

Tag 3 – Intensivmedizin und Notfallmedizin

2 Intensivmedizin

M. Brozowski, A. Follmann, M. Tang, A. Zilkens

2.1 Monitoring – 116

- 2.1.1 Grundlagen – 116
- 2.1.2 EKG-Überwachung – 116
- 2.1.3 Blutdruck – 117
- 2.1.4 Sauerstoffsättigung – 117
- 2.1.5 Zentralvenöser Druck (ZVD) – 118
- 2.1.6 Pulmonalarterieller Druck – 118
- 2.1.7 Überwachung der Beatmung – 120
- 2.1.8 Intrakranieller Druck (ICP) – 120
- 2.1.9 Intraabdomineller Druck (IAP) – 121

2.2 Beatmung – 121

- 2.2.1 Klinische Anwendung – 121
- 2.2.2 Grundlagen der Beatmung – 121
- 2.2.3 Beatmungsparameter – 125
- 2.2.4 Beatmungsinduzierte Lungenschäden
und lungenprotektive Beatmung – 128
- 2.2.5 Entwöhnung von der Beatmung (Weaning) – 129

2.3 Ausgewählte Krankheitsbilder – 130

- 2.3.1 Störungen der Atem-Funktion – 130
- 2.3.2 Störungen der Herz-Kreislauf-Funktion – 133
- 2.3.3 Störungen des Wasser- und Elektrolythaushaltes – 136
- 2.3.4 Störungen des Säure-Base-Haushaltes – 137
- 2.3.5 Akutes Nierenversagen – 139
- 2.3.6 Akutes Leberversagen – 140
- 2.3.7 Traumatologische Krankheitsbilder – 141

2.4 Sepsis – 145

- 2.4.1 Epidemiologie und Letalität – 145
- 2.4.2 Definitionen – 146
- 2.4.3 Therapeutisches Vorgehen – 146
- 2.4.4 Volumentherapie – 148

Tag 3

2

>Memo

Intensivpatienten sind in besonderem Maße durch Herzrhythmusstörungen gefährdet.

2.1 Monitoring

A. Follmann

2.1.1 Grundlagen

- Sämtliche relevanten Organsysteme, vor allem Herz-Kreislauf-Funktion und Atmung, sind bei intensivmedizinischen Patienten kontinuierlich apparativ und ggf. laborchemisch zu überwachen und dokumentieren.
- Unerlässlich bleibt eine ausführliche klinische Untersuchung (mindestens 2-mal pro Tag).
- Je stärker ein Organsystem in seiner Funktion eingeschränkt ist umso engermaschiger und intensiver muss die entsprechende Überwachung sein.
- Zum Basismonitoring gehören neben der Überwachung der Herz-Kreislauf-Funktion über EKG-Ableitung und Blutdruckmessung die kontinuierliche Bestimmung der Sauerstoffsättigung im Blut.

2.1.2 EKG-Überwachung

- Kontinuierliche Überwachung ist unverzichtbar für die Erkennung von
 - Herzfrequenzänderungen
 - Arrhythmien
 - Schrittmacherdysfunktionen
 - Koronarischämien
- Wichtige Dispositionsfaktoren sind
 - KHK
 - Myokardinfarkt
 - Lungenembolie
 - Störungen des Elektrolyt- und Säure-Basen-Haushalts
- Für eine Routineüberwachung reicht meist die Brustwandableitung mit drei Elektroden:
 - ROT: zweiter ICR medioclavikular rechts
 - GELB: zweiter ICR medioclavikular links
 - GRÜN: sechster ICR medioaxillar links
- Elektronische Rhythmusmodule erkennen, analysieren und speichern arrhythmische und brady- oder tachykarde Herzaktionen
- Eine digitale ST-Streckenanalyse macht Ischämiereaktionen im Trend erkennbar.
- Störungen sind meist den Elektroden oder auch Artefakten durch Bewegungen (Muskelaktionen) des Patienten zuzuordnen.

2.1.3 Blutdruck

Tag 3

Nichtinvasiv

- Methode nach Riva-Rocci: Bestimmung der Korotkoff-Töne
- Oszillometrische Messtechnik
 - Beginn der Oszillationen (Gefäßwandschwingungen) nach Ablassen des Manschettendrucks ist als systolischer Blutdruck festgelegt
 - Maximum der Oszillationen entspricht dem mittleren arteriellen Druck (MAP)
- Druckmessung mit Hilfe der Doppler-Technik
- Fingerplethysmographie: Bestimmung von Volumenpulsationen über einen Fotosensor

Invasiv

- Messung mit Drucksensoren über einen arteriellen Katheter (meist A. radialis oder A. femoralis in der Leiste)
- 20-G-Katheter wird über Seldinger-Technik in Arterie eingebracht
- erlaubt zusätzlich regelmäßige arterielle Blutentnahmen zur Blutgasanalyse
- kontinuierliche Messung bei hämodynamisch instabilen Patienten (v. a. bei Katecholamintherapie)
- Beurteilung der Druckkurve ermöglicht eine qualitative Aussage über die hämodynamische Situation

2.1.4 Sauerstoffsättigung

- Zur Beurteilung der Sauerstoffversorgung von Intensivpatienten werden folgende Parameter erhoben:
 - Hämoglobinkonzentration (laborchemisch)
 - Sauerstoffsättigung des Hämoglobins
 - Sauerstoffpartialdruck im arteriellen und gemischtvenösen Blut (siehe Säure-Basen-Haushalt)
 - Herzzeitvolumen
 - Laktat

Pulsoxymetrie

- Normwert: 96 - 98%
- I. d. R. Zweiwellenpulsoxymeter mit Sensoren, die an Finger (Fingerclip), Ohr oder Nase anzubringen sind
- misst nichtinvasiv den Anteil des oxygenierten Hämoglobins (in %)
- Messprinzip der Spektrofotometrie: Absorptionsunterschied von Licht mit einer Wellenlänge zwischen 650 und 690 nm zwischen oxygeniertem und desoxygeniertem Hämoglobin
- Häufig zwei Messmethoden miteinander verknüpft: Pulsoxymetrie und Fingerplethysmographie (► Abschn. 2.1.3)

Tag 3**! Cave**

Hohe Konzentrationen von Kohlenmonoxidhämoglobin können eine falsch hohe Sauerstoffsättigung vortäuschen

Peripher

- Blutgasanalyse aus periphervenösem Blut
- Ungeeignet zur Beurteilung von pO_2 und pCO_2 (abhängig von lokaler Perfusion)

Zentral-venös

- Blutgasanalyse aus zentraler Vene (meist V. cava superior oder rechter Vorhof über einen zentralvenösen Katheter, ZVK)
- beträgt physiologisch >70% und erlaubt Rückschlüsse auf ausreichendes HZV und normale Ausschöpfung
- Repräsentiert je nach Lage der ZVK-Spitze das Blut aus der oberen oder unteren Körperhälfte

Gemischt-venös

- Blutgasanalyse aus der A. pulmonalis (über einen Einschwemmkatheter, sog. Pulmonaliskatheter, ► Abschn. 2.1.6)
- repräsentiert Mischblut aus dem gesamten Körper (gemischtes Blut aus V. cava superior und inferior)

2.1.5 Zentralvenöser Druck (ZVD)

- Zentralvenöser Druck (ZVD) spiegelt den mittleren Füllungsdruck im rechten Vorhof (über ZVK gemessen) und damit die rechtsventrikuläre Vorlast wieder
- ZVD ist beeinflusst durch:
 - Größe des zirkulierenden Volumens
 - Venentonus
 - Rechtsherzfunktion
 - intrathorakaler Druck
- »fluid challenge test«
 - Schnellinfusion von 500 - 1000 ml Kristalloiden
 - lässt die globale ventrikuläre Funktion abschätzen: bei guter linksventrikulärer Funktion erreicht der ZVD nach 10 - 15 min. wieder seinen Ausgangswert

2.1.6 Pulmonalarterieller Druck**Pulmonaliskatheter**

- Pulmonaliskatheter (nach Swan und Ganz) werden über den zentralvenösen Zugangsweg (A. jugularis oder A. subclavia) durch den rechten Vorhof und rechten Ventrikel in die A. pulmonalis eingeschwemmt
- dient dem Monitoring von Kreislaufparametern. Grundsätzlich sind 3 hämodynamische Messungen möglich:
 - Messungen des rechten (ZVD) und indirekt des linken Vorhofdruckes (PCWP = *Pulmonary Capillary Wedge Pressure*) und der Drücke in der Pulmonalarterie

- Bestimmung des Herzzeitvolumens mittels Thermodilutionsmethode
- Gewinnung gemischtvenösen Blutes für die Blutgasanalyse (► Abschn. 2.1.4)
- korrekte Positionierung erfolgt mittels Analyse der kontinuierlich überwachten Druckkurve am distalen Kanal des Katheters
- Katheter wird so weit vorgeschoben, dass ein Ballon am distalen Ende das Lumen des Gefäßes komplett verschließt (» *Wedge-Position*«).
- In *Wedge-Position* ist der sog. **Wedge-Druck** (PCWP oder Verschlussdruck) messbar, der unter physiologischen Bedingungen dem Druck im linken Vorhof entspricht
- Komplikationen
 - Herzrhythmusstörungen
 - Lungeninfarkt (wenn Katheter zu tief oder zu lange in *Wedge-Position*)
 - Ruptur eines Astes der A. pulmonalis, am ehesten durch zu starkes Aufblasen des Ballons
 - Endokardläsion, Trikuspidal- oder Pulminalklappenschädigung

Tag 3

>Memo

Normwerte der mittels Pulmonalkatheter direkt gemessenen

Werte sind:

Zentralvenöser Druck (ZVD):

0 - 10 mmHg

Mittlerer Pulmonalarteriendruck

(MPAP): 9 - 16 mmHg

Pulmonalarterieller Verschlussdruck (Wedge-Druck, PCWP):

5 - 12 mmHg

Messung des Herzzeitvolumens (HZV)

- Herzzeitvolumina werden mit der Kälte-dilutionstechnik ermittelt
- Kältebolus von bekannter Menge und Temperatur (gekühlte Kochsalzlösung) wird in den rechten Vorhof über einen Katheter injiziert und verteilt sich im vorbeiströmenden Blut
- Temperaturänderungen werden von einem Sensor (Pulmonalkatheter) in der Pulmonalarterie kontinuierlich ermittelt.
- Die Berechnung des HZV wird von einem Mikroprozessor übernommen: Das HZV verhält sich umgekehrt proportional zum Flächenintegral unter der Temperaturkurve und ist zur Menge des injizierten Kältebolus proportional.
- Mithilfe der Thermodilution können folgende zusätzliche Parameter berechnet werden:
 - Intrathorakales Blutvolumen (ITBV)
 - Extravaskuläres Lungenwasser (EVLW)
 - Globales enddiastolisches Volumen (GEDV)
 - Kardialer Funktionsindex (CFI)
- Sog. PICCO-Katheter ermöglichen eine kontinuierliche HZV-Messung und sind weniger invasiv.
 - Ein arterieller Thermodilutionskatheter in der Leiste (A. femoralis) und ein ZVK sind notwendig.
 - transpulmonale Thermodilution und sog. Pulsconturanalyse der arteriellen Druckkurve
 - weitere hämodynamische Parameter bestimmbar
 - arterieller Druck
 - Herzfrequenz (HF)
 - Schlagvolumen (SV)
 - systemischer vaskulärer Widerstand (SVR)

Tag 3

2

2.1.7 Überwachung der Beatmung

- **Atemfrequenzmonitoring:** Veränderung des elektrischen Widerstands zwischen den einzelnen EKG-Elektroden während der Atemexkursionen (Impedanzpneumographie)
- **Manometrie** zur Messung des Beatmungsdrucks: Erkennen von Veränderungen der Lungen-Compliance und -Resistance sowie von Diskonnektionen im Beatmungssystem
- Messung der variabel einstellbaren, inspiratorischen Sauerstoffkonzentration
- **Volumetrie** zur Ermittlung des Atemzugvolumens (AZV) und, in Abhängigkeit zur Atemfrequenz (AF), des Atemminutenvolumens (AMV)
- endexpiratorische CO₂-Messung (**Kapnometrie**) zur Ventilationskontrolle (neben punktuellen Blutgasanalysen)
- Unter physiologischen Bedingungen entspricht das endexpiratorisch gemessene CO₂ annäherungsweise dem paCO₂.
- zwei Methoden: Kapnometer wird im Hauptstrom zwischen Tubus und Winkelstück konnektiert oder Messung des Ausatemgases im Seitenstrom über einen dünnen Probenabsaugschlauch in einem Analysegerät
- Alle Alarme sind sinnvoll (mit Ober- und Untergrenze) einzustellen.

2.1.8 Intrakranieller Druck (ICP)

- Messung des intrakraniellen Drucks (ICP) zur Erkennung einer drohenden cerebralen Einklemmung (z. B. bei intrakraniellen Blutungen)
- Zur Messung gibt es 3 verschiedene Methoden:
 1. **Ventrikelskatheter:** Einführen eines Katheters über ein frontales Bohrloch in den ersten oder zweiten Ventrikel (Seitenventrikel). Über einen Ventrikelskatheter kann der Liquordruck gemessen und ggf. Liquor zu therapeutischen oder diagnostischen Zwecken entnommen werden
 2. **Epidurale Drucksonde:** Drucksonde wird über frontales Bohrloch zwischen Knochen und harter Hirnhaut eingesetzt. Zwar ist die Infektionsgefahr deutlich reduziert, es kommt jedoch häufig zu Fehlmessungen
 3. **Intraparenchymatöse Messung:** Eine optisch arbeitende Drucksonde (Camino-Sonde)
- Werte bis 15 mmHg gelten als normal, bis 30 mmHg als erhöht und ab 30 mmHg als stark erhöht
- Drücke ab 20 mmHg sollten therapeutisch angegangen werden

2.1.9 Intraabdomineller Druck (IAP)

- Messung des intraabdominellen Drucks (IAP) zur Erkennung eines drohenden Abdominalkompartments (z. B. nach großen bauchchirurgischen Operationen oder schweren Traumen)
- Messung erfolgt klinisch heutzutage nur noch indirekt
 - intravesikal oder -gastral, seltener -rektal, -uterinal, -peritoneal oder -vasal über die (V. cava)
 - Man nutzt die retroperitoneal oder intraperitoneal gelegenen Organe als Druckaufnehmer.
- **Intraabdominelle Hypertension (IAH)** ist ein erhöhter IAP von ≥ 12 mmHg über wenigstens 12 Stunden und tritt bei mehr als 30% der Intensivpatienten auf

Tag 3

>Memo

Die Differenz des mittleren arteriellen Drucks (MAP) und des intrakraniellen Drucks (ICP) ergibt den zerebralen Perfusionsdruck (CPP): $CPP = MAP - ICP$

>Memo

Normwert: 0 - 5 mmHg, bei kritisch kranken bis 7 mmHg

2.2 Beatmung

M. Tang

2.2.1 Klinische Anwendung

- Indikation: akute oder chronische schwere respiratorische Insuffizienz
 - Beatmung zur Übernahme oder Unterstützung der Ventilation bei
 - Ausfall des zentralen Atemantriebs oder der neuromuskulären Überleitung
 - Reduktion der effektiven Ventilation mit muskulärer Erschöpfung des Patienten
 - Zeichen der drohenden muskulären Erschöpfung:
 - flache schnelle Atmung (Frequenz $>35/\text{min}$)
 - deutliche Aktivität der Atemhilfsmuskulatur
 - Agitation oder Vigilanzminderung
 - respiratorische Azidose
 - Hypoxämie trotz O_2 -Gabe ($SpO_2 < 90\%$)
 - Aufrechterhaltung eines ausreichenden pulmonalen Gasaustausches bei
 - Erkrankungen des Lungenparenchyms
 - Perfusionsstörungen

2.2.2 Grundlagen der Beatmung

- **physiologische Atmung:** durch Atemmuskulatur wird negativer intrathorakaler Druckgradient aufgebaut
- **maschinelle Beatmung:** Respirator erzeugt positiven Atemwegsdruck

Tag 3

2

>Memo

Überwachung der Effizienz der Beatmung durch Pulsoxymetrie, Blutgasanalyse und Kapnometrie und Klinik des Patienten

! Cave

Alarmgrenzen am Respirator eng einstellen!

! Cave

Vermeide überhöhte inspiratorische Spitzendrücke (>35 cm H_2O) durch Einstellen oberer Druckgrenze am Respirator (= volumenkontrollierte drucklimitierte Beatmung)

! Cave

Gefahr der respiratorischen Alkalose

- Umkehr des physiologischen intrathorakalen Druckgradienten!
- Unterschieden wird zwischen:
 - kontrollierter Beatmung (Atemarbeit des Patienten wird vollständig übernommen)
 - unterstützender Beatmung (Atemarbeit des Patienten wird vom Respirator unterstützt)
 - invasiver Beatmung (Beatmung mittels Endotrachealtubus oder Trachealkanüle)
 - nichtinvasiver Beatmung (Beatmung mittels Maske oder Helm)

Nomenklatur der maschinellen Beatmung und Atmungsunterstützung

- Durch fehlende Standardisierung und verschiedene Gerätehersteller existieren diverse Abkürzungen und Bezeichnungen.
- In der ■ Tab. 2.1 sind die gebräuchlichsten Abkürzungen erläutert

Beatmungsformen

- Kontrollierte Beatmung: vollständiges Fehlen von Spontanatmung

Druckkontrollierte Beatmung (PCV)

- Atemwegsdruck wird direkt am Respirator eingestellt
- Atemzugvolumen ist nicht konstant, sondern abhängig von mechanischen Eigenschaften des respiratorischen Systems (z. B. stark reduziertes Atemzugvolumen bei Pressen des Patienten oder Bronchospasmus)
- Atemminutenvolumen muss engmaschig überwacht werden

Volumenkontrollierte Beatmung (VCV)

- vorgegebenes Tidalvolumen wird in eingestellter Inspirationszeit mit einem einstellbaren Gasfluss (Inspirationsflow) verabreicht
- Atemwegsdruck ergibt sich aus mechanischen Eigenschaften des respiratorischen Systems und Höhe des Gasflows

Unterstützende Beatmung

Assistierte maschinelle Ventilation (AMV, Assist Control, A/C)

- über Triggermechanismus löst Patient einen voreingestellten Atemhub aus
- respiratorische Muskulatur wird entlastet
- applizierter Beatmungshub entspricht Voreinstellung am Respirator, keine automatische Anpassung an Inspirationsbedürfnis des Patienten
- Länge der maschinellen Inspiration ist unabhängig von der Anzahl der Triggerimpulse → bei hoher Atemfrequenz wird Expirationszeit verkürzt

■ **Tab. 2.1** Gebräuchliche Abkürzungen bei der maschinellen Beatmung

Abkürzung	Bedeutung	Erklärung
A/C	<i>Assist Control</i>	Assistierte kontrollierte Beatmung
AMV	Assistierte mechanische Ventilation	s. u.
ASB	<i>Assisted spontaneous breathing</i>	Unterstützte Spontanatmung
ATC	<i>Automatic Tube Compensation</i>	Automatische Tubuskompensation
BIPAP	<i>Biphasic Positive Airway Pressure</i>	Kombination aus zeitgesteuerter, druckkontrollierter Beatmung und Spontanatemungsmöglichkeit auf zwei unterschiedlichen Druckniveaus
BIPAP	<i>Bilevel Positive Airway Pressure</i>	Zweiphasische positive Atem-Druckunterstützung bei der NIV
CMV	<i>Controlled Mechanical Ventilation</i>	Kontinuierliche mechanische Ventilation
CPAP	<i>Continuous Positive Airway Pressure</i>	Spontanatmung mit kontinuierlich positivem Atemwegsdruck
CPPV	<i>Continuous Positive Pressure Ventilation</i>	Kontinuierliche Überdruckventilation
ILV	<i>Independent Lung Ventilation</i>	Seitengetrennte Überdruckbeatmung
IPPV	<i>Intermittent Positive Pressure Ventilation</i>	Intermittierende Überdruckventilation (bei Anwendung von PEEP => CPPV)
IRV	<i>Inversed Ratio Ventilation</i>	Beatmung mit umgekehrtem I:E Verhältnis
NIV	<i>Non-Invasive Ventilation</i>	Nichtinvasive Beatmung
PAV	<i>Proportional Assist Ventilation</i>	Volumen- oder flussproportionale Druckunterstützung
PCV	<i>Pressure Controlled Ventilation</i>	Druckkontrollierte Beatmung
PEEP	<i>Positive Endexpiratory Pressure</i>	Positiv endexpiratorischer Druck
PPS	<i>Proportional Pressure Support</i>	s. PAV
PSV	<i>Pressure Support Ventilation</i>	s. ASB
SIMV	<i>Synchronized Intermittent Mechanical Ventilation</i>	Kombination von kontrollierter Beatmung und Spontanatmung
VS	<i>Volume Support</i>	Variabel druckunterstützte flowgesteuerte Spontanatmung
VCV	<i>Volume Controlled Ventilation</i>	Volumengesteuerte maschinelle Ventilation

Synchronisierte intermittierende Ventilation (SIMV)

- Kombination aus eingestellten maschinellen Atemhüben und Spontanatmung des Patienten
- Beginn des maschinellen Atemhubs wird über Triggerimpuls an Spontanatmung synchronisiert
- Löst der Patient während eines Erwartungsfensters keinen Atemhub aus, wird der maschinelle Atemhub appliziert.
- Mindestventilation ist sichergestellt, aber keine effektive Entlastung der Atemmuskulatur
- Druckunterstützung der Spontanatemzüge zur Kompensation der erhöhten Atemarbeit (Tubus, Schlauchsystem) möglich

! Cave

Gefahr des intrinsic PEEP

Tag 3

2

! Cave

Kontrolle von Atemfrequenz,
Atemzeitverhältnis und Inspirationsflow bei Patient!

Biphasic Positive Airway Pressure (BIPAP)

- Kombination aus drucklimitierter zeitgesteuerter maschineller Beatmung und Spontanatmung des Patienten
- Einstellen zweier Druckniveaus und Zeitspanne nach der das Druckniveau gewechselt wird
- Spontanatmung auf beiden Druckniveaus möglich
- Ohne Spontanatmung ist BIPAP = PCV
- Je näher die Druckniveaus sich angleichen desto weniger invasiv die maschinelle Ventilation.
- Verfahren besonders zum Weaning geeignet

Assisted Spontaneous Breathing (ASB)

- Spontane Atmung mit Hilfsdruck
- Jedes Einatmen löst Gasströmung aus, bis vorgewählter Atemwegsdruck erreicht ist.
- Wenn Atemwegsdruck um bestimmten Wert überschritten wird (1 - 3 cm H₂O) oder inspiratorischer Flow bestimmten Wert unterschreitet (meist 25% des Spitzenflusses), wird in Expiration umgeschaltet.
- schrittweise Reduktion der Druckunterstützung zum Weaning
- nur bei ausreichendem Atemantrieb des Patienten
- keine Mindestventilation garantiert!

Continuous Positive Airway Pressure (CPAP)

- Spontanatmung unter kontinuierlich positivem Atemwegsdruck
- Kombination mit allen o.g. Spontanatmungsverfahren oder als NIV
- Verbesserung der Oxygenierung durch Erhöhung der funktionellen Residualkapazität
- Eröffnen von Atelektasen

Nichtinvasive Beatmung (Noninvasive Ventilation, NIV)

- Beatmung über dicht sitzende Nasen-, Gesichtsmaske oder Beatmungshelm
- Indikationen: u. a. exazerbierte COPD, kardiogenes Lungenödem, schwieriges Weaning, Schlafapnoe
- Wirkmechanismus
 - Rekrutierung hypoventilierter Lungenareale
 - Entlastung der Atemmuskulatur
 - Senkung der rechtsventrikulären >Vorlast
 - Minimierung des intrapulmonalen Rechts-/Links-Shunts
- Voraussetzungen
 - wacher, adäquat reagierender kooperierender Patient
 - Patient toleriert Maske/Helm, Maske/Helm sitzen ohne Leckage
 - kein Aspirationsrisiko
 - keine Verletzungen im Gesichtsbereich
 - logistische/personelle Voraussetzungen

Anästhesie, Intensivmedizin, Notfallmedizin,
Schmerztherapie....in 5 Tagen

Beckers, S.; Rossaint, R. (Hrsg.)

2014, X, 328 S., Softcover

ISBN: 978-3-642-16011-0