

Ulrich v. Hintzenstern  
Thomas Bein (Hrsg.)

Leseprobe

# Praxisbuch Beatmung

7. Auflage



ELSEVIER

Urban & Fischer

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>1</b>
1.1	Anatomie	2
1.2	Physiologie	2
1.3	Akute respiratorische Insuffizienz (ARI)	14
1.4	Beatmung	16
1.5	Überwachung des Beatmungspatienten	30
<b>2</b>	<b>Ventilationsformen</b>	<b>47</b>
2.1	Kontrollierte Beatmung	48
2.2	Assistierte / kontrollierte Beatmung	56
2.3	SIMV (Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation)	56
2.4	Inspiratorische Druckunterstützung (druckunterstützte Spontanatmung)	58
2.5	NAVA (Neurally Adjusted Ventilatory Assist)	60
2.6	CPAP (Continuous Positive Airway Pressure)	61
2.7	IRV (Inverse-Ratio Ventilation)	62
2.8	BIPAP (Biphasic Positive Airway Pressure)	63
2.9	APRV (Airway Pressure Release Ventilation)	64
2.10	MMV (Mandatory Minute Ventilation)	66
2.11	Sonstige Ventilationsformen	67
2.12	Seitengetrennte Beatmung	70
2.13	Atemunterstützung mit nasaler High-Flow-Therapie (HFNC)	71
2.14	Nichtinvasive Beatmung	71
<b>3</b>	<b>Narkosebeatmung</b>	<b>81</b>
3.1	Besonderheiten	82
3.2	Praxis der Narkosebeatmung	83
3.3	Verfahren der intraoperativen Atemwegssicherung	84
<b>4</b>	<b>Beatmung in der Intensivmedizin</b>	<b>87</b>
4.1	Beatmung bei akuter respiratorischer Insuffizienz (ARI) oder ARDS	88
4.2	Supportive Maßnahmen bei beatmeten Patienten mit ARI / ARDS	91
4.3	Extrakorporale Lungenunterstützung (ECMO) beim schweren akuten Lungenversagen	92
4.4	Entwöhnung von der Beatmung (Weaning)	96
<b>5</b>	<b>Aspekte rund um die Beatmung</b>	<b>103</b>
5.1	Medizinproduktegesetz	104
5.2	Verhalten bei Vorkommnissen mit Beatmungsgeräten	108
5.3	Kommunikation mit beatmeten Patienten	109
5.4	Versorgung des beatmeten Patienten	112
5.5	Nosokomiale und ventilatorassoziierte Pneumonie	126
5.6	Ethische und juristische Aspekte bei maschineller Beatmung	134

<b>6</b>	<b>Beatmung in besonderen Fällen</b>	<b>143</b>
6.1	Beatmung bei (schwer) adipösen Patienten	144
6.2	Beatmung bei exazerbierter chronisch-obstruktiver Lungenerkrankung (COPD)	146
6.3	Prinzipien der Beatmung in Schockraum oder Notaufnahme	148
6.4	Beatmung bei akuten zerebralen Läsionen	148
6.5	Atmungsentlastende Beatmung (Außerklinische Beatmung)	149
<b>7</b>	<b>Fallbeispiele</b>	<b>155</b>
7.1	Akutes Lungenversagen nach Trauma	156
7.2	Akutes Lungen- und Nierenversagen	157
7.3	Schädel-Hirntrauma und akutes Lungenversagen	159
7.4	Beatmungseinstellung beim akuten Lungenversagen während ECMO-Therapie	160
7.5	Schwierige Entwöhnung	161
7.6	Pneumonie bei Adipositas per magna	163
7.7	Akutes Lungenödem nach anaphylaktischem Schock	164
7.8	COPD	165
7.9	Asthma bronchiale	166
7.10	Akute respiratorische Insuffizienz unklarer Ursache	167
7.11	Problematische Maskeneinleitung beim Säugling	169
7.12	Beatmungsproblem beim intubierten Kind	170
7.13	Beatmung eines Kindes in der präklinischen Notfallmedizin	171
<b>8</b>	<b>Pflegerische Aspekte bei beatmeten Patienten</b>	<b>173</b>
8.1	Allgemeine Problematik	174
8.2	Pflegerische Kenntnisse	174
8.3	Pflegerische Besonderheiten	174
8.4	Hilfestellungen für den beatmeten Patienten	180
8.5	Umgang mit Angehörigen und Besuchern	181
8.6	Atemgasklimatisierung	182
8.7	Atemsystemfilter	183
<b>9</b>	<b>Beatmungspraxis bei Kindern</b>	<b>185</b>
9.1	Anatomische Besonderheiten	186
9.2	Physiologische Besonderheiten	187
9.3	Pathophysiologische Besonderheiten	188
9.4	Indikationen zur Intubation und Beatmung	189
9.5	Besonderheiten der Narkoseeinleitung	189
9.6	Intubation	191
9.7	Beatmung	196
9.8	Drei Missverständnisse bei der Beatmung von Kindern	201
	<b>Register</b>	<b>203</b>

bei Änderungen, an dieses Niveau angepasst werden. Ein absoluter Drucktrigger kann durch positive und negative Einstellwerte am druckgesteuerten Respirator erkannt werden.

- **Flowtrigger:** Nahezu alle modernen Ventilatoren verfügen über gasflussgesteuerte Trigger, da durch Mikroprozessoren bereits geringe Veränderungen des Gasflusses – induziert durch eine Atemanstrengung des Patienten – rasch erkannt werden können. In diesem Sinne stellt der Flowtrigger die geringste Anstrengung und damit den besten Komfort dar.
  - *Aktiver Flowtrigger:* Während der expiratorischen Pause wird durch das Beatmungsgerät ein Trigger-Flow geliefert.
  - *Passiver Flowtrigger:* Es ist ein Gasfluss im System vorhanden. Der eingestellte Flowtriggerwert muss durch den inspiratorischen Sog des Patienten überschritten werden, um einen mandatorischen Atemhub oder eine Atemunterstützung auszulösen.

### ! **Fehleinstellungen beim absoluten druckgesteuerten Trigger**

Wird beim absoluten Trigger die Anpassung an einen erhöhten endexpiratorischen Druck vergessen, so erhöht sich der Triggerschwellenwert genau um den Betrag der PEEP-Änderung. Das bedeutet, dass der Patient eine größere Atemanstrengung erbringen muss, um den kontrollierten Beatmungshub auszulösen. Eine unterbliebene Angleichung des absoluten Triggers bei Erniedrigung des PEEP-Werts führt zur Eigentriggerung des Geräts. Neuere Geräte sind zur Vermeidung dieser Fehleinstellungen mit einem relativen Trigger ausgerüstet.

**Cave:** Ein absoluter Trigger bezieht sich auf den Druck null. Bei Veränderungen des endexpiratorischen Drucks muss er angepasst werden. Ein relativer Trigger bezieht sich immer auf den endexpiratorischen Druck. Bei Veränderungen passt er sich automatisch an den neuen endexpiratorischen Druck an.

## 1.5 Überwachung des Beatmungspatienten

**Allgemeine Überwachung:** Wiederholte körperliche Untersuchung des Patienten mit oder ohne technische Hilfsmittel (Stethoskop, Thermometer, Röntgengerät).

**Monitoring:** Kontinuierliche Messung von Schlüsselgrößen vitaler Funktionen, Alarmierung bei signifikanter Parameteränderung sowie Trenddarstellung der Messwerte zur Beurteilung von Therapie und Prognose.

- ! Beatmete Patienten müssen **kontinuierlich** überwacht werden! Die Überwachung des Patienten mit einfachen Methoden ohne Hilfsmittel führt oft weiter als die Fixierung auf Messwerte von komplexen Monitoringgeräten (oft schwierige Interpretation, Artefakte, Kalibrierfehler).

### 1.5.1 Allgemeine Überwachung

*U. v. Hintzenstern*

#### Vitalfunktionen

Grundlage jeder intensivmedizinischen Überwachung ist die engmaschige Überprüfung, Dokumentation und Interpretation der **Vitalfunktionen** des Patienten.

Nach Möglichkeit immer zuerst den Patienten befragen. Gemeinsame Visite von Ärzten und Pflegenden.

### Bewusstsein

Patient ansprechen: „Wie geht es Ihnen?“, ggf. dabei Weckreiz ausüben: Patienten (vorsichtig!) an den Schultern schütteln, in eine Hautfalte in der Orbitagegend oder in die Achselfalte kneifen → Antwort oder motorische Reaktion?

Ist der Patient wach und bezüglich Zeit, Ort und seiner Person orientiert oder verlangsamt, schläfrig, schwer erweckbar oder komatös? Hat der Patient Medikamente erhalten, die sein Bewusstsein beeinflussen?

### Puls

Normalwert für Erwachsene: 60–90/min. Puls regelmäßig oder unregelmäßig? Frequenz und Rhythmus am EKG-Monitor visualisierbar. Pulsqualität aber nur mit dem tastenden Finger erfassbar: Schwach bis fadenförmig → RR ↓ oder HZV ↓ oder kräftig und pochend → RR ↑ oder HZV ↑.

### Atemfrequenz

Normalwert für Erwachsene: ca. 18/min. Mögliche Ursachen für

- **Tachypnoe** (AF > 30/min): Hypoxämie, Fieber, metabolische Azidose, Angst, Schmerzen
- **Bradypnoe** (AF < 10/min): Atemdepression (Sedativa, Analgetika), Hypothermie, Schädel-Hirn-Trauma



- Dokumentation nicht nur der Atemfrequenz des Beatmungsgeräts bei beatmetem Patienten, sondern auch der Atemfrequenz des spontan atmenden Patienten!

### Stress, vegetatives System

Schwitzen, Nesteln, motorische Unruhe, Hypertonie und Tachypnoe können sowohl Ausdruck von Stress („Kampf mit dem Beatmungsgerät?“) als auch Ausdruck von Schmerzen und Angstzuständen sein. Nicht selten verbirgt sich hinter diesen Symptomen ein Delir.

### Temperatur

- Fieber (oft Zeichen für eine Infektion) → Stoffwechsel ↑ und Sauerstoffverbrauch ↑
- Hypothermie (oft bei Patienten aus dem OP oder der Notfallambulanz) → Stoffwechsel ↓, Sauerstoffverbrauch ↓ und Kohlendioxidproduktion ↓. Kältezitterern produziert Wärme, benötigt aber viel Energie. Periphere Vasokonstriktion minimiert Wärmeverluste, kann aber hämodynamisch ungünstig sein wegen des erhöhten systemischen vaskulären Widerstands.

### Körperliche Untersuchung

Die körperliche Untersuchung ist ein essenzieller Bestandteil der Überwachung des beatmeten Patienten:

- Herleitung der Indikation für spezielle Überwachungsmaßnahmen
- Einziges Mittel, um bei einem Alarm eines Monitors oder Beatmungsgeräts innerhalb von Sekunden zwischen einem Fehlalarm und einer echten Bedrohung des Patienten zu unterscheiden

### Inspektion

Beobachtung des Patienten für ca. 30Sek. → Informationen über Geschlecht, Alter, Größe, Gewicht, Körperhaltung bzw. Lagerung, Hautfarbe (Zyanose!), Thoraxform und Atemmuster (Atemarbeit!) sowie evtl. über Schmerzen oder Atemnot des Patienten.

**Thoraxform:** Fassthorax (bei COPD), Kyphose, Skoliose, Kyphoskoliose, Kiehlbrust, Trichterbrust, Z.n. medianer Sternotomie oder lateraler Thorakotomie, Thoraxdrainagen, Verbände?

### Atemmuster:

- Physiologische Inspiration: Vorwölbung des Bauchs, dann Seitwärtsbewegung der unteren Rippen und schließlich Hebung des Sternums (passive Ausatmung in umgekehrter Reihenfolge)
- Pathologische Atemformen:
  - Paradoxe Atmung (Einziehung des Bauchs während der Inspiration bei Ausfall der Zwerchfellfunktion)
  - Inverse paradoxe Atmung bei verlegten Atemwegen
  - Respiratorischer Alternans (abwechslndes Überwiegen von Zwerchfell- und Thoraxatmung bzw. periodischer Wechsel von normaler und paradoxer Atmung)
  - Einsatz der in- bzw. expiratorischen Hilfsmuskulatur (exzessive Atemarbeit!)
  - Asymmetrische Thoraxexkursionen
  - Schnelle, flache Atmung, Rapid Shallow Breathing Index ( $f/V_T > 100$ ) :  
 $AF > 30/\text{min}$  und  $V_T < 0,3\text{l}$
  - Extrem langsame und tiefe Atmung
  - Lippenbremse (Ausatmung durch die gespitzen Lippen)
  - Abweichung vom normalen Atemzeitverhältnis (Inspiration : Expiration : Pause = 1 : 1 : 1)
  - Husten
  - Drang, sich aufzusetzen, Atmung nur im Sitzen möglich (Orthopnoe)

### Palpation

Untersuchung durch beidseitiges Auflegen der Handflächen auf den rechten und linken Hemithorax → Prüfung der Symmetrie der Thoraxbewegung und des Stimmfremitus (nur bei nichtintubierten Patienten). Charakteristisches Knistern unter den tastenden Fingern deutet auf ein Hautemphysem hin.

### Perkussion

Abklopfen des Thorax und Beurteilung der erzeugten Schallphänomene. Normalbefund: Sonorer Klopfeschall über dem gesamten Brustkorb. Eine Zunahme des Luftgehalts bewirkt einen hohlen Klang (hypersonorer Klopfeschall bei Emphysem und Pneumothorax), ein verminderter Luftgehalt bewirkt einen dumpfen Klang (abgeschwächter Klopfeschall bei Atelektase, Pneumonie und Pleuraerguss). Vergleichende Perkussion durch systematisches, gleichmäßiges Abklopfen des rechten und linken Hemithorax und Beurteilung der Symmetrie des Klopfeschalls. Abgrenzende Perkussion zur Beurteilung der Zwerchfellverschieblichkeit bei In- und Expiration sowie der Herz- und Leberkonturen.

! Die **Eindringtiefe des Klopfeschalls** beträgt nur ca. 5 cm → bei besonders muskelkräftigen oder adipösen Menschen ist die Lunge mittels Perkussion kaum zu erreichen.

### Auskultation

- Das normale Atemgeräusch ist leise und weich, die Inspiration geht ohne Pause in die Expiration über, von der nur der Beginn zu hören ist (Vesikulär- oder Bläschenatmen).
- Bei Kindern ist das Vesikuläratmen verschärft (pueriles Atmen), bei älteren Menschen abgeschwächt.
- Das Strömungsgeräusch über der Luftröhre ist lauter und rauer als das normale Atemgeräusch (tracheales Atmen).
- Das tracheale Atemgeräusch kann bei einer verbesserten Schallleitung durch Flüssigkeit (Lungenödem) oder Entzündung (Pneumonie) auch über der Lungenperipherie auftreten (Bronchialatmen). Es ist sowohl inspiratorisch als auch expiratorisch zu hören und weist eine Pause zwischen beiden Atemphasen auf.
- Abgeschwächte oder fehlende Atemgeräusche ergeben sich bei der Verlegung größerer Bronchien oder bei aus anderen Gründen nicht belüftetem Lungengewebe (z. B. Atelektase, Pneumothorax, Pleuraerguss).

### Pathologische Nebengeräusche

- Kontinuierliche Nebengeräusche (frühere Begriffe: trockene Nebengeräusche wie Giemen, Pfeifen, Brummen und Schnurren) als Folge einer Strömungs-limitierung durch endo- oder exobronchiale Obstruktion. Auftreten bevorzugt expiratorisch.
- Diskontinuierliche Nebengeräusche (früherer Begriff: feuchte Rasselgeräusche). Grobblasige Rasselgeräusche (laut und niederfrequent) entstehen beim Durchtritt von Luft durch Flüssigkeit in den zentralen Atemwegen (Bronchiektasen, Bronchitis, Sekretretention). Feinblasige Rasselgeräusche ergeben sich bei Obstruktion durch Flüssigkeit in den peripheren Atemwegen oder als Entfaltungsknistern bei Lungenödem, Pneumonie, Atelektase oder Fibrose.
- Atemsynchrone Reibegeräusche sind nur bei trockener Rippenfellentzündung (Pleuritis sicca ohne Erguss) auskultierbar.
- Stridor (auch ohne Stethoskop hörbar!) imponiert als stöhnendes bis pfeifendes inspiratorisches Geräusch. Ursache: Stenose im Larynx- oder Tracheabereich.

### Thorax-Röntgenbild

Indikation beim beatmeten Patienten: weiterführende Diagnostik bei respiratorischer Insuffizienz, Verlaufsbeobachtung von Transparenzminderungen (Atelektase, Erguss, Infiltrat) oder zum Ausschluss einer Komplikation (Pneumothorax) nach einer invasiven Maßnahme (zentraler Venenkatheter, Pleuradrainage). Ergänzung der körperlichen Untersuchung und Unterstützung der Indikationsstellung zu anderen bildgebenden Verfahren wie Thoraxsonografie und Thorax-CT (► Tab. 1.9).

Cave: Es gibt keine Indikation einer „täglichen Routineaufnahme“!

## 1.5.2 Herz-Kreislauf-Monitoring

*U. v. Hintzenstern und S.G. Sakka*

Bei beatmeten Patienten ist ein **kontinuierliches Monitoring** von Herzfrequenz, EKG, Blutdruck,  $s_pO_2$  und expiratorischem Kohlendioxid-Partialdruck essenziell, um festzustellen, ob das Beatmungsgerät entsprechend seiner Einstellungen arbeitet und welche Auswirkungen die Beatmung (neben anderen therapeutischen Maßnahmen) auf die kardiopulmonale Situation des Patienten hat. Alarmauslösung, wenn die gemessenen Größen einen vorgegebenen Bereich verlassen.

Tab. 1.9 Unterschiede zwischen Betaufnahme und Standardtechnik.

Kriterium	Betaufnahme	Standardtechnik (im Stehen)
Zwerchfellstand	Hoch	Tief und flach
Lungenvolumen	Vermindert	Maximal
Herzgröße	Vergrößert	Annähernd korrekt
Lungendurchblutung	Gleichmäßig	Schwerkraftabhängig
Pleuraerguss	Verteilt sich dorsal („Milchglasphänomen“)	Sammelt sich im kostodiaphragmalen Recessus
Atelektase	Meist schwerkraftbedingt dorsal, nicht abgrenzbar	Anatomisch definiert, damit gut abgrenzbar

! **Fehlalarme** können durch Bewegungen des Patienten oder Artefakte ausgelöst werden. Trotzdem darf die Alarmfunktion bei beatmeten Patienten nie abgeschaltet werden! Moderne Monitore verfügen über Alarme mit einer zeitlich begrenzten Unterdrückbarkeit (kann die Ursache der Alarmauslösung nicht in einem definierten Zeitraum behoben werden, so beginnt der Alarm von Neuem). Bei einem „echten“ Alarm kann schnelles und richtiges Handeln für den Patienten lebensrettend sein! Modernes und komplexes Monitoring erfordert gut ausgebildetes Personal und kann bei der frühzeitigen Erkennung und Lokalisierung von Problemen helfen.

### Monitoring des Herz-Kreislauf-Systems bei beatmeten Patienten:

#### ▶ Abb. 1.16

##### ■ Basismonitoring:

- EKG: Steuerung der „4 Pumpen des Herzens“ (siehe unten).
- Pulsoxymetrie: arterielle O<sub>2</sub>-Sättigung (▶ 1.5.3).
- Expiratorische pCO<sub>2</sub>-Messung (▶ 1.5.3).
- Intermittierende, nicht-invasive oder invasiv-arterielle Blutdruckmessung (siehe unten).

##### ■ Widerstände im Herz-Kreislauf-System:

- Pulmonal-vaskulärer Widerstand: Dieser wird aufgrund der Beatmung verändert. Je höher der intrapulmonale Druck, desto größer wird der pulmonal-vaskuläre Widerstand → vom rechten Herzen ist Arbeit zur Überwindung des Gefäßwiderstands im Kreislaufsystem aufzubringen.
- Der systemisch und der pulmonal-vaskuläre Widerstand können sich krankheitsbedingt bzw. durch Medikamentenwirkungen verändern.

##### ■ Zur Abschätzung der Widerstandsveränderungen kann ein **invasives Kreislaufmonitoring** erforderlich sein:

- $R = \Delta p / \dot{V}$  → zur Bestimmung des Widerstands sind der Druck [mbar] vor und hinter dem Widerstand sowie der Volumenstrom [l/s] zu bestimmen.
- Mittels invasiver Blutdruckmessung und Pulmonalkatheter können Messungen des Drucks an vier Punkten und des Volumenstroms an einer Stelle des vereinfachten Herz-/Kreislaufmodells vorgenommen werden → Berechnung des systemisch und pulmonal vaskulären Widerstands.

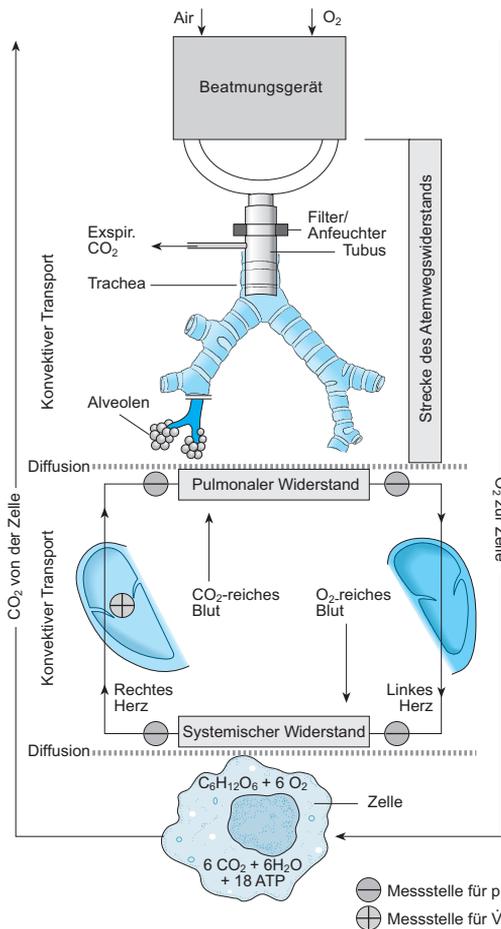
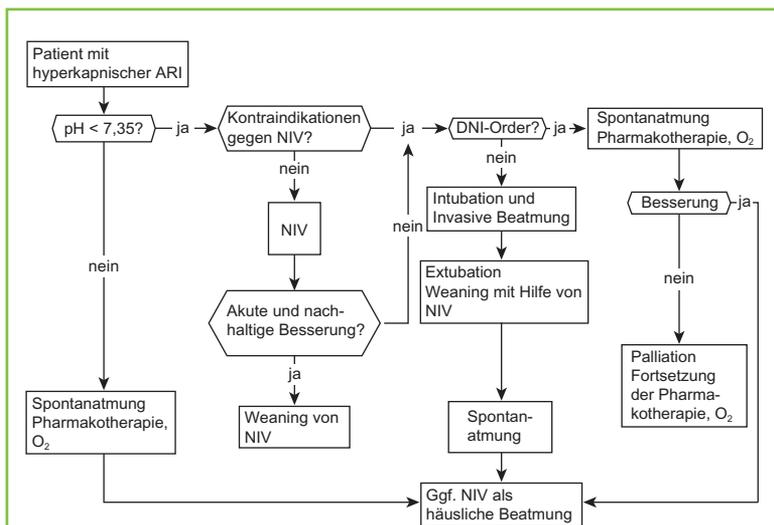


Abb. 1.16 Schema des Herz-Kreislauf-Systems. [L190]

## EKG-Monitoring

Kontinuierliche Ableitung des EKG bei allen beatmeten Patienten zur Früherfassung einer Bradykardie, Tachykardie, Arrhythmie, Myokardischämie (Brustwandableitung V5) oder Schrittmacherfunktionsstörung. Zusätzlich Bestimmung der Atemfrequenz aus atemsynchronen Thoraximpedanzänderungen über die EKG-Elektroden.

- Etwa 50 % aller chirurgischen Patienten zeigen postoperativ Herzrhythmusstörungen. Harmlose Rhythmusstörungen (z. B. Extrasystolie) können Vorboten gefährlicher Störungen sein → Ausschluss möglicher Ursachen wie Elektrolytstörungen oder einer respiratorischen Insuffizienz.



**Abb. 2.16** Algorithmus zur NIV-Anwendung bei hyperkapnischer ARI (aus: S3-Leitlinie *Nicht-invasive Beatmung als Therapie der akuten respiratorischen Insuffizienz* der DGP [2015]). DNI steht für „do not intubate“, d. h. es liegt eine Patientenverfügung vor, die eine Intubation ausschließt. [F740-001]

Atemmuskelpumpe zu entlasten. Die durch NIV maximal applizierbaren Drücke reichen beim Weaning-Versagen in der Regel aus, um einen ausreichenden Gasaustausch zu gewährleisten.

- Bei beginnender Pneumonie/Lungenversagen kann ebenfalls ein Versuch mit CPAP unternommen werden (5–10 mbar). Besonders bei Patienten mit maligner Grunderkrankung, bei denen eine invasive Beatmung aufgrund von Infektionskomplikationen mit einer hohen Letalität einhergeht, ist dieser Versuch indiziert. Bei schwerer Pneumonie/Lungenversagen sind Drücke notwendig, die von einem nicht tief sedierten Patienten unter NIV häufig nicht dauerhaft toleriert werden. Hier ist eine invasive Beatmung über Tubus indiziert.

## Maskenzugang

Nichtinvasive Beatmung kann in der Akutsituation sowohl über eine Nasenmaske wie auch über eine Mund-Nasenmaske (► Abb. 2.17) erfolgen. Für die Befestigung stehen spezielle Maskenhaltebänder zur Verfügung.

- Die Dichtigkeit industriell gefertigter Masken nimmt ab einem Druck von 25 mbar ab, im Einzelfall aber können bei guter Passform bis zu 30 mbar appliziert werden.
- Nasenmasken (► Abb. 2.18) stehen in zahlreichen Ausführungen für die Schlaf-Apnoe-Therapie zur Verfügung. Vorteil: Sie sind angenehmer für den Patienten, da mit geringerem Anpressdruck eine ausreichende Dichtigkeit erzielt wird. Der Patient kann leichter abhusten und kommunizieren. Nachteil: Die nichtinvasive Beatmung ist nur effektiv, wenn der Patient den Mund geschlossen hält und über die Nase atmet. Dies ist bei akuter Luftnot meist nicht der Fall.



Abb. 2.17 Verschiedene Maskentypen für den Einsatz auf der Intensivstation. [M400]



Abb. 2.18 Nichtinvasive Beatmung über Nasenmaske. [M402]

! Aufgrund dieser klinischen Erfahrungen wird häufig eine Mund-Nasenmaske bevorzugt. Wenn der Patient nach Überwindung der Akutphase weiterhin stundenweise nichtinvasive Beatmung erhält, kann auf nasale Beatmung umgestellt werden.

Wenn Nasen- oder Gesichtsmasken aufgrund von Komplikationen (mangelnde Toleranz, Nekrosenbildung) nicht einsetzbar sind, stehen folgende **Alternativen** zur Verfügung:

- Ganzgesichtsmaske, die vor allem bei Patienten mit außergewöhnlichen Gesichtsformen einsetzbar ist. Nachteilig ist der etwas vergrößerte Totraum.
- Beatmungshelme (▶ Abb. 2.19), die ähnlich wie in der Raumfahrt den gesamten Kopf umschließen. Der Helm wird mit dem Ex- und Inspirations-schlauch des Respirators verbunden. Über eine Öffnung ist eine Nahrungsaufnahme über Strohhalm oder Magensonde möglich.



Abb. 2.19 Beatmungshelm. [M402]

Der Vorteil des Helms besteht darin, dass Druckstellen vermieden werden und dass die bei einigen Patienten zu beobachtende Klaustrophobie vermindert wird. Außerdem ist eine verbale Kommunikation während der Beatmung möglich. Neben den hohen Anschaffungskosten schlagen das relativ hohe Totraumvolumen sowie der Lärmpegel im Helm negativ zu Buche.

## Beatmungsgeräte

### Konventionelle Beatmungsgeräte

Nichtinvasive Beatmung kann prinzipiell mit jedem Beatmungsgerät aus dem Bereich der Intensivmedizin durchgeführt werden. Inzwischen bieten viele Hersteller eine spezielle Software-Variante für nichtinvasive Beatmung in Intensivbeatmungsgeräten an.

Besonderheiten:

- Aufgrund des höheren Totraums von Mund-Nasen- und Gesichtsmasken muss das Atemzugvolumen größer gewählt werden als bei invasiver Beatmung.
- Oft ist eine Leckage entlang des Maskenrands nicht vermeidbar → Applikation eines hohen Atemminutenvolumens erforderlich.
- Eine wechselnde Leckagemenge, wie sie z. B. durch Kopfbewegungen oder Mundöffnen entsteht, führt zu starken Schwankungen des Drucks im Beatmungsschlauch, der bei eng eingestellten Druckgrenzen inadäquate Alarmmeldungen des Beatmungssystems auslöst. Die Wahl der Alarmgrenzen muss daher entsprechend weit erfolgen → In der Anfangsphase einer nichtinvasiven Beatmung muss der Patient in jedem Fall eng überwacht und geführt werden.
- Das Risiko, dass zu hohe Atemwegsdrücke verabreicht werden, ist gering, da der Patient auf zu hohe Atemwegsdrücke mit Ablehnung der nichtinvasiven Beatmung, Mundöffnen und Absetzen der Maske reagiert.



**Abb. 2.20** Speziell für die außerklinische Beatmung entwickelte Respiratoren. [M400]

### Spezielle NIV-Geräte

Einfacher in der Anwendung sind Beatmungsgeräte, die speziell für die nicht-invasive Beatmung entwickelt wurden (► Abb. 2.20). Sie besitzen nur einen Inspirations-schlauch, ein maskennahes Ausatemventil und eine auf das Wesentliche beschränkte Monitoreinheit.

#### Vorteile:

- Leichte Handhabung
- Sehr empfindliche Triggerschwellen
- Geringes Gewicht der Beatmungsschläuche
- Vermeidung von Totraum im System
- Gute Leckagekompensation

Die CO<sub>2</sub>-Elimination erfolgt durch Auswaschung über das Ausatemventil. Die Anreicherung mit O<sub>2</sub> geschieht bei der Mehrzahl der derzeit erhältlichen Geräte über einen Adapter in den Atemschlauch.

Eine aktive Anfeuchtung der Atemluft oder die Verwendung von Filtern ist nicht erforderlich. Da der Patient spontan über seine natürlichen Atemwege atmet, ist die Schleimhautfunktion der oberen Atemwege intakt und ausreichend. Außerdem führt die Verwendung von Filtern zu einer weiteren Vergrößerung des Totraums und zu erschwerten Triggerung bei assistierter Beatmung.

### Durchführung der NIV

#### Akutes, kardiogenes Lungenödem

- Methode der Wahl: Bei normo- oder hypokapnischen Patienten CPAP, bei hyperkapnischen Patienten NIV mittels Druckunterstützung der Spontanatmung (Pressure Support Ventilation; PSV).
- Bei CPAP muss ein Druckniveau von 8–10 mbar eingestellt werden, bei NIV haben sich als inspiratorisches Druckniveau (IPAP) 15 mbar bewährt, das schrittweise innerhalb der ersten 10 min bis auf 20 mbar gesteigert werden kann. Expiratorisch (EPAP) sollten mindestens 5 mbar eingesetzt werden.
- Sobald die periphere O<sub>2</sub>-Sättigung (Pulsoxymeter) auf über 90 % angestiegen ist, kann die O<sub>2</sub>-Zufuhr sukzessive reduziert werden. Anschließend kann der

inspiratorische Druck in Schritten von 2 mbar gesenkt werden, solange sich der Patient stabil über 90 % peripherer O<sub>2</sub>-Sättigung hält.

- Die nichtinvasive Beatmung kann meist beendet werden, wenn der Patient unter CPAP von 5 mbar bzw. unter IPAP von 10 mbar und EPAP von 5 mbar über 30 min hinweg eine Sättigung über 90 % aufweist.

### Akutes hyperkapnisches Atemversagen

Diese Patienten sollten möglichst kontrolliert beatmet werden, da bereits die Triggerung eines Beatmungsgeräts mit relevanter Atemarbeit verbunden sein kann. Bei Patienten mit chronischer Atemmuskulaterschwächung, z. B. bei neuromuskulären Erkrankungen oder Posttuberkulosesyndrom, gelingt dies oft leichter als bei Patienten mit kurzzeitiger Atemmuskulaterschwächung wie beim schwierigen Weaning oder Exazerbation einer COPD.

In der Akutsituation wird häufig ein Modus mit Druckvorgabe bevorzugt:

- Beginn in der Regel mit einem assistierten Modus.
- Wenn der Patient sich an die nichtinvasive Beatmung gewöhnt hat, wird nach etwa 5 bis 10 min die Hintergrundatemfrequenz an die tatsächliche Atemfrequenz des Patienten angepasst, indem die „Back-up“-Atemfrequenz des Geräts knapp oberhalb der Eigenfrequenz des Patienten gestellt wird.
- Zielvorstellung: Der Patient lässt sich in den Atemmodus der Maschine „fallen“, stellt seine eigene Atemanstrengung ein und lässt sich von der Maschine beatmen.
- Falls die Adaptation des Patienten an eine kontrollierte Beatmung nicht möglich ist, erfolgt die Beatmung assistiert, wobei ein möglichst empfindlicher Trigger, gepaart mit einem hohen Zugvolumen oder einer entsprechend hohen Druckunterstützung, eingestellt wird, um die Atemarbeit zu minimieren.

### Einsatz von NIV in der Beatmungsentwöhnung und beim respiratorischen Versagen nach Extubation

Wie bei der zuvor beschriebenen akuten Exazerbation der COPD steht auch hier die Erschöpfung der Atemmuskelpumpe im Vordergrund, die Beatmungsmodi sind entsprechend zu wählen (siehe oben).

Für den Einsatz von NIV nach Extubation gibt es zwei prinzipiell unterschiedliche Strategien:

- Sofort nach Extubation, prophylaktisch zur Vermeidung eines respiratorischen Versagens bei Hochrisikopatienten, bei Patienten nach großen abdominalen und gefäßchirurgischen Eingriffen, bei Patienten mit herzchirurgischen, thoraxchirurgischen und neurochirurgischen Eingriffen sowie bei Patienten mit vorbestehender respiratorischer Insuffizienz. CPAP dürfte bei nicht hyperkapnischen Patienten für diese Form der Prophylaxe ausreichen, wobei der Druck auf jeden Fall höher als 5 mbar gewählt werden muss, um einen Effekt nachzuweisen.
- Patienten, bei denen in den Stunden nach Extubation unter Spontanatmung ein erneutes respiratorisches Versagen zu beobachten ist. Neben dem Versagen der Atempumpe spielt hier eine Dys-/Atelektasenbildung mit Auftreten eines intrapulmonalen Rechts-links-Shunts eine zusätzliche Rolle. CPAP scheint bei normokapnischen Patienten ausreichend. Ist jedoch ein Anstieg des pCO<sub>2</sub> zu beobachten, muss NIV gewählt werden. Die Geräteeinstellung entspricht der beim akuten Lungenödem beschriebenen Auswahl.

### Monitoring

Nichtinvasive Beatmung ist in der ersten Stunde nach Beginn arbeitsintensiv und erfordert die ständige Anwesenheit einer Pflegekraft. Mit zunehmender Dauer nimmt der Arbeitsaufwand kontinuierlich ab.

Entscheidend bei NIV ist das Anpassen der Beatmung an die Bedürfnisse des Patienten. Wesentliche Parameter sind dabei der Einsatz der Atemhilfsmuskulatur und ein synchrones Atemmuster unter nichtinvasiver Beatmung, die nicht durch apparative Methoden, sondern nur durch Beobachten des Patienten erfasst werden können.

Ziel von NIV ist die Beseitigung der Hypoxie, die in der Regel zuverlässig mittels Pulsoxymetrie überwacht werden kann, und der Hyperkapnie, die durch engmaschige Blutgasanalysen kontrolliert werden muss. Vitalparameter (Blutdruck, Herzfrequenz und Atemfrequenz) müssen in der Akutphase kontinuierlich überwacht werden.

### Fehlermöglichkeiten bei der Beatmungseinstellung

Wenn die nichtinvasive Beatmung keine Verbesserung der respiratorischen Situation herbeiführt, muss zunächst ein technischer Defekt ausgeschlossen werden, z. B.:

- Fehlendes Ausatemventil hinter der Maske → Erhöhung des Atemwegswiderstands und zunehmende Überblähung des Patienten → CO<sub>2</sub>-Retention.
- Große Leckage. Maskensitz überprüfen. Befestigung zu locker? Falsche Maske (zu groß)?
- Diskonnektion von Maske und Beatmungssystem.
- Beatmungsgerät und Patient arbeiten gegeneinander. Mögliche Gründe: zu niedriger inspiratorischer Druck, Dissoziation der Atemzyklen von Patient und Beatmungsgerät, zu niedriger oder zu hoher expiratorischer Druck, zu niedriger inspiratorischer Fluss, zu unempfindlicher Trigger.
- Zu niedriges Atemminutenvolumen. Gerade bei Patienten mit COPD sind die Überwindung der Hypoventilation und der Ausgleich der Hyperkapnie oberste Ziele, was nur durch hohe Atemminutenvolumina gewährleistet werden kann.

### Abbruchkriterien

NIV ist kein Ersatz, sondern eine Ergänzung zur konventionellen Beatmung. Sie kann deshalb nur dort durchgeführt werden, wo invasive Beatmungsmöglichkeiten verfügbar sind. Es ist notwendig, genaue Kriterien für den Übergang von NIV zu invasiver Beatmung zu definieren, um den Patienten nicht durch zu lange insuffiziente Maskenbeatmung zu gefährden (► Tab. 2.2).

### Vorteile nichtinvasiver Beatmung

- Keine oder nur geringe Sedierung erforderlich, daher seltener unerwünschte Nebenwirkungen wie Magen-Darm-Atonie, Kreislaufdepression und Entzugssymptomatik.
- Beendigung der Beatmung nach Besserung der respiratorischen Situation, daher kein Weaning notwendig.
- Die natürliche Barrierefunktion der Schleimhaut des oberen Atemwegstrakts bleibt erhalten → Verminderung der Inzidenz von nosokomialen Infektionen.
- Der Patient kann kommunizieren, kann besser mobilisiert werden und aktiv an seinem Behandlungsprozess teilnehmen.

Tab. 2.2 Abbruchkriterien für nichtinvasive Beatmung.

Zeitraum	Situation
Innerhalb von 15 min	Keine Verbesserung von peripherer Sättigung und/oder arterieller BGA.
Innerhalb von 2 h	Nach anfänglicher Verbesserung bleibt die arterielle BGA konstant auf pathologischem Niveau.
Im Verlauf	Unter nichtinvasiver Beatmung tritt eine neuerliche respiratorische Verschlechterung ein, die nicht durch Änderung der NIV-Parameter kurzfristig beherrscht werden kann.
Im Verlauf	Schwerer Sekretverhalt.

### Nachteile nichtinvasiver Beatmung

- In Abhängigkeit von Anwendungsdauer und Maskendruck entwickeln die Patienten Druckstellen auf dem Nasenrücken → ggf. Beendigung der nichtinvasiven Beatmung erforderlich.
- Vereinzelt klagen die Patienten über eine Überblähung des Magens, da der erhöhte Atemwegsdruck bei niedrigem Sphinktertonus zu „Luftverschlucken“ führt.
- Die meisten Patienten empfinden in den ersten Minuten der nichtinvasiven Beatmung subjektiv eine Zunahme ihrer Luftnot, ohne dass dies plausibel begründet werden kann. Dies verschwindet in der Regel, sobald der Patient mehrere effektive Atemzüge über die Maske durchgeführt hat.

### Kontraindikationen nichtinvasiver Beatmung

#### Absolut:

- Fehlende Kooperation des Patienten aufgrund neurologischer oder psychiatrischer Störungen
- Deutliche Bewusstseinsminderung des Patienten
- Fehlende Schluck- und Hustenreflexe
- Schocksymptomatik jeder Art
- Maligne Herzrhythmusstörung

#### Relativ:

- Sekretverhalt → ggf. Therapieversuch mittels Bronchoskopie. Wenn mehr als zwei Bronchoskopien pro Tag erforderlich sind, ist eine Fortsetzung der nichtinvasiven Beatmung nicht sinnvoll und eine (Re-)Intubation sollte durchgeführt werden.

Tab. 7.3 Handlungsoptionen zur Verbesserung des Gasaustauschs bei SHT und ARDS.

Maßnahme	Ziel	Assoziierte Probleme
PEEP-Erhöhung, z. B. auf 14 cm H <sub>2</sub> O	Rekrutierung von Lungenparenchym, Verbesserung der Oxygenierung	ICP-Anstieg möglich
Angepasste Reduktion von V <sub>T</sub> auf 350 ml	Lungenprotektion	Hyperkapnie, Azidose → ICP-Anstieg möglich
Beatmung in Bauchlage > 12 h	Lungenprotektion, Verbesserung der Oxygenierung	ICP-Anstieg während Bauchlagerung möglich

### Problemlösung

Handlungsoptionen ▶ Tab. 7.3

Erhöhung des PEEP auf 14 cm H<sub>2</sub>O führt zum ICP-Anstieg (20 mbar) → Entscheidung zur Bauchlagerung mit erhöhtem Oberkörper (20°). Reduktion von V<sub>T</sub> auf 350 ml, Erhöhung der AF auf 22/min.

### Beatmungseinstellung

- F<sub>i</sub>O<sub>2</sub> = 0,4
- PEEP = 10 mbar
- p<sub>insp</sub> = 30 mbar
- V<sub>T</sub> = 350 ml
- AF = 22/min
- I:E = 1:1
- AMV = 7,7 l/min

### Blutgaswerte

- p<sub>a</sub>O<sub>2</sub> = 84 mmHg
- S<sub>a</sub>O<sub>2</sub> = 96 %
- p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> = 38 mmHg
- pH = 7,39

## 7.4 Beatmungseinstellung beim akuten Lungenversagen während ECMO-Therapie

T. Bein

### Situation

Eine 44-jährige Frau mit Typ-I Diabetes erleidet ein schwerstes akutes Lungenversagen auf dem Boden einer H1N1-Influenza-Pneumonie. Sie wird kontrolliert beatmet, unter Ausschöpfung aller Behandlungsmöglichkeiten bleibt sie schwer hypoxämisch (s<sub>a</sub>O<sub>2</sub> < 80 %), das Thorax-CT zeigt einen fast vollständigen Kollaps des Lungengewebes (▶ Abb. 7.5), sodass eine veno-venöse ECMO-Therapie begonnen wird.

### Beatmungseinstellung vor ECMO

- F<sub>i</sub>O<sub>2</sub> = 1,0
- PEEP = 18 mbar
- p<sub>insp</sub> = 40 mbar
- V<sub>T</sub> = 450 ml
- AF = 22/min

- I:E = 1:1
- AMV = 7,2l/min

#### Blutgaswerte vor ECMO

- $p_aO_2 = 49$  mmHg
- $S_aO_2 = 79$  %
- $p_aCO_2 = 61$  mmHg
- pH = 7,21

#### Problemlösung

ECMO-Therapie mit veno-venöser Kanülierung (V. femoralis/V. jugularis interna) und folgenden

#### Einstellungen:

- Extrakorporaler Blutfluss = 3,2l/min
- ECMO- $F_iO_2 = 1,0$
- $O_2$ -Sweep-Gasfluss = 8l/min

#### Beatmungsstrategie:

- Reduktion von  $V_T$  auf ein (supra-)lungenprotektives Level
- Reduktion der AF < 18/min
- Ausreichend hoher PEEP

#### Ziele der Beatmung unter ECMO:

- Ausreichende Oxygenierung ( $S_aO_2 \geq 90$  %)
- Moderate Hyperkapnie ( $p_aCO_2 \leq 50$  mmHg, pH  $\geq 7,25$ )
- Maximale Lungenprotektion
- Frühzeitiger Beginn unterstützter Spontanatmung  $\geq 72$  h nach ARDS-Beginn

#### Beatmungseinstellung während ECMO

Volumenkontrollierte Beatmung mit:

- $F_iO_2 = 0,6$
- PEEP = 12 mbar
- $p_{insp} = 28$  mbar
- $V_T = 320$  ml
- AF = 15/min
- I:E = 1:1
- AMV = 4,8l/min

#### Blutgaswerte während ECMO

- $p_aO_2 = 86$  mmHg
- $S_aO_2 = 94$  %
- $p_aCO_2 = 49$  mmHg
- pH = 7,31

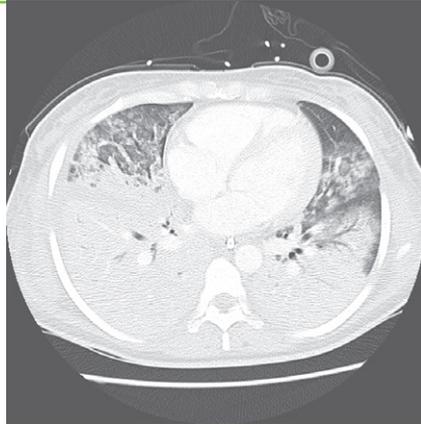


Abb. 7.5 Thorax-CT: fast vollständiger Kollaps des Lungengewebes unter massiver H1N1-Influenza. [M396]

## 7.5 Schwierige Entwöhnung

S.G. Sakka

#### Situation

74-jähriger männlicher Patient nach elektiver Nabelhernienplastik und Bauchwandrekonstruktion mit Netzeinlage (Sublaytechnik) bei Nabelhernie und supraumbilikalener

Rektusdiastase (ca.  $4 \times 15$  cm). *Vorerkrankungen:* Koronare 3-Gefäßerkrankung mit dualer Thrombozytenfunktionshemmung nach Einlage eines Drug-Eluting-Stents, COPD bei zentrilobulärem Lungenemphysem, Morbus Parkinson.

Nach zunächst unkompliziertem Verlauf abdominale Nachblutung (Bauchdeckenhämatom) mit Transfusionspflichtigkeit und Entwicklung einer respiratorischen Insuffizienz → NIV-Unterstützung. Operative Revision am Tag 7. Postoperative Aufnahme auf die Intensivstation bei Vasopressor- und Beatmungspflichtigkeit.

### Beatmungseinstellung

Druckkontrollierte Beatmung mit:

- $F_iO_2 = 0,6$
- PEEP = 8 mbar
- $p_{insp} = 17$  mbar über PEEP
- $V_T = 465$  ml (ideales Körpergewicht 79 kg)
- I:E = 1:1,5
- AF = 18/min
- AMV = 8,4 l/min

### Blutgaswerte

- $p_aO_2 = 80$  mmHg
- $p_aCO_2 = 57$  mmHg
- $HCO_3^- = 33,1$  mmol/l
- pH = 7,37

### Problematik

Wie am Bikarbonat ablesbar, lagen demnach bereits im Vorfeld kompensatorische Mechanismen zur Aufrechterhaltung eines physiologischen pH-Werts bei Hyperkapnie vor. Im Rahmen einer Pneumonie (K. pneumoniae) kommt es zu einer zunehmenden Hyperkapnie mit Azidose. Vor dem Hintergrund der vorbekannten lungenstrukturellen Erkrankung (▶ Abb. 7.6) entwickelt sich ein erhöhter respiratorischer Aufwand.

### Problemlösung

Erhöhung des  $p_{insp}$  und der Atemfrequenz. Hierunter Normokapnie, ausgeglichene BGA.

### Beatmungseinstellung

Druckkontrollierte Beatmung mit:

- $F_iO_2 = 0,4$
- PEEP = 8 mbar
- $p_{insp} = 20$  mbar über PEEP
- $V_T = 470$  ml
- I:E = 1:1,5
- AF = 22/min
- AMV = 10,3 l/min

### Blutgasanalyse

- $p_aO_2 = 85$  mmHg
- $p_aCO_2 = 52$  mmHg
- pH = 7,39



**Abb. 7.6** Thorax-CT eines Patienten mit Pneumonie bei vorbestehender COPD. [T612]

**Verlauf**

Nach Beginn einer adäquaten Therapie der Pneumonie mit Piperacillin/Tazobactam erfolgt am 3. Tag die Extubation. Allerdings bleibt die anschließende NIV-Therapie frustan → Reintubation 10 Stunden nach der Extubation. Der Morbus Parkinson und ein ausgeprägtes postoperatives Delir erschweren den weiteren Verlauf. Am Tag 7 nach der Reintubation erfolgt komplikationslos die perkutan-dilatative Tracheotomie. Schrittweises Abtrainieren vom Respirator, Verlegung auf eine Weaning-Station.

**7.6 Pneumonie bei Adipositas per magna**

S.G. Sakka

**Situation**

43-jährige Patientin (BMI 48,8 kg/m<sup>2</sup>) wird von einem externen Krankenhaus nach einem zerebralen Infarkt mit Hemiparese aufgrund eines großen Sacraldekubitus zugewiesen. Sie ist primär wach, adäquat und unter Gabe von 4 l O<sub>2</sub>/min via Nasenonde respiratorisch suffizient. Die Patientin wird operiert. Im Wundabstrich finden sich *K. pneumoniae*, *E. coli* und *Proteus mirabilis* (sämtlich Piperacillin/Tazobactam empfindlich). Zwei Tage später wird die Patientin respiratorpflichtig.

**Beatmungseinstellung**

Druckkontrollierte Beatmung mit:

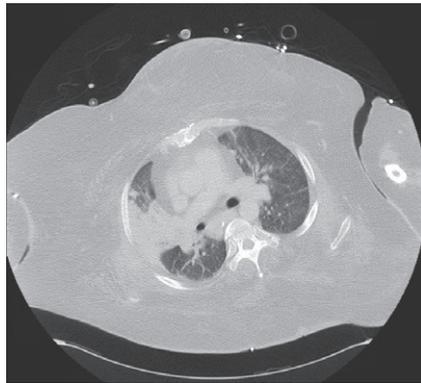
- F<sub>i</sub>O<sub>2</sub> = 0,7
- PEEP = 8 mbar
- p<sub>insp</sub> = 20 mbar über PEEP
- V<sub>T</sub> = 325 ml (ideales Körpergewicht 52 kg)
- I:E = 1:2
- AF = 20/min
- AMV = 6,5 l/min

**Blutgaswerte**

- p<sub>a</sub>O<sub>2</sub> = 95 mmHg
- p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> = 55 mmHg
- HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> = 30,6 mmol/l
- pH = 7,35

**Problematik**

Nach Intubation bei schwierigem Atemweg erfolgt eine CT, diese erbringt eine Pneumonie (▶ Abb. 7.7). Mikrobiologisch erfolgt im Trachealsekret der Nachweis von *Pseudomonas aeruginosa* (Piperacillin- und Cephalosporin-Resistenz). Nach 8-tägiger Gabe von Ciprofloxacin wird die anti-infektive Therapie beendet.



**Abb. 7.7** Thorax-CT einer Patientin mit Pneumonie und Adipositas per magna. [T612]

**Problemlösung**

Veränderung der Beatmungseinstellung als druckkontrollierte Beatmung mit:

- $F_iO_2 = 0,6$
- PEEP = 8 mbar
- $p_{insp} = 20$  mbar über PEEP
- $V_T = 325$  ml (ideales Körpergewicht 52 kg)
- I:E = 1:2
- AF = 20/min
- AMV = 6,5 l/min

**Blutgaswerte**

- $p_aO_2 = 95$  mmHg
- $p_aCO_2 = 53$  mmHg
- $HCO_3^- = 30,6$  mmol/l
- pH = 7,37

**Verlauf**

Die Patientin wird aufgrund der neurologischen Symptomatik und Adipositas per magna plastisch tracheostomiert. Die Entwöhnung vom Respirator gelingt, allerdings entwickelt die Patientin bei Abszedierung in die Oberschenkel mit erneuten operativen Eingriffen eine erneute Pneumonie (Nachweis 4MRGN Pseudomonas aeruginosa), so dass eine Therapie mit Colistin und hochdosiert Meropenem erfolgt. Nach plastischer Deckung des sakralen Defekts mittels Lappenchirurgie kann die Patientin schrittweise vom Respirator entwöhnt und letztlich spontan atmend via Trachealkanüle (extraläng bei Tracheomalazie) an der „feuchten Nase“ in eine Rehabilitationseinrichtung verlegt werden.

## 7.7 Akutes Lungenödem nach anaphylaktischem Schock

S.G. Sakka

**Situation**

Ein 55-jähriger Mann erleidet im Rahmen von Gartenarbeiten einen Wespenstich. Er klagt unmittelbar über neurologische Symptome und Atemnot. Der Notarzt verabreicht Adrenalin i. m., Prednisolon und Ranitidin i. v. Während des Transports ins Krankenhaus erhält der Patient 2.000 ml kristalline Infusionslösung über zwei periphere Venenzugänge.

Bei Aufnahme besteht eine respiratorische Insuffizienz ( $s_pO_2$  80 % unter 8 l  $O_2$ /min über eine Maske), der Patient ist kreislaufinsuffizient (Herzfrequenz 140/min, RR 85/45 mmHg) und bewusstseinsgetrübt. Er wird orotracheal intubiert und bei Vasopressorpflichtigkeit mit einem Zentralvenenkatheter (linke V. jug. interna) versorgt. Das unmittelbar danach angefertigte Röntgenbild des Thorax zeigt ein **Lungenödem** (► Abb. 7.8).

**Beatmungseinstellung**

Druckkontrollierte Beatmung mit:

- $F_iO_2 = 0,6$
- PEEP = 12 mbar
- $p_{insp} = 22$  mbar über PEEP

- $V_T = 300 \text{ ml}$
- I:E = 1:1,5
- AF = 18/min
- AMV = 5,4l/min

#### Blutgaswerte

- $p_a\text{O}_2 = 83 \text{ mmHg}$
- $p_a\text{CO}_2 = 59 \text{ mmHg}$
- $\text{pH} = 7,33$

#### Problematik

Flüssigkeitsextravasation mit respiratorischer Azidose bei deutlicher Abnahme der statischen Compliance auf 30 ml/mbar.

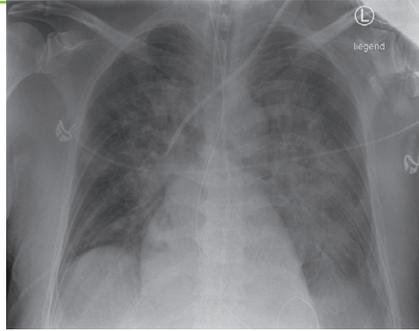


Abb. 7.8 Röntgen-Thorax: Lungenödem. [T612]

#### Problemlösung

Es erfolgt die Anlage eines femoralarteriellen PiCCO™-Katheters zur differenzierten Volumen- und Katecholamintherapie. Die Messwerte zeigen ein erhebliches Kapillarleck, wie am extravaskulären Lungenwasser (23 ml/kg) abzulesen ist. Es erfolgt eine Erhöhung des PEEP und  $P_{\text{insp}}$ .

#### Beatmungseinstellung

Druckkontrollierte Beatmung mit:

- $F_i\text{O}_2 = 0,5$
- PEEP = 13 mbar
- $P_{\text{insp}} = 26 \text{ mbar}$  über PEEP
- $V_T = 400 \text{ ml}$
- I:E = 1:1,5
- AF = 20/min AMV = 8,0l/min

#### Blutgaswerte

- $p_a\text{O}_2 = 95 \text{ mmHg}$
- $p_a\text{CO}_2 = 53 \text{ mmHg}$
- $\text{HCO}_3^- = 30,6 \text{ mmol/l}$
- $\text{pH} = 7,37$

#### Verlauf

Im Rahmen der Behandlung wird das Konzept der permissiven Hyperkapnie verfolgt. Unter aggressivem Flüssigkeitsentzug durch forcierte Diurese gelingt die Extubation am Tag 5 nach der Aufnahme.

## 7.8 COPD

T. Köhnlein

#### Situation

Bei einem 63-jährigen Patienten mit langjähriger Raucheranamnese kam es in den letzten Monaten wiederholt zu Exazerbationen. Bekannt sind eine schwere KHK, arterielle Hypertonie, Adipositas und Diabetes mellitus.

Während Spontanatmung zeigt der Patient eine hochgradige Ruhedyspnoe, Orthopnoe, massiven Husten und putriden Auswurf. Pektanginöse Beschwerden bestehen nicht. Auskultatorisch sind ein spastisches Atemgeräusch und grobblasige RG über der

gesamten Lunge zu hören. Der Patient ist hyperten und tachykard (RR 170/100 mmHg, Puls 112/min), die Atemfrequenz liegt bei 31/min,  $s_pO_2 = 83\%$  unter 4l  $O_2$ /min.

#### Kapilläre Blutgaswerte

- pH = 7,32
- $pO_2 = 59$  mmHg
- $pCO_2 = 56$  mmHg
- $HCO_3^- = 38,1$  mmol/l
- BE = -7 mmol/l

#### Problematik

- Akute Exazerbation der bekannten COPD, DD zusätzlich Pneumonie
- Atemmuskelpumpen-Schwäche bei COPD und langjährigem Lungenemphysem, jetzt dekompensiert

#### Problemlösung

**Handlungsoptionen.** Abwägung: Intubation sichert Atemweg und Beatmung, erlaubt rasche Sekretelimination aus den Atemwegen, ist jedoch mit hohem nosokomialen Infektionsrisiko und Weaning-Problemen verbunden. Nichtinvasive Beatmung mit ähnlichem Beatmungseffekt, jedoch deutlich niedrigerem Risiko für weitere Infekte, kein Weaning, jedoch erschwerte Sekret-Clearance.

#### Beatmungseinstellung

- Nichtinvasive Beatmung als primärer Beatmungsversuch. Mund-Nasenmaske, Ganzgesichtsmaske oder Beatmungshelm.
- Beatmungsmodus: druckunterstützt, assistiert oder assistiert/kontrolliert:
  - $p_{\text{insp}}$  langsam bis ca. 25 mbar steigern.
  - $p_{\text{exp}}$  6–10 mbar.
  - Mindestfrequenz anfangs 31/min (entspricht kontrollierter Beatmung), später Reduzierung mit klinischer Besserung, „steiler“ Anstieg der Inspirationsflanke (0,1 Sek.).
- Sauerstoffanteil: initial 50 %, sobald  $s_aO_2$ -Besserung → rasche Reduktion der  $O_2$ -Gabe, Sättigungsziel: 90 %.
- Beatmungsbeginn sofort nach klinischen Kriterien, auch vor dem Vorliegen von Blutgaswerten.
- Die Beatmung unterstützt sowohl die Ventilation als auch die Hämodynamik (Vorlast- und Nachlastsenkung).
- Engmaschige Überwachung des Patienten: Bei stagnierend schlechten Blutgasen, schlechter Kooperation oder Bewusstseinsminderung muss auf invasive Beatmung umgestiegen werden.
- Nach Vorliegen von Röntgenbild und Laborergebnissen ggf. verzögerungsfreier Beginn einer Antibiotikatherapie, zusätzlich zu antiinflammatorischer und inhalativer bronchodilatativer Therapie.

## 7.9 Asthma bronchiale

*T. Köhnlein*

#### Situation

Eine 32-Jährige mit bekanntem, häufig nicht-kontrolliertem Asthma bronchiale, Raucherin, klagt über Husten, schaumigen und teilweise auch purulenten Auswurf, Fieber bis 38,7°C und progrediente Ruhedyspnoe seit einigen Tagen.

Die Atemfrequenz unter Spontanatmung liegt bei 35/min, die Patientin zeigt eine Ortho- und erhebliche Ruhedyspnoe, expiratorisches Giemen und verlängertes Expirium. RR = 171/105 mm Hg, Puls = 119/min.

Blutgaswerte (kapillär bei Raumlufatmung)

- $p_aO_2 = 56,3$  mmHg
- $p_aCO_2 = 27,2$  mmHg
- pH = 7,601
- $HCO_3^- = 16,4$  mmol/l
- BE = 3,04 mmol/l

### Problematik

- Akute, wahrscheinlich infektbedingte Exazerbation des bekannten Asthmas
- Respiratorische Dekompensation

### Problemlösung

#### Handlungsoptionen:

- Sofortiger Beatmungsbeginn, um Erschöpfung der Atemmuskelpumpe zu vermeiden.
- Nichtinvasive Beatmung als primäre Therapieoption.
- Beatmung mit Druck-Vorgabe, initial versuchsweise kontrolliert. Für wache oder nur gering sedierte NIV-Patienten ist eine assistierte Beatmung häufig besser tolerierbar.

#### Beatmungseinstellung

- NIV mit Mund-Nasen- oder Ganzgesichtsmaske.
- $p_{insp}$  bis ca. 20 mbar steigern,  $p_{exp}$ : 4–6 mbar, Mindestfrequenz anfangs 35/min, nach wenigen Minuten effektiver Beatmung Reduktion und Orientierung an der Eigenatemfrequenz. „Steiler“ Anstieg der Inspirationsflanke (0,1 Sek.).
- Sauerstoffgabe mit initial 50 %, sobald  $s_aO_2$ -Besserung erfolgt ist → rasche Reduktion der  $O_2$ -Gabe, Sättigungsziel: 90 %.
- Engmaschige Überwachung der Patientin: Bei stagnierend schlechten Blutgasen, schlechter Kooperation oder Bewusstseinsminderung muss eine invasive Beatmung erwogen werden.
- Verzögerungsfreier Beginn einer antiinflammatorischen und inhalativen bronchodilatativen Therapie, bei Nachweis von relevanter Infektion auch empirische Antibiotika-Therapie.

## 7.10 Akute respiratorische Insuffizienz unklarer Ursache

*G. Laier-Groenewald*

### Situation

Ein 63-jähriger zyanotischer Patient wird von zu Hause mit dem Notarzt eingeliefert, grob orientiert, reagiert aber sehr verlangsamt. Kein Arztkontakt in den letzten 15 Jahren.

### Blutgasanalyse

- $pO_2 = 55$  mmHg (mit Sauerstoff)
- $pCO_2 = 86$  mmHg,

# Erhältlich in Ihrer Buchhandlung oder im Elsevier-Webshop



Von den anatomischen und physiologischen Grundlagen über die unterschiedlichen Beatmungsformen bis zu Besonderheiten in Anästhesie und auf der Intensivstation – erfahren Sie alles über das Angstthema Beatmung. Fallbeispiele schildert verschiedene Patientenfälle und bieten Lösungsvorschläge für komplexe Situationen.

Der Schwerpunkt liegt auf der Darstellung der praktischen Durchführung der Beatmung. Zahlreiche praktische Tipps zeigen Ihnen, worauf es ankommt und geben so Sicherheit. Extra-Kapitel gehen auf die speziellen Themen wie „Beatmung bei Kindern“ und „Pflege“ ein.

Die neue Auflage mit neuer Gliederung der Themen und neu:

Verfahren der intraoperativen Atemwegssicherung / Beatmung in der Intensivmedizin / Koniotomie / Beatmung in besonderen Fällen / Beatmung bei (schwer) adipösen Patienten / Beatmung bei exazerbierter chronisch-obstruktiver Lungenerkrankung (COPD) / Prinzipien der Beatmung in Schockraum oder Notaufnahme / Beatmung bei akuten zerebralen Läsionen.

## Praxisbuch Beatmung

7. Aufl 2019. 210 S., 100. Abb., kt.

ISBN: 9783-437-23414-9 | € [D] 39,- / € [A] 40,10,-



ELSEVIER

elsevier.de

Empowering Knowledge