

Z Herz- Thorax- Gefäßchir 2011 · 25:279–285
 DOI 10.1007/s00398-011-0872-8
 Eingegangen: 4. Juli 2011
 Angenommen: 12. Juli 2011
 Online publiziert: 30. September 2011
 © Springer-Verlag 2011

G. Trummer

Abteilung Herz- und Gefäßchirurgie, Universitätsklinikum Freiburg

Beatmung leichter gemacht

Beatmungstherapieeinstieg in der herzchirurgischen Intensivmedizin

Die Inzidenz der pulmonalen Funktionseinschränkungen bei postoperativen Patienten ist hoch und eine wesentliche Aufgabe intensivmedizinischer Diagnostik und Therapie [1]. Ursache der pulmonalen Funktionsstörung chirurgischer Patienten sind neben bestehenden oder erworbenen Grunderkrankungen der Lunge (chronisch obstruktive Lungenerkrankung, Emphysem, Pneumonie) Begleiterscheinungen des chirurgischen Eingriffs wie Schmerzen, Narkoseüberhang sowie perioperative Funktionseinschränkungen der Organe.

Hauptaufgabe des intensivmedizinischen Teams ist das frühzeitige Erkennen pulmonaler Funktionseinschränkungen, deren Bogen sich von milden Gasaustauschstörungen bis zum schweren akuten Lungenversagen spannt. Entsprechend breit sind die zur Verfügung stehenden Therapieansätze:

► **Hauptaugenmerk gilt dem frühzeitigen Erkennen pulmonaler Funktionseinschränkungen**

Neben Basismaßnahmen wie Sekretolyse, Schmerztherapie und Physiotherapie ist die gezielte medikamentöse Therapie der pulmonalen Funktionsstörung ein weiterer Baustein beispielsweise durch die Gabe von Antibiotika oder Diuretika. Erweitert werden diese Maßnahmen durch diagnostisch-therapeutische Verfahren wie die Bronchoskopie, dem Einsatz nichtinvasiver oder invasiver maschineller Beatmung bis hin zu Maßnahmen extrakorporaler Lungensersatzverfahren wie pECLA („pumpless extra corporeal lung assist“) und ECMO („extra corporeal membran oxigenation“).

Ziel dieses Beitrags ist es, wichtige Begriffe aus dem Themenkreis Beatmung

verständlich zu machen und einen Überblick über häufig verwendete Beatmungsformen in der herzchirurgischen Intensivmedizin zu geben. Der Komplexität des Themas ist eine notwendige Reduktion auf einige zentrale Aspekte geschuldet. Angesichts dessen bleiben angrenzende Bereiche des Themenbereichs Beatmung wie Analgosedierung, Intubation, Bronchoskopie, Tracheotomie und Antibiotikatherapie bronchopulmonaler Infekte in diesem Beitrag ausgespart.

Respiratorische Insuffizienz herzchirurgischer Patienten

Der Terminus respiratorische Insuffizienz fasst als übergeordneter Begriff die wesentlichen Störungen der Atmung zusammen. Bestandteile der respiratorischen Insuffizienz sind sowohl ein Versagen der Atempumpe als auch eine Störung des pulmonalen Gasaustauschs auf alveolärer Ebene. Störungen der Atemhilfsmuskulatur sowie eine zentralnervöse Beeinträchtigung der Atmung, z. B. durch Narkotika, sowie die Zunahme der Atemarbeit durch thorakale Compliancestörungen oder bronchiale Obstruktion können zu einer Minderventilation führen, die häufig durch führende Hyperkapnie gekennzeichnet ist. Störungen des pulmonalen Gasaustauschs an der Alveolarmembran stellen eine weitere wichtige Ursache der respiratorischen Insuffizienz dar. Im Vordergrund stehen hier Diffusionsstörungen durch intrapulmonale Flüssigkeitsansammlungen, z. B. durch Lungenödem oder Bronchialsekret, die klinisch mit einer Hypoxie in Erscheinung treten. Störungen des Verhältnisses zwischen pulmonaler Ventilation und Perfusion zeigen eine Kombination aus Hypoxie und Hyperkapnie. Ein Versagen dieser Me-

chanismen mit fortschreitender respiratorischer Insuffizienz indiziert in der Regel die Anwendung einer maschinellen Beatmung, mit welcher über einen maschinell erzeugten positiven Atemwegsdruck der Gasaustausch in der Lunge sichergestellt wird.

■ **Herzchirurgische Operationen können an zahlreichen Stellen zu einer Störung von Atempumpfunktion und pulmonalem Gasaustausch führen.**

Thorakotomie, Eröffnung der Pleura, Anwendung der Herz-Lungen-Maschine mit nachfolgender Auslösung eines SIRS (systemisches inflammatorisches Response-Syndrom), intraoperative Hypothermie, Kreislaufunterstützung mit Katecholaminen sowie nicht zuletzt die Komorbidität herzchirurgischer Patienten begünstigen eine postoperative respiratorische Insuffizienz. Unter diesen Umständen ist es naheliegend, dass herzchirurgische Patienten überwiegend beatmet aus dem Operationsaal auf die Intensivstation übernommen werden. Diese Patienten werden auf der Intensivstation schrittweise aus der Narkose ausgeleitet und nach Erreichen einer suffizienten Spontanatmung vom Respirator getrennt. Die Führung dieses Abtrainierens von der Beatmung ist häufig unkompliziert und wird exemplarisch beschrieben.

Begriffe rund um die Beatmung

Beatmungsformen

Grundsätzlich wird unterschieden zwischen der kontrollierten Beatmung, bei der die Atemarbeit des Patienten vollständig übernommen wird und der unterstützten

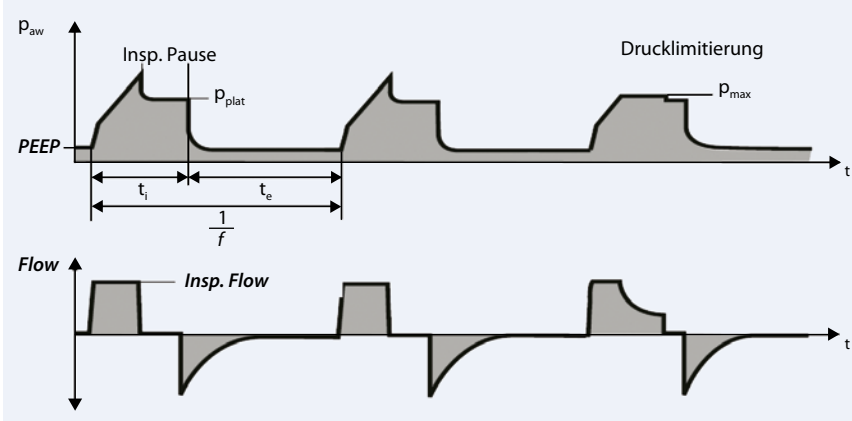


Abb. 1 ▲ Volumenkontrollierte Beatmung: Atemzugvolumen der mandatorischen Beatmungshübe definiert durch das vorgewählte Volumen. Dauer durch die Inspirationszeit, Druckanstieg durch den Inspirationsfluss bestimmt. Bei Erreichen des Atemzugvolumens vor Ablauf der eingestellten Inspirationszeit ergibt sich eine inspiratorische Pause. Die mandatorischen Beatmungshübe sind zeitgesteuert und werden nicht durch den Patienten ausgelöst, ihre Anzahl wird durch die Atemfrequenz bestimmt. f Atemfrequenz; *Insp. Flow* Inspirationsfluss; p_{aw} Atemwegsdruck; *PEEP* positiver endexpiratorischer Druck; p_{plat} Plateaudruck; t_e Expirationszeit; t_i Inspirationszeit (Aus [2], mit freundl. Genehmigung der Firma Drägerwerk AG & Co. KGaA)

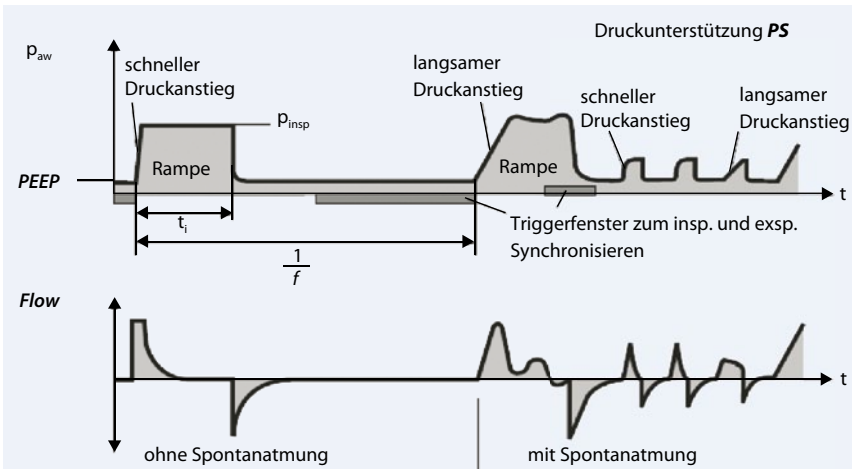


Abb. 2 ▲ BIPAP-Beatmung: intermittierende, synchronisierte, druckkontrollierte Beatmung mit erlaubter Spontanatmung. Das obere Druckniveau wird durch den Inspirationsdruck, die Dauer der mandatorischen Beatmungshübe durch die Inspirationszeit, die Anzahl durch die Atemfrequenz bestimmt. Wie in allen druckkontrollierten Beatmungsmodi ist das gelieferte Atemzugvolumen von der Druckdifferenz $p_{insp} - PEEP$, der Lungenmechanik (Resistance und Compliance) und dem Atemtrieb des Patienten abhängig. Der Druckanstieg vom unteren auf das obere Druckniveau wird durch die Rampe bestimmt. Die mandatorischen Beatmungshübe können durch Einatemanstrebungen des Patienten auf PEEP-Niveau ausgelöst sein und werden druckunterstützt. Ein mandatorischer Beatmungshub kann nur innerhalb eines „Triggerfensters“ durch den Flowtrigger synchronisiert mit der Inspiration des Patienten ausgelöst werden. f Atemfrequenz; p_{aw} Atemwegsdruck; *PEEP* positiver endexpiratorischer Druck; p_{plat} Plateaudruck; *PS* Druckunterstützung; t_i Inspirationszeit (Aus [2], mit freundl. Genehmigung der Firma Drägerwerk AG & Co. KGaA)

Spontanatmung, bei der das Atemhubvolumen durch den Patienten kontrolliert werden kann. Bei kontrollierten Beatmungsformen wird zwischen druck- bzw. volumengesteuerten sowie demandatorischen Formen unterschieden. Die Beatmungsformen C/SIMV („continuous/synchronized intermittent mandatory ventilation“; **Abb. 1**) sind klassische Vertreter einer

entweder druck- oder volumengesteuerten Beatmung. Eine Mischform aus druck- und volumengesteuerter Beatmung ist die biphasische Atmung. Sie ist unter dem Namen BIPAP („biphasic/bivent/bilevel positive airway pressure“; **Abb. 2**) bekannt und stellt eine „bedarfsorientierte“, auch demantatorisch genannte, Beatmungsform dar. Neben den kontrollierten, auch manda-

torischen Beatmungsformen, gibt es assistierte Formen der Spontanatmung. Der bekannteste Vertreter dieser Beatmungsform ist die CPAP („continuous positive airway pressure“; **Abb. 3**), bei welcher dem selbstständig atmenden Patienten ein Überdruck im Beatmungssystem angeboten wird. Alle beschriebenen Beatmungsformen werden zumeist über einen endotracheal liegenden Tubus durchgeführt. Ausnahme hiervon ist die nichtinvasive CPAP-Maskenbeatmung oder die Beatmung des Patienten bei kleinen chirurgischen Eingriffen mit Larynxmasken.

PEEP

PEEP („positive endexpiratory pressure“) bezeichnet einen bei der Beatmung in der Lunge erzeugten positiven Druck, der am Ende der Expiration gemessen wird. Wesentlicher Effekt des PEEP ist das Offenhalten der Alveolen mit nachfolgend besserer Ventilation und Oxygenierung des Patienten. Die richtige Einstellung des PEEP (idealer PEEP) zielt auf ein möglichst kontinuierliches Offenhalten der Alveolen. Eine Wiedereröffnung, auch Rekrutierung genannt, von Alveolen mit jedem Atemzug soll wegen der damit verbundenen Gefahr der Überdehnung vermieden werden. Den Bereich des idealen PEEP zu identifizieren, ist durchaus anspruchsvoll: Als Näherungswert kann ein PEEP gelten, bei dem bei unverändertem Spitzendruck ein Maximum an Tidalvolumen erzielt werden kann. Nebenwirkung des PEEP ist eine Erhöhung des intrathorakalen Drucks, die zu einem Abfall des Herzzeitvolumens führen kann bei gleichzeitigem venösem Rückstau in Gehirn, Leber, und Nieren. Grundsätzlich sollte der PEEP daher möglichst niedrig sein (5–7 cm H₂O). Sollte jedoch ein höherer PEEP (10–15 cm H₂O) erforderlich sein, darf man nicht zögern, diesen rasch anzupassen.

Flow und Rampe

Der Flow gibt die Geschwindigkeit des Gasflusses an und resultiert aus dem verabreichten Atemzugvolumen. Hoher Flow begünstigt eine rasche Belüftung, während ein niedriger Flow für eine bessere Verteilung des Atemgases in der Lunge sorgt. Der Inspirationsflow kann zu-, abnehmend

oder konstant sein. Resistance und Compliance der Lunge des Patienten haben nur bei einer druckkontrollierten Beatmung Einfluss auf den Flow. Bei volumenkontrollierter Beatmung bleibt der Flow so wie er an der Beatmungsmaschine eingestellt wurde, es zeigt sich jedoch ein variabler Beatmungsdruck. Als orientierende Werte für den Flow können 30–45 l/min gelten.

Unter Rampe versteht man die Zeiteinheit, in der 80% des Flow appliziert wird. Je steiler die Rampe, umso kürzer die Zeit des Flow. Parallel zur Verkürzung des Flow kommt es zu einem Anstieg der Beatmungsdrücke. Unter druckkontrollierter Beatmung wird der Atemgasfluss bei Erreichen eines eingestellten Spitzendrucks gestoppt. Hier besteht kein Einfluss der Rampe auf den Spitzendruck. Im Gegensatz dazu kann es bei volumenkontrollierter Beatmung und schnell ansteigendem Flow zu einem Anstieg des Spitzendrucks kommen. Durch gezielte Auswahl der Rampe kann durch eine Verzögerung des Flow ein zu steiler Druckanstieg vermieden werden (▣ **Abb. 2**). Die Wahl der geeigneten Rampe ist wichtig, da „schnelle“ Rampen mit hohem Spitzenflow zu Irritationen des Patienten mit Unruhe und schlechter Beatmungstoleranz führen können.

Selbstversuche mittels Beatmung über eine CPAP-Maske und verschiedenen Einstellungen des Respirators lassen innerhalb weniger Minuten erfahren, wie Flow und Rampe zusammenhängen und wie unangenehm eine falsche Beatmungseinstellung für den Patienten sein kann.

Trigger und assistierte Spontanatmung

In Abhängigkeit von der Narkosetiefe können beatmete Patienten versuchen spontan zu atmen. Zu Beginn einer solchen „Inspirationsbemühung“ erzeugt der Patient einen Atemgasfluss, der von der Beatmungsmaschine erkannt wird. Bei Überschreiten eines vorgewählten druck- oder volumenbezogenen Schwellwerts („Trigger“) löst der Respirator einen Atemhub aus (Orientierende Einstellungen: Flusstrigger: 3–5 l/min; Drucktrigger: 3–5 mbar). Der spontane Atemzug wird so genau zu dem vom Patienten begonnen Zeitpunkt von der Maschine durch einen erhöhten Druck des Atemgases unterstützt (▣ **Abb. 4**).

Z Herz- Thorax- Gefäßchir 2011 · 25:279–285 DOI 10.1007/s00398-011-0872-8
© Springer-Verlag 2011

G. Trummer

Beatmung leichter gemacht. Beatmungstherapieeinstieg in der herzchirurgischen Intensivmedizin

Zusammenfassung

Die Beatmung ist ein überaus komplexes Feld in der modernen Intensivmedizin. Da ein Großteil herzchirurgischer Patienten postoperativ beatmet wird, ist eine entsprechende Qualifikation der Mitarbeiter einer herzchirurgischen Intensivstation unerlässlich. Darüber hinaus bedürfen langzeitbeatmete Patienten der besonderen Qualifikation und Zuwendung des Personals. Im Zentrum beim Thema Beatmung steht dabei die Betreuung neuer Kollegen, da die praktische Umsetzung des theoretischen Wissens eine engmaschige

Begleitung erfordert. Ziel dieser praxisorientierten Übersicht ist es, neuen Mitarbeitern der Intensivstation einen ersten Einblick in den breit gefächerten Themenbereich Beatmung zu geben.

Schlüsselwörter

Kardiovaskuläre Erkrankungen · Herzchirurgische Intensivmedizin · Beatmungstherapie · Beatmungsentwöhnung · Terminologie

Mechanical ventilation made easier. Introducing ventilation therapy in cardiac intensive care medicine

Abstract

Respiratory care is a demanding and sometimes difficult task in intensive care. Due to the fact that the majority of cardiovascular patients requires postoperative mechanical ventilation, sufficient skills regarding respiratory care are mandatory to treat these patients on the intensive care unit. Furthermore the group of patients with secondary respiratory failure and long term-dependency on the respirator requires special attention and knowledge. Unlike many other therapies,

close teaching by experienced members of the team and permanent questioning may provide the best benefit for younger fellows. The goal of this practice driven review is to provide young fellows a first insight in the numerous aspects of mechanical ventilation.

Keywords

Cardiovascular diseases · Surgical intensive care · Respirator therapy · Ventilator weaning · Terminology

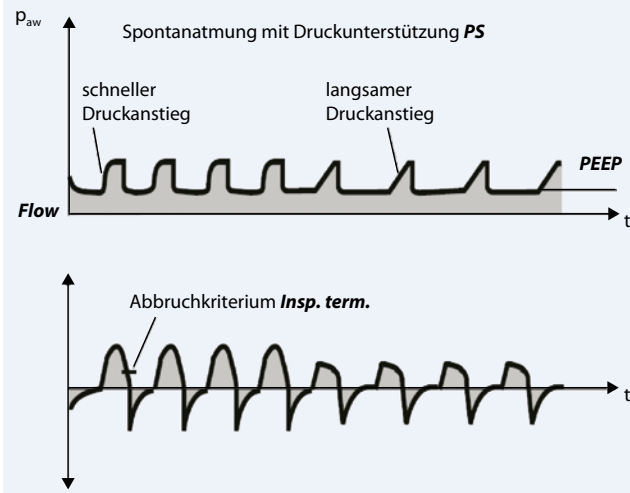


Abb. 3 ▲ CPAP-Beatmung: ohne Druckunterstützung wird die Spontanatmung des Patienten nur durch den erhöhten PEEP unterstützt. Während der Spontanatmung auf PEEP-Niveau kann der Patient druckunterstützt werden. Jede die Triggerkriterien erfüllende Einatemanstrengung auf PEEP-Niveau löst einen druckunterstützten Beatmungshub aus. Deren Zeitpunkt, Anzahl und Dauer werden durch die Spontanatmung des Patienten bestimmt. p_{aw} Atemwegsdruck; PEEP positiver endexpiratorischer Druck; PS Druckunterstützung (Aus [2], mit freundl. Genehmigung der Firma Drägerwerk AG & Co. KGaA)

Dieser Druck, den die Beatmungsmaschine erzeugt und den man auch als „Rückenwind der Beatmung“ bezeichnen könnte, wird ASB (assisted spontaneous breathing)- bzw. Hilfsdruck genannt und liegt in einem Bereich von 8–20 mbar. Diese assistierte Spontanatmung lässt sich sehr gut mit CPAP und BIPAP kombinieren und wird im Rahmen des Abtrainierens von der maschinellen Beatmung, häufig als Weaning bezeichnet, durchgeführt.

Atemfrequenz und Verhältnis Inspiration zu Expiration

Die Atemfrequenz beschreibt die Anzahl der Beatmungszyklen pro Minute. Bei maschineller Beatmung erwachsener Patienten werden zwischen 8 und 25 Beatmungszyklen/min appliziert.

Das physiologische Verhältnis von Ein- zu Ausatmung (I:E) liegt bei Lungengesunden bei 1:2, das heißt die Expiration dauert etwa doppelt so lange wie die Inspiration (■ **Abb. 1**). Grundsätzlich ist dieses I:E-Verhältnis auch bei beatmeten Patienten anzustreben. Hierbei ist jedoch der Einfluss der Atemfrequenz sowie der Inspirationszeit auf das I:E-Verhältnis bei maschinell beatmeten Patienten zu berücksichtigen. So kann be-

spielsweise bei einer Atemfrequenz von 8 Atemhüben/min ein fixiertes I:E-Verhältnis von 1:2 bedeuten, dass die Dauer der Inspiration die sehr lange Zeit von 2,5 s beträgt. Günstig ist jedoch bei niedrigen Atemfrequenzen eine Steuerung des I:E-Verhältnisses zugunsten einer verlängerten Expiration (z. B. 1:3 oder 1:4). Darüber hinaus ist eine Verlängerung des Expiriums insbesondere für Patienten mit COPD hilfreich. Umgekehrt kann bei hohen Atemfrequenzen, häufig im Bereich $> 25/\text{min}$, des assistiert beatmeten Patienten beobachtet werden, dass die zur Verfügung stehende Inspirationszeit für den Kontakt des Atemgases mit den Alveolen sowie besonders die Expiration nicht mehr ausreicht. Hierbei besteht die Gefahr, dass ein erhöhtes Expirationsvolumen in der Lunge verbleibt, ein Phänomen, das auch als „air-trapping“ bezeichnet wird. Parallel dazu kommt es aus physikalischen Gründen durch den in dieser Situation erforderlichen schnellen Gaswechsel häufig zu einer durch eine weitere Frequenzsteigerung nicht mehr zu korrigierenden Reduktion des Atemzugvolumens. In dieser Situation ist eine Reduktion der Atemfrequenz bei gleichzeitiger Steigerung des Atemzugvolumens angezeigt, um innerhalb eines weitgehend physiologischen I:E-Verhältnisses dem

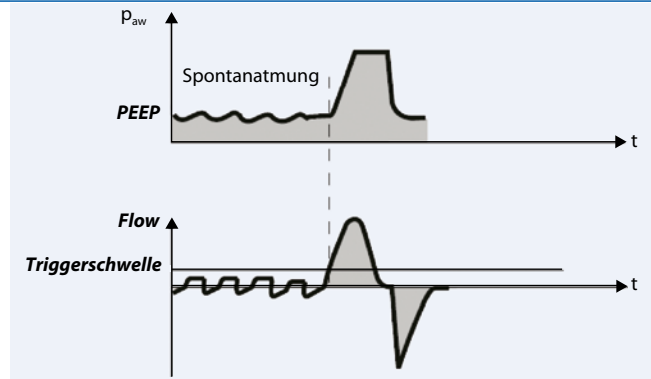


Abb. 4 ▲ Flussgesteuerter Trigger: Mandatorische Hübe werden bei Überschreiten der Triggerschwelle mit den Einatemanstrengungen synchronisiert. p_{aw} Atemwegsdruck; PEEP positiver endexpiratorischer Druck (Aus [2], mit freundl. Genehmigung der Firma Drägerwerk AG & Co. KGaA)

Atemgas ausreichend Zeit zum An- und Abfluten sowie zum Kontakt mit den Alveolen zu geben.

Bei Patienten mit schweren Oxygenierungsstörungen kann die Umkehrung des I:E-Verhältnisses ($\leq 4:1$) eine Option in der Beatmungstherapie darstellen. Ziel ist es hierbei, dem zugeführten sauerstoffreichen Atemgas eine möglichst lange Kontaktzeit mit den Alveolen zu ermöglichen. Dieser als IVR („inversed ratio ventilation“) bezeichnete Vorgang wird jedoch nur noch im Ausnahmefall eingesetzt und setzt einen tief sedierten und kontrolliert beatmeten Patienten voraus [3].

Beatmungssteuerung

Maschinelle Beatmung ist ein invasives intensivmedizinisches Verfahren, welche eine entsprechende Raum- und Personalausstattung voraussetzt. Die kontinuierliche Ableitung von EKG, Pulsoxymetrie, Blutdruck sowie Point-of-care-Blutgasanalysen können als Mindeststandard angesehen werden. Insbesondere früh postoperativ oder bei länger dauernder Respiratortherapie ist es üblich, über arterielle Verweilkatheter (Aa. radialis oder femoralis) kontinuierlich den arteriellen Blutdruck abzuleiten sowie Blutgasanalysen (BGA) durchzuführen. Für die frühe postoperative Phase kann folgendes Vorgehen bei der Blutgasanalyse empfohlen werden: Die erste BGA sollte zügig nach Aufnahme auf die Intensivstation erfolgen, bei Auftreten einer kardiopulmonalen Instabilität und bei Veränderung der Ventilationsparameter innerhalb eines Zeitintervalls von 30 min. Bei einer Sauerstoffkonzentration ($F_{I}O_2$) $\geq 0,6$

wird eine BGA alle 4 Stunden, sonst mindestens alle 8 Stunden empfohlen [4]. Diese BGA liefern in Kombination mit dem klinischen Bild wichtige Informationen für die Beatmungseinstellungen. Insbesondere die zugeführte F_{iO_2} , die Atemfrequenz sowie das Tidalvolumen werden an der arteriellen Blutgasanalyse ausgerichtet. Als Sauerstoffkonzentration wird in der Regel ein Anteil von 40–100% (F_{iO_2} 0,4–1,0) gewählt. Ein $F_{iO_2} > 0,6$ sollte nur vorübergehend angewendet werden, da hohe Sauerstoffkonzentrationen toxische Wirkungen an den Alveolen haben können.

Tidalvolumen und Inspirationsdruck

Das Tidalvolumen, auch Atemzugvolumen genannt (AZV), entspricht dem Volumen, welches pro Atemzyklus maschinell an den Patienten abgegeben wird. Da sowohl hohe Beatmungsdrücke und Beatmungsvolumina potenziell schädlich sind, zählen die korrekte Einstellung von Atemzugvolumen und maximalem Beatmungsdruck zu den zentralen Aufgaben des behandelnden Pflege- und Ärzteteams [5, 6]. Als Richtwert für das Tidalvolumen kann man einen Wert von 5–8 ml/kgKG annehmen. Multipliziert man das Tidalvolumen mit der Atemfrequenz pro Minute erhält man das Atemminutenvolumen (AMV). Analog dazu sollte der maximale Inspirationsdruck einen Wert von 35 mbar nicht überschreiten.

Beatmungsvarianten

Kontinuierlicher Atemwegsüberdruck

CPAP („continuous positive airway pressure“) ist eine Beatmungsform für weitgehend spontan atmende Patienten. Hierbei wird dem Patienten ein kontinuierlicher Atemwegsüberdruck angeboten, der die Inspiration erleichtert. Atemtiefe, Atemfrequenz und Flow werden vollständig vom Patienten reguliert. Der positive Druck in Atemwegen und Lunge bewirkt eine Vergrößerung der funktionellen Residualkapazität und verhindert bzw. eröffnet Atelektasen. Beim Abtrainieren von der Beatmung wird CPAP in der Regel mit ASB ergänzt (■ **Abb. 3**).

Hier steht eine Anzeige.



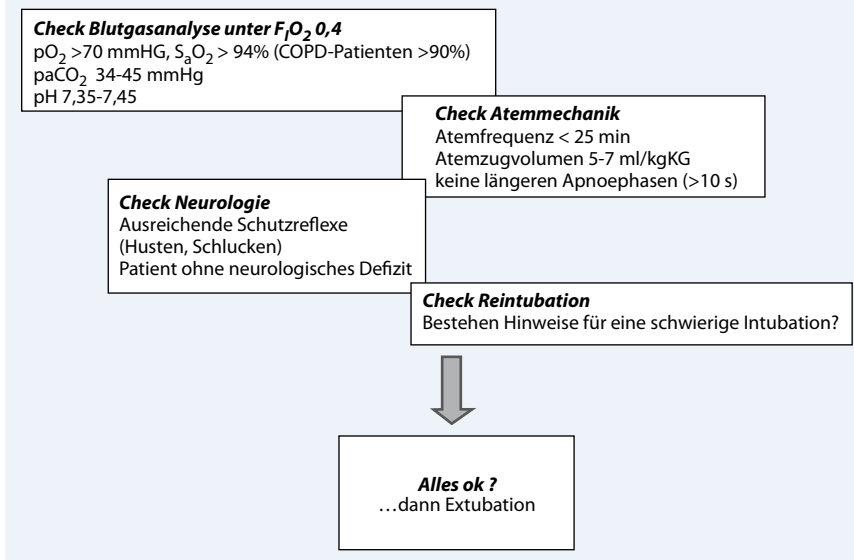


Abb. 5 ▲ Checkliste der Extubationskriterien der Herz- und gefäßchirurgischen Intensivstation des Universitätsklinikums Freiburg

CPAP-Beatmung kann sowohl über einen endotracheal liegenden Tubus als auch über Mund- und/oder Nasenmasken verabreicht werden. Dann wird diese Beatmungsform als CPAP-Maskenbeatmung oder häufig auch als NIV („non invasive ventilation“) bezeichnet. Obwohl der Begriff NIV ein nichtinvasives, vermeintlich einfaches Verfahren suggeriert, sind diese Patienten, zumindest im perioperativen Umfeld, wie invasiv beatmete Patienten zu führen. Druckstellen durch die zwingend dicht schließenden Masken, Magenüberblähung, Aspirationsgefahr, Analgosedierung sowie der rechtzeitige Wechsel auf eine andere Beatmungsform setzen ein entsprechend aufmerksames und ausgebildetes Ärzte- und Pflegeteam voraus [7].

Volumenkontrollierte Beatmung

Die Beatmungsformen CMV/SIMV („continuous/synchronized intermittent mandatory ventilation“) werden auf der Basis einer volumenkontrollierten Beatmung durchgeführt. Als Grundeinstellungen kann beispielsweise ein Tidal-(Atemzug-)Volumen von 5–7 ml/kgKG und eine mandatorische Atemfrequenz von 12–16/min vorgegeben werden (CMV; **Abb. 1**). Die „intermittierende mandatorische“ Komponente der SIMV-Beatmung wird dann durch eine Reduktion der Grundfrequenz für mandatorische Beatmungshübe erzielt, die innerhalb eines bestimmten Zeitraums, beispiels-

weise alle 10 Sekunden, erfolgen sollen. Atmet der Patient innerhalb dieses Zeitraums ein, kommt es zum vorgezogenen maschinellen Hub. Bei fehlender Spontanatmungsbemühung des Patienten wird ein assistierter Beatmungshub verabreicht. Ziel dieser Beatmungsform ist es den Patienten durch Zurücknahme der mandatorischen Frequenz schrittweise mehr Atemarbeit übernehmen zu lassen um ihn schließlich vollständig von der Beatmung zu entwöhnen.

Druck- und volumenkontrollierte Beatmung

BIPAP („biphasic/bivent/bilevel positive airway pressure“) ist eine Mischform aus druck- und volumenkontrollierter Beatmung und stellt eine demantatorische oder bedarfsorientierte Beatmungsform dar (**Abb. 2**).

■ **BIPAP ist eine schonende, gut tolerierte Beatmungsform, die eine Vielzahl individueller Anpassungen ermöglicht.**

Nicht zuletzt deshalb hat sich diese Beatmungsform in den vergangenen 15 Jahren zur Standardbeatmung auf vielen Intensivstationen entwickelt.

Im Gegensatz zu CPAP, wo ein kontinuierlich hoher Beatmungsdruck vorliegt, gibt es bei BIPAP abwechselnd einen hohen Druck zum Einatmen und einen niedrige-

ren Druck zum Ausatmen, der die Expiration des Patienten erleichtert. Die Atemtiefe wird durch die Differenz zwischen diesen beiden Druckniveaus bestimmt. Das untere Druckniveau entspricht dem PEEP-Niveau, das obere Druckniveau dem maximalen Inspirationsdruck. Zusätzlich kann der Patient in jeder Phase der Beatmung selbst mitatmen. BIPAP vereint eine volumen- und druckkontrollierte Beatmung in Kombination mit mandatorischen Vorgaben sowie optionalem ASB. Damit ist grundsätzlich das gesamte Spektrum von der kontrollierten Beatmung bis zur Spontanatmung abgedeckt, und die Atemarbeit des Patienten zu keinem Zeitpunkt behindert. Im Idealfall kann man ohne Umstellung der Beatmungsform den Patienten über die gesamte Dauer der Beatmung mittels BIPAP beatmen.

Beatmungsentwöhnung

Wie eingangs beschrieben ist das Abtrainieren von der Beatmung bei herzchirurgischen Patienten ein häufig notwendiger Vorgang, da diese in der Regel beatmet zur Narkoseausleitung auf die Intensivstation übernommen werden. Ziel ist es hierbei, den Patienten möglichst schonend aus der Narkose zu führen und zügig sowohl Spontanatmung als auch Extubation anzustreben. Hier bieten sich zwei häufig angewandte Entwöhnungsstrategien an. Einerseits das klassische kontinuierliche Weaning, welches mit CMV-Modus begonnen wird. Mit beginnender Spontanatmung und Reduktion der mandatorischen Atemhübe wird in den SIMV-Modus gewechselt, gefolgt vom Übergang zu CPAP des nun weitgehend spontan atmenden Patienten. Nach Erfüllung der Extubationskriterien (**Abb. 5**) erfolgt die Extubation und endgültige Trennung von der maschinellen Beatmung gefolgt von der Vorlage von Sauerstoff über Nasenbrille oder Maske. Als anerkannte Extubationskriterien können gelten:

- pO₂ > 70 mmHG,
- S_aO₂ > 94% (COPD-Patienten > 90%),
- pCO₂ 35–45 mmHg,
- pH 7,35–7,45,
- Atemfrequenz < 30 min,
- Atemzugvolumen 5–7 ml/kgKG,
- keine längeren Apnoephasen,

- ausreichende Schutzreflexe (Husten, Schlucken),
- neurologisch unauffälliger Patient.

Alternativ dazu kann das Weaning über BIPAP-ASB/CPAP erfolgen. Ein wichtiger Vorteil dieser Strategie ist der nicht notwendige Wechsel der Beatmungsform. Dieser kann beim beschriebenen klassischen Weaning durchaus zu Irritationen des erwachenden Patienten und Verzögerungen führen.

Das Abtrainieren herzchirurgischer Patienten von der Beatmung ist ein gut standardisierbarer Vorgang, der in Weaning-Protokollen hinterlegt werden sollte. Diese Arbeitshilfe unterstützt ein zügiges und schonendes Abtrainieren von der Beatmung bei gleichzeitiger Eigenkontrolle des Intensivpersonals über dessen regelhaften Ablauf.

Langzeitbeatmung

Komplexer werden die Anforderungen in der Gruppe der Patienten, die nach zunächst problemlosem Verlauf eine respiratorische Insuffizienz entwickeln. Der Zielkonflikt in dieser Patientengruppe besteht einerseits darin, die Reintubation möglichst zu vermeiden, andererseits jedoch den Zeitpunkt zu erkennen, wann eine maschinelle Beatmung keinen Aufschub mehr duldet. Eine durchaus anspruchsvolle Gratwanderung, die kaum in Regelwerken abgebildet werden kann und viel intensivmedizinische Erfahrung voraussetzt [8]. Ist eine Reintubation nicht zu vermeiden, folgt häufig eine Phase mehrtägiger Abhängigkeit von der maschinellen Beatmung. Diese Langzeitbeatmungen erfordern ein umfassendes intensivmedizinisches Konzept, das in enger Abstimmung von Intensivpflegepersonal und -ärzten gestaltet werden muss.

Eckpfeiler dieses Konzepts sind beispielsweise eine Sedierungstiefe, die Zwerchfellbewegungen fördert sowie innerhalb der Intensivstation abgestimmte Konzepte zur Lagerungstherapie [9, 10]. Die adäquate Gewinnung von Trachealsekret, bronchoskopische Lavage sowie die Interpretation der Befunde mit daraus folgender Antibiotikatherapie sind ein weiterer wichtiger Baustein bei der Therapie langzeitbeatmeter Patienten. Zusätz-

lich ist ein klarer Trend zur frühen Tracheotomie bei längerfristig beatmeten Patienten erkennbar. Vorteilhaft ist hier für herzchirurgische Patienten die perkutane Tracheotomie [11]. Mit dieser gut etablierten Methode kann diese Patientengruppe ohne relevantes Risiko für eine Mediastinitis auch in der frühen postoperativen Phase tracheotomiert werden. Der Erfolg einer Langzeitbeatmung wird aber durch die endgültige Trennung vom Respirator und vom weiteren Genesungsprozess des Patienten bestätigt. Der Zeitpunkt der Verlegung auf die Tagesstation ist hierfür ein wichtiger Meilenstein für das Resümee des therapeutischen Teams.

Fazit für die Praxis

Die Beatmung ist ein überaus komplexes Feld in der modernen Intensivmedizin. Chancen und Risiken dieser Therapieform liegen für den Patienten eng zusammen. Zusätzlich ist die Ressource Beatmung eine personell und materiell aufwändige Therapie, die erheblichen Kosten generiert. Unter diesen Aspekten erscheint die gezielte Förderung des Wissens und der professionellen Anwendung dieser Therapie geboten. Gleichzeitig, und signifikant für zahlreiche andere intensivmedizinische Verfahren, ist es kaum möglich, auf evidenzbasierte Strategien in der Beatmung zurückzugreifen. Hilfreich und unseren Erfahrungen entsprechend sind jedoch ein regelmäßiger Dialog zwischen älteren und jüngeren Kollegen, das Gespräch zwischen Ärzten und Pflegepersonal sowie die engmaschige Beschäftigung mit dem Thema. Damit können schrittweise die komplexen Zusammenhänge erkannt und der wachsende persönliche Erfahrungsschatz zum Wohle der Patienten eingesetzt werden.

Korrespondenzadresse

Dr. G. Trummer



Abteilung Herz- und Gefäßchirurgie,
Universitätsklinikum Freiburg
Hugstetter Str. 55,
79106 Freiburg
georg.trummer@
uniklinik-freiburg.de

Dr. med. Georg Trummer, Jahrgang 1966, ist Oberarzt der herz- und gefäßchirurgischen Intensivstation am Universitätsklinikum Freiburg. Die Facharztprüfung für Herzchirurgie absolvierte er im Jahr 2007. Schwerpunkte seiner Arbeit sind: Intensivmedizin und Patientenmanagement, Prozessoptimierung sowie der Forschungsbereich „Kontrollierte Ganzkörperperfusion“. Dr. Trummer ist zudem Schriftführer der Kommission für Intensivmedizin der DGTHG.

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor weist auf folgende Beziehung hin: RS Medical Consult, Teleflex, Novartis Pharma.

Literatur

1. Torres A, El-Ebiary M, Rano A (1999) Respiratory infectious complications in the intensive care unit. *Clin Chest Med* 20(2):287–301
2. Drägerwerk AG & Co KGaA (2009) Gebrauchsanweisung Evita Infinity V500 Beatmungseinheit SW 2.n
3. Neumann P, Berglund JE, Andersson LG, Maripu E, Magnusson A, Hedenstierna G (2000) Effects of inverse ratio ventilation and positive end-expiratory pressure in oleic acid-induced lung injury. *Am J Respir Crit Care Med* 161(5):1537–1545
4. Carl M, Alms A, Braun J et al (2010) S3 guidelines for intensive care in cardiac surgery patients: hemodynamic monitoring and cardiocirculatory system. *Ger Med Sci* 8:Doc12
5. Dreyfuss D, Ricard JD, Saumon G (2003) On the physiologic and clinical relevance of lung-borne cytokines during ventilator-induced lung injury. *Am J Respir Crit Care Med* 167(11):1467–1471
6. Dreyfuss D, Saumon G (1998) Ventilator-induced lung injury: lessons from experimental studies. *Am J Respir Crit Care Med* 157(1):294–323
7. Schönhofer B (2006) NIV als Therapie der hyperkapnischen akuten respiratorischen Insuffizienz. In: *Nicht-invasive Beatmung, Grundlagen und moderne Praxis*. Unimed-Verlag, Bremen, S 61–65
8. Butler R, Keenan SP, Inman KJ, Sibbald WJ, Block G (1999) Is there a preferred technique for weaning the difficult-to-wean patient? A systematic review of the literature. *Crit Care Med* 27(11):2331–2336
9. Gattinoni L, Tognoni G, Pesenti A et al (2001) Effect of prone positioning on the survival of patients with acute respiratory failure. *N Engl J Med* 345(8):568–573
10. Sud S, Sud M, Friedrich JO, Adhikari NK (2008) Effect of mechanical ventilation in the prone position on clinical outcomes in patients with acute hypoxemic respiratory failure: a systematic review and meta-analysis. *CMAJ* 178(9):1153–1161
11. Gaudino M, Losasso G, Anselmi A, Zamparelli R, Schiavello R, Possati G (2009) Is early tracheostomy a risk factor for mediastinitis after median sternotomy? *J Card Surg* 24(6):632–636