneut zu einem Abfall der SpO₂ auf 84% und einem Anstieg des inspiratorischen Atemwegspitzendrucks auf 35 cmH₂O. Der Operateur möchte mit dem Pneumoperitoneum beginnen und fragt Sie, ob denn alles in Ordnung sei.

Atemwegsmanagement

Das Atemwegsmanagement von Patienten mit morbidem Adipositas ist oft herausfordernd, aber durch Beachtung einfacher Maßnahmen kann die Komplikationsrate deutlich gesenkt werden. Ein Problem bei der Visualisierung der Stimmitze und damit der direkten Laryngoskopie ist das nuchale Fettgewebe, das die Strukturen des Hypopharynx und den Kehlkopf nach ventral verschiebt.

Merke

Durch eine Lagerung in der sog. Rampenposition – also einer Oberkörperhochlagerung mit Unterpolsterung des Hinterkopfes – kann die direkte Laryngoskopie bei morbid Adipösen verbessert werden [17].

Dennoch sollte auch in diesen Fällen das Equipment für das Management des schwierigen Atemweges greifbar und hier insbesondere die Videolaryngoskopie verfügbar und geübt sein.

Ein weiteres Problem beim Atemwegsmanagement ist der rasche Abfall der Oxygenierung durch einen unmittelbar einsetzenden Alveolarkollaps und Verminderung des endexpiratorischen Lungenvolumens (EELV) bzw. der funktionellen Residualkapazität (FRC). Dies verkürzt die Apnoe-Toleranz und damit die Zeit, die für das Wirken der Einleitungsmedikamente und das Atemwegsmanagement zur Verfügung steht. Die Applikation eines CPAP (continuous positive airway pressure) von 8–12 cmH₂O kann die Zeitdauer der Resorption des Sauerstoffs bis zum Abfall der Oxygenierung verlängern und den raschen Alveolarkollaps wenigstens teilweise verhindern [18]. Aus Sicht der Autoren ist diese Maßnahme geeigneter und sinnvoller, als eine Maskenbeatmung zu versuchen. Denn die Maskenbeatmung ist bei diesen Patienten oftmals schwierig und kann dann auch zu einem Abfall der FRC mit nachfolgender Hypoxämie führen.

Rekrutierungsmanöver

Nach dem Laplace-Gesetz ist der Druck zur Wiedereröffnung eines Hohlkörpers – also einer Alveole – höher als der Druck, der zum Offenhalten der Alveole nötig ist. Dieser physikalische Zusammenhang liefert die Rationale für die Notwendigkeit, Rekrutierungsmanöver durchzuführen. Grundsätzlich gilt das oben schon zu diesem Thema Gesagte. Allerdings ist der FRC-Verlust bei morbid adipösen Patienten wesentlich stärker ausgeprägt. So ist etwa die FRC um ca. 20% niedriger als die Erwartungswerte bei Normalgewichtigen und der Abfall nach Narkoseeinleitung wurde kürzlich mit zusätzlich 50% gemessen [19]. Dieses Ausmaß an Atelektasenbildung kann als Hypoxämie klinisch relevant imponieren.

Bei der Durchführung von Rekrutierungsmanövern bei adipösen Patienten können höhere Öffnungsdrücke erforderlich sein als bei Normalgewichtigen. So konnte gezeigt werden, dass Atemwegsdrücke von 50 cmH₂O bei morbid adipösen Patienten während eines Rekrutierungsmanövers nicht ausreichen, um die gesamte Lunge zu rekrutieren [20]. Die Anwendung derartig hoher Atemwegsdrücke führt zu einer relevanten Reduktion des venösen Rückstroms und damit der Vorlast des Herzens. Dies hat einen passageren Abfall des Herzzeitvolumens und damit des systemischen Blutdrucks zur Folge, der in der Regel behandlungswürdig ist. Neben den hämodynamischen Nebenwirkungen besteht insbesondere bei Pa-

FALLBEISPIEL

Optimierung der Ventilation

Sie kommunizieren dem Operateur, dass die pulmonale Funktion Ihres Patienten vor Anlage eines Pneumoperitoneums optimiert werden sollte. Zunächst überprüfen Sie, ob der Endotrachealtubus noch korrekt liegt und weder Beatmungsschläuche noch der Tubus selbst abgeknickt oder dekonnektiert sind. Nach Ausschluss des „A-Problems“ optimieren Sie die Beatmungseinstellungen. Zunächst verbringen Sie den Patienten zurück in die 0°-Rückenlage. Sie messen den Blutdruck des Patienten und gleichen die feststellbare milde Hypotonie mit Vasopressor-Gabe aus, um eine suffiziente Organdurchblutung sicherzustellen. Anschließend führen Sie ein Rekrutierungsmanöver im druckkontrollierten Modus (PCV) durch und erhöhen den PEEP auf 30 cmH₂O für 8 Beatmungszüge, nachdem Sie auch den Spitzendruck entsprechend angepasst haben (► **Abb. 2**). Diese kurzzeitigen Druckveränderungen führen bei Ihrem Patienten erfreulicherweise zu keiner signifikanten Kreislaufreaktion. Nach Abschluss des Rekrutierungsmanövers steigt die SpO₂ auf 99% an. Um den Therapieerfolg zu konservieren, erhöhen Sie den PEEP auf 15 cmH₂O und stellen nach erneuter Umstellung in den volumenkontrollierten Modus (VCV) ein V_T von 525 ml (7 ml/kg Idealgewicht) ein. Dabei begrenzen Sie den P_{max} des Respirators zunächst auf 30 cmH₂O. Anschließend erfolgt die erneute Anti-Trendelenburg-Lagerung in 30°-Kopftieflage, welche nun mit stabilen SpO₂-Werten von 98% toleriert wird. Sie informieren den Operateur, dass nun mit der Anlage des Pneumoperitoneums begonnen werden kann. Mittels BGA dokumentieren Sie im weiteren Verlauf das Ergebnis der optimierten intraoperativen Beatmungstherapie.



► **Abb. 2** Rekrutierungsmanöver durch Erhöhung des PEEP auf 30 cmH₂O für 8 Atemzüge im druckkontrollierten Modus.

tienten mit strukturellen Lungenerkrankungen das Risiko eines Barotraumas, z. B. eines Pneumothorax oder Pneumomediastinums. Aus diesen Gründen werden Rekrutierungsmanöver nicht generell empfohlen, sondern sollten Gegenstand einer individuellen Risiko-Nutzen-Abwägung sein.

PEEP

Die Rationale zur Anwendung eines PEEP bei beatmeten Patienten ist, den Alveolardruck oberhalb des alveolären Verschlussdrucks zu halten und dabei das EELV und die Oxygenierung zu erhalten. Die Bildung von Atelektasen kann zu einer Surfactant-Dysfunktion, bakteriellen Infektionen und inflammatorischen Reaktionen des Lungengewebes führen und gilt deshalb als Komplikation [21].

Die Besonderheit bei morbid adipösen Patienten – im Vergleich zu Normalgewichtigen – ist: Der Pleuradruck und damit der Druck von außen auf die Alveolarwand ist deutlich höher, was auch von der Körperkonfiguration und der individuellen Verteilung des Fettgewebes abhängt. So geht beispielsweise der sog. Apfel-Typ, welcher den Hauptteil seines Körperfettes im Bauchbereich trägt, mit einem erhöhten abdominellen Druck einher, der sich auch vermehrt auf die Pleura überträgt. Folglich wären bei diesen Patienten höhere PEEP-Werte erforderlich als etwa beim Birnen-Typ. Denn letzterer trägt seinen Haupt-

fettanteil eher im Becken- und Oberschenkelbereich und das Fettgewebe übt dadurch weniger Einfluss auf den Pleuradruck aus. Daten aus der klinischen Praxis zeigen jedoch, dass die tatsächlich eingestellten PEEP-Werte bei der Beatmung adipöser Patienten oft nicht höher sind als bei Normalgewichtigen [22].

Im Rahmen von Studien sind in den letzten Jahren verschiedene Methoden untersucht worden, um den optimalen PEEP bei übergewichtigen Patienten zu bestimmen. Diese Herangehensweisen zielten auf Verbesserungen der Oxygenierung, der Atemmechanik oder der regionalen Verteilung der Ventilation ab. Bei bariatrischen Operationen wurden PEEP-Werte zwischen 10 und 26 cmH₂O mit einem Median von 18 cmH₂O als erforderlich gefunden, um das EELV auf das Niveau vor der Intubation anzuheben [18]. Auch andere Studien fanden regelmäßig einen PEEP von > 15 cmH₂O. Diese höheren PEEP-Werte gingen mit einer signifikanten Verringerung des Driving Pressures einher, was als Indikator für eine Verbesserung der Compliance und damit auch des EELV gesehen wird. Dennoch konnte eine große Multicenterstudie, die konstante PEEP-Werte von 4 versus 12 cmH₂O verglich, keine Reduktion der Inzidenz von postoperativen pulmonalen Komplikationen zeigen [23]. Die PEEP-Niveaus in dieser pragmatischen Studie haben allerdings nicht zu einer vollständigen Lungenrekrutierung geführt [24]. Andererseits ist – wie schon bei den Rekrutierungsmanövern erwähnt – die Anwendung hoher Beatmungsdrücke mit hämodynamischen Nebenwirkungen assoziiert und erfordert häufig eine höhere Flüssigkeitszufuhr und einen Vasopressoren-Einsatz. Im Augenblick gibt es auch im Kontext vorheriger Metaanalysen [5] keine einheitlichen Interpretationen der Befunde. Somit bleibt die Frage des optimalen PEEP im OP – insbesondere bei morbid adipösen Patienten – weiterhin offen.

INFO

Mehr Druck für schwere Patienten?

Aus physiologischer Sicht benötigen auch lungengesunde Adipöse ein deutlich höheres PEEP-Niveau als Normalgewichtige. Das Atemzugvolumen wird häufig zu hoch gewählt, da nicht immer das Idealgewicht berücksichtigt wird. Adipöse haben aber gerade ein geringeres endexpiratorisches Lungenvolumen (► **Abb. 3**).



► **Abb. 3** Das endexpiratorische Lungenvolumen bei morbid Adipösen ist geringer als bei Normalgewichtigen. Daher sollte man unbedingt das Idealgewicht zur Abschätzung des Tidalvolumens berücksichtigen.

Merke

Aus Sicht der Autoren ist eine lungenprotektive Beatmung bei morbid adipösen Patienten immer dann zu empfehlen, wenn die zu erwartenden Nebenwirkungen im Individualfall vertretbar sind.

KERNAUSSAGEN

- Für die zeitlich meist sehr begrenzte intraoperative Beatmung ist der komplikationsreduzierende Effekt einer lungenprotektiven Beatmung wie beim ARDS nur selten eindeutig nachweisbar.
- Je nach Patienteneigenschaften, Vorerkrankungen, geplante OP-Verfahren und damit verbundener Entzündungsreaktion auf das operative Trauma spielt eine protektive Beatmung aber ggf. eine wichtige Rolle.
- Dabei bedarf es selbstverständlich einer detaillierten OP-Vorbereitung, aber noch viel mehr einer guten Kommunikation im interdisziplinärem OP-Team.
- Insbesondere bei Risikokonstellationen lassen sich vermutlich unmittelbare und langfristige postoperative Komplikationen durch die Grundregeln der lungenprotektiven Beatmung reduzieren: V_T 6–8 ml/kg Idealgewicht, PEEP 8–12 cmH₂O (bei Adipösen individualisiert um 20 cmH₂O), niedriger Driving Pressure.
- Dabei müssen Patienteneigenschaften, Lagerung und OP-Verfahren sowie eine adäquate Kreislauftherapie bei gleichzeitiger Volumenrestriktion beachtet werden.
- In der unmittelbar postoperativen Phase können Oberkörperhochlagerung und nichtinvasive Beatmung hilfreich sein. Eine patientenadaptierte Schmerztherapie bildet die Grundlage einer effektiven Atemtherapie und beugt damit postoperativen pulmonalen Komplikationen vor.

Interessenkonflikt

Erklärung zu finanziellen Interessen

Forschungsförderung erhalten: ja, von einer anderen Institution (Pharma- oder Medizintechnikfirma usw.); Honorar/geldwerten Vorteil für Referententätigkeit erhalten: ja, von einer anderen Institution (Pharma- oder Medizintechnikfirma usw.); Bezahlter Berater/interner Schulungsreferent/Gehaltsempfänger: ja, von einer anderen Institution (Pharma- oder Medizintechnikfirma usw.); Patent/Geschäftsanteile/Aktien (Autor/Partner, Ehepartner, Kinder) an im Bereich der Medizin aktiven Firma: nein; Patent/Geschäftsanteile/Aktien (Autor/Partner, Ehepartner, Kinder) an zu Sponsoren dieser Fortbildung bzw. durch die Fortbildung in ihren Geschäftsinteressen berührten Firma: nein.

Erklärung zu nichtfinanziellen Interessen

Mitarbeit S2/3 Leitlinie „Lagerungstherapie und Frühmobilisation“, S3 LL „Invasive Beatmung und extrakorporale Therapie“ als Vertreter der DGAI.

Autorinnen/Autoren



Hermann Wrigge

Prof. Dr. med. Studium 1989–1995 in Göttingen, Ausbildung an den Universitätskliniken Göttingen und Bonn, 2010 Berufung auf eine W2-Professur für Anästhesiologie an die Universität Leipzig, seit 2018 Chefarzt der Klinik für Anästhesiologie, Intensiv- und Notfallmedizin, Schmerztherapie des BG Klinikums Bergmannstrost Halle.



Fridolin Streibert

Dr. med., studierte von 2005 bis 2012 Medizin an der Universität Witten/Herdecke. Er ist Facharzt für Anästhesiologie am BG Klinikum Bergmannstrost Halle (Saale) und als Notarzt auf den Rettungs- und Intensivtransporthubschraubern „Christoph Halle“ und „Christoph Sachsen-Anhalt“ tätig.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. Hermann Wrigge

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

Wissenschaftlich verantwortlich gemäß Zertifizierungsbestimmungen

Wissenschaftlich verantwortlich gemäß Zertifizierungsbestimmungen für diesen Beitrag ist Prof. Dr. med. Hermann Wrigge, Halle.

Literatur

- [1] Slutsky AS, Ranieri VM. Mechanical ventilation: lessons from the ARDSNet trial. *Respir Res* 2000; 1: 73–77. doi:10.1186/rr15
- [2] Slutsky AS, Ranieri VM. Ventilator-induced lung injury. *N Engl J Med* 2013; 369: 2126–2136. doi:10.1056/NEJMra1208707
- [3] Hoegl S, Burns N, Angulo M et al. Capturing the multifactorial nature of ARDS – “Two-hit” approach to model murine acute lung injury. *Physiol Rep* 2018; 6: e13648. doi:10.14814/phy2.13648
- [4] Yamada T, Hisanaga M, Nakajima Y et al. Serum interleukin-6, interleukin-8, hepatocyte growth factor, and nitric oxide changes during thoracic surgery. *World J Surg* 1998; 22: 783–790. doi:10.1007/s002689900470
- [5] Serpa Neto A, Hemmes SNT, Barbas CSV et al. Protective versus conventional ventilation for surgery: a systematic review and individual patient data meta-analysis. *Anesthesiology* 2015; 123: 66–78. doi:10.1097/ALN.0000000000000706
- [6] Hedenstierna G, Edmark L, Aherdan KK. Time to reconsider the pre-oxygenation during induction of anaesthesia. *Minerva Anesthesiol* 2000; 66: 293–296

- [7] Neumann P, Rothen HU, Berglund JE et al. Positive end-expiratory pressure prevents atelectasis during general anaesthesia even in the presence of a high inspired oxygen concentration. *Acta Anaesthesiol Scand* 1999; 43: 295–301. doi:10.1034/j.1399-6576.1999.430309.x
- [8] Hedenstierna G, Rothen HU. Atelectasis formation during anesthesia: causes and measures to prevent it. *J Clin Monit Comput* 2000; 16: 329–335. doi:10.1023/a:1011491231934
- [9] Gırrbach F, Petroff D, Schulz S et al. Individualised positive end-expiratory pressure guided by electrical impedance tomography for robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy: a prospective, randomised controlled clinical trial. *Br J Anaesth* 2020; 125: 373–382. doi:10.1016/j.bja.2020.05.041
- [10] Neto AS, Hemmes SNT, Barbas CSV et al. Association between driving pressure and development of postoperative pulmonary complications in patients undergoing mechanical ventilation for general anaesthesia: a meta-analysis of individual patient data. *Lancet Respir Med* 2016; 4: 272–280. doi:10.1016/S2213-2600(16)00057-6
- [11] Hol L, Nijbroek SGLH, Neto AS et al. Driving Pressure During General Anesthesia for Open Abdominal Surgery (DESIGNATION): study protocol of a randomized clinical trial. *Trials* 2020; 21: 198. doi:10.1186/s13063-020-4075-z
- [12] Amato MBP, Meade MO, Slutsky AS et al. Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 2015; 372: 747–755. doi:10.1056/NEJMsa1410639
- [13] Futier E, Constantin J-M, Paugam-Burtz C et al. A trial of intraoperative low-tidal-volume ventilation in abdominal surgery. *N Engl J Med* 2013; 369: 428–437. doi:10.1056/NEJMoa1301082
- [14] Karalapillai D, Weinberg L, Peyton P et al. Effect of intraoperative low tidal volume vs. conventional tidal volume on postoperative pulmonary complications in patients undergoing major surgery: a randomized clinical trial. *JAMA* 2020; 324: 848–858. doi:10.1001/jama.2020.12866
- [15] Mazzinari G, Serpa Neto A, Hemmes SNT et al. ; LAS VEGAS study–investigators; PROtective VEntilation NETwork; Clinical Trial Network of the European Society of Anaesthesiology. The Association of Intraoperative driving pressure with postoperative pulmonary complications in open versus closed abdominal surgery patients – a posthoc propensity score-weighted cohort analysis of the LAS VEGAS study. *BMC Anesthesiol* 2021; 21: 84. doi:10.1186/s12871-021-01268-y. PMID: 33740885.
- [16] Canet J, Gallart L, Gomar C et al. Prediction of postoperative pulmonary complications in a population-based surgical cohort. *Anesthesiology* 2010; 113: 1338–1350. doi:10.1097/ALN.0b013e3181fc6e0a
- [17] Rao SL, Kunselman AR, Schuler HG et al. Laryngoscopy and tracheal intubation in the head-elevated position in obese patients: a randomized, controlled, equivalence trial. *Anesth Analg* 2008; 107: 1912–1918. doi:10.1213/ane.0b013e31818556ed
- [18] Gander S, Frascarolo P, Suter M et al. Positive end-expiratory pressure during induction of general anesthesia increases duration of nonhypoxic apnea in morbidly obese patients. *Anesth Analg* 2005; 100: 580–584. doi:10.1213/01.ANE.0000143339.40385.1B
- [19] Nestler C, Simon P, Petroff D et al. Individualized positive end-expiratory pressure in obese patients during general anaesthesia: a randomized controlled clinical trial using electrical impedance tomography. *Br J Anaesth* 2017; 119: 1194–1205. doi:10.1093/bja/aex192
- [20] Reinius H, Jonsson L, Gustafsson S et al. Prevention of atelectasis in morbidly obese patients during general anesthesia and paralysis: a computerized tomography study. *Anesthesiology* 2009; 111: 979–987. doi:10.1097/ALN.0b013e3181b87edb
- [21] Duggan M, Kavanagh BP. Pulmonary atelectasis: a pathogenic perioperative entity. *Anesthesiology* 2005; 102: 838–854. doi:10.1097/00000542-200504000-00021
- [22] Ball L, Hemmes SNT, Serpa Neto A et al. Intraoperative ventilation settings and their associations with postoperative pulmonary complications in obese patients. *Br J Anaesth* 2018; 121: 899–908. doi:10.1016/j.bja.2018.04.021
- [23] Writing Committee for the PROBESE Collaborative Group of the PROtective VEntilation Network (PROVEnet) for the Clinical Trial Network of the European Society of Anaesthesiology; Bluth T, Serpa Neto A et al. Effect of intraoperative high positive end-expiratory pressure (PEEP) with recruitment maneuvers vs. low PEEP on postoperative pulmonary complications in obese patients: a randomized clinical trial. *JAMA* 2019; 321: 2292–2305. doi:10.1001/jama.2019.7505
- [24] Simon P, Gırrbach F, Petroff D et al. Individualized versus fixed positive end-expiratory pressure for intraoperative mechanical ventilation in obese patients – a secondary analysis. *Anesthesiology* 2021. doi:10.1097/ALN.0000000000003762

Bibliografie

Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 2021; 56: 318–328
 DOI 10.1055/a-1189-8057
 ISSN 0939-2661
 © 2021. Thieme. All rights reserved.
 Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,
 70469 Stuttgart, Germany

Punkte sammeln auf CME.thieme.de



Diese Fortbildungseinheit ist in der Regel 12 Monate online für die Teilnahme verfügbar. Den genauen Einsendeschluss finden Sie unter <https://cme.thieme.de/>. Sollten Sie Fragen zur Online-Teilnahme haben, finden Sie unter <https://cme.thieme.de/hilfe> eine ausführliche Anleitung. Wir wünschen viel Erfolg beim Beantworten der Fragen!

Unter <https://eref.thieme.de/CXF6RGY> oder über den QR-Code kommen Sie direkt zur Startseite des Wissenstests.

VNR 2760512021160212530



Frage 1

Welchem Pathomechanismus wird bei der Entstehung von Lungenschäden durch Beatmung hauptsächlich die Rolle des Verursachers zugeschrieben?

- A Barotrauma
- B Thoraxtrauma
- C Volutrauma
- D Atelektrauma
- E Intubationstrauma

Frage 2

Welche physiologische Rationale wird der PEEP-Therapie bei beatmeten Patienten zugrunde gelegt?

- A Der Alveolardruck wird über dem Alveolarverschlussdruck gehalten.
- B Der Alveolardruck wird unter dem Alveolarverschlussdruck gehalten.
- C Alveolardruck und Alveolarverschlussdruck müssen identisch sein.
- D Alveolardruck und Alveolarverschlussdruck können nicht identisch sein.
- E Alveolardruck und Alveolarverschlussdruck sind voneinander unabhängig.

Frage 3

Wie berechnet sich der Driving Pressure?

- A $P_{\text{insp}} + \text{PEEP}$
- B $P_{\text{insp}} - \text{PEEP}$
- C $P_{\text{max}} + \text{PEEP}$
- D $P_{\text{max}} - \text{PEEP}$
- E $P_{\text{plateau}} - \text{PEEP}$

Frage 4

Sie holen einen beatmeten Patienten von der Intensivstation ab, um ihn in den OP zu transportieren. Der Patient ist respiratorisch stabil, der Gasaustausch unauffällig. Welche Aussage zur Transportbeatmung ist falsch?

- A Ein mehrfacher Wechsel des Beatmungsgerätes lässt sich beim Transport meist nicht verhindern.
- B Eine Fortsetzung der Intensivbeatmung im OP erscheint logisch, falls dies mit dem geplanten Prozedere vereinbar ist.
- C Die Verhinderung von beatmungsinduzierten Lungenschäden sollte auch während einer Transportbeatmung eine Rolle spielen.
- D Häufiges Dekonnektieren des Beatmungssystems erhöht das Risiko von PEEP-Verlust.
- E Auf den Erhalt von PEEP beim Wechsel des Beatmungsgerätes kann verzichtet werden.

Frage 5

Sie möchten ein Rekrutierungsmanöver mit dem OP-Beatmungsgerät durchführen. Welche Einstellungen würden Sie bei einem Patienten, der mit ASA I klassifiziert wurde und normalgewichtig ist, wählen?

- A $P_{\text{max}} 30 \text{ cmH}_2\text{O} + \text{PEEP } 10 \text{ cmH}_2\text{O}$
- B $P_{\text{max}} 30 \text{ cmH}_2\text{O} + \text{PEEP } 30 \text{ cmH}_2\text{O}$
- C $P_{\text{max}} 10 \text{ cmH}_2\text{O} + \text{PEEP } 20 \text{ cmH}_2\text{O}$
- D $P_{\text{max}} 40 \text{ cmH}_2\text{O} + \text{PEEP } 30 \text{ cmH}_2\text{O}$
- E $P_{\text{max}} 40 \text{ cmH}_2\text{O} + \text{PEEP } 40 \text{ cmH}_2\text{O}$

Frage 6

Welche Strategie erscheint nach aktueller Literatur am sinnvollsten, um eine lungenprotektive Beatmung im OP durchzuführen?

- A niedriges Tidalvolumen und adäquater PEEP
- B niedriger Spitzendruck und hoher PEEP
- C niedriger Plateaudruck und $\text{PEEP} > 8 \text{ cmH}_2\text{O}$
- D normales Atemminutenvolumen ohne PEEP
- E hohes Tidalvolumen und niedriger PEEP

► Weitere Fragen auf der folgenden Seite ...

Punkte sammeln auf CME.thieme.de

Fortsetzung ...

Frage 7

Sie haben einen Patienten erfolgreich intubiert und im OP gelagert. Die SpO_2 ist weiterhin unbefriedigend niedrig, obwohl Sie die FiO_2 bereits moderat erhöht haben. Die Lunge ist seiten- gleich vesikulär ventiliert. Welchen Lösungsansatz ziehen Sie zu- nächst in Betracht?

- A erneute Intubation
- B Bronchoskopie via Endotrachealtubus
- C Rekrutierungsmanöver
- D perioperative Beatmung mit 100% O_2
- E Austausch des SpO_2 -Sensors

Frage 8

Über welche Eigenschaft der Lunge liefert der Driving Pressure beatmungsrelevante Informationen?

- A Compliance
- B endexpiratorisches Lungenvolumen (EELV)
- C Totraumvolumen
- D funktionelle Residualkapazität (FRC)
- E Tidalvolumen

Frage 9

Womit sollte als Folge eines Rekrutierungsmanövers am ehesten gerechnet werden?

- A Abfall der SpO_2
- B Abfall des endtidalen CO_2
- C Kreislaufreaktion
- D Awareness
- E Pneumothorax

Frage 10

Welches beatmungsphysiologische Ziel möchten Sie mit der Ein- stellung eines optimalen PEEP erreichen?

- A Rekrutierung von möglichst viel Gasaustauschfläche
- B Reduktion des Alveolarverschlussdrucks
- C Reduktion des inspiratorischen Spitzendrucks
- D Anhebung des EELV auf Vor-Intubationsniveau
- E Reduktion der notwendigen FiO_2