

## Skript Beatmung

1. Anatomie .....	1
2. Physiologie .....	2
3. Transporterfordernisse .....	3
4. Notwendige Weiterbehandlungen .....	6
5. Notwendige Weiterbehandlungen .....	7
6. Besonderheiten während des Transportes .....	9
7. Spezielle apparative Versorgung .....	14

Welcher Druck zerreißt die Lunge? Was ist A/C? Wie invasiv wird der Patient beatmet? Was sind Elemente der Übergabe und was unterscheidet sie von der Übernahme. Was meint der Anästhesist mit „zu flach“?

Das explikatorische Skript erläutert Atmung und Beatmung in ihren Grundlagen. Klinische Situationen des Beatmungspatienten werden mit Beatmungsmustern verknüpft. In der vorausgegangenen Lerneinheit waren Schädel-Hirn-Trauma und Thoraxtrauma Schwerpunkte des Polytraumas. Mit dem Modul Beatmung kann die Beatmungsform klinischen Situationen zugeordnet werden.

### 1. Anatomie

Ein Einröhrensystem aus Nasenhöhle, Kehlkopf, Trachea teilt sich baumartig über die Bifurkation in insgesamt 23 Verzweigungsgenerationen. Die letzte Verzweigung sind die Alveolen. Der Gesamtquerschnitt der Bronchien nimmt mit dem Grad der Aufzweigung zu. Bronchioli liegen ab der 10. Verzweigungsgeneration vor. Ihre knorpelfreie Wand ist reich an Muskelfasern. Ihnen fehlen Schleimbildende Zellen. Bis zur 16. Generation leisten sie keinen Gasaustausch. Mit den Bronchioli respiratorii beginnt die Gasaustauschzone. Der Totraum wächst bis zur 16. Verzweigungsgeneration auf 150 ml und durchläuft in der Gasaustauschzone ein Maximum von 250 ml das bis zur 23. Generation leicht abfällt.

Zilien und Schleim reinigen die Atemwege mit einem Rolltreppeneffekt. Die Transportgeschwindigkeit beträgt in den unteren Atemwegen 1 mm/min und in den oberen Atemwegen 2 cm/min. Feuchtigkeitsmangel läßt die Zilien die Transportfunktion einstellen. Der Hustenstoß unterstützt die Reinigung der Atemwege. Beim Schließen der Stimmlippen wird ein Spitzendruck bis zu 200 mbar aufgebaut.

Die Alveolen sind dreischichtig aus Alveolarepithel, Basalmembran und Kapillarendothel aufgebaut. 0,5 µm misst die Barriere zwischen Gas- und Flüssigkeitskompartiment. Die Oberfläche der Alveolen beträgt insgesamt 80-120 qm.

Die Alveolarepithelzellen vom Typ I sind mit zytoplasmatischen Ausläufern ineinander verzahnt.

**Maschinelle Beatmung mit zu hohem endinspiratorischem Druck sprengt diese Verbindungen und zerreißt die alveolo-kapilläre Membran.**

Die eigene Wandspannung der Alveolen würde einen Kollaps der Bläschen verursachen. Der Anti-Atelektase-Faktor Surfactant mindert die Oberflächenspannung.

Surfactantmangel tritt auf bei:

- Abnahme der funktionellen Residualkapazität
- maschineller Beatmung mit end inspiratorischer Überdehnung.

Der Surfactant mindert ebenfalls den Sogdruck zwischen Alveole und Kapillare auf 3 -4 cm H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Bei Surfactantmangel steigt der Sogdruck auf 30 cm H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mit Folge eines interstitiellen

Lungenödems beim ARDS

## 2. Physiologie

Atmung ist Gasaustausch. Die äußere Atmung heißt Ventilation. Die innere Atmung ist Oxidation. Die Verbrennung von einem Molekül Glucose mit 6 Molekülen Sauerstoff ergibt je 6 Moleküle Kohlendioxid bzw. Wasser und 18 Moleküle Adenosintri-phosphat.

Einatemungs-luft enthält 20,9 Vol% Sauerstoff und 0,04 Vol% Kohlendioxid. Ausatemungs-luft enthält 16,0 Vol% Sauerstoff und 4,5% Kohlendioxid. Der Wasserdampfanteil steigt von 0,06 Vol% auf 0,5 Vol%,

In Ruhe verbraucht der Erwachsene 300 ml Sauerstoff/min (3 -4 ml/kg KG/min) und produziert 3 ml/kg/KG/min CO<sub>2</sub>. Eine Sauerstoff-zuleitung mit 6 l/min ist das 20fache des physiologischen Bedarfes. Die Atemmuskulatur verbraucht in Ruhe 5 ml/min, das sind 1 -2% des Gesamtverbrauches. Dieser Anteil wächst exponentiell bei Belastung.

Der **respiratorische Quotient** ist das Verhältnis von Sauerstoffaufnahme zu Kohlendioxidproduktion und beträgt 0,8. Da mehr Sauerstoff aufgenommen als Kohlendioxid abgegeben wird, ist das inspiratorische Atemzugvolumen kleiner als das expiratorischen Atemzugvolumen.

Atemmechanik ist die Beziehung von Druck, Volumen und Strömungsgeschwindigkeit der Atemgase während eines Atemzyklus. Ventilation ist der Vorgang der In- und Expiration. Unterdruck der Alveolen vermittelt Gaseinstrom, Überdruck bewirkt Gasausstrom. Die Muskelkraft des Zwerchfells bewirkt die Einatmung. Elastische Kräfte von Lungen und Brustkorb vermitteln die Ausatmung. Einatmung ist aktiv, Ausatmung ist passiv. Im Kräftegleichgewicht von Lunge und Thoraxwand, das ist die Atemruhelage befindet sich in der Lunge das Volumen der funktionellen Residualkapazität. Rippenatmung und Zwerchfellatmung sind anteilmäßig nach Alter und Körperbeschaffenheit verschieden.

Der kapillare Spalt zwischen Brustwand und Lungen überträgt die Brustwandbewegungen mittels eines Unterdrucks von -4 bis -8 mbar auf die Lungen. Bei kraftvoller Ein- bzw. Ausatmung kann dieser Druck zwischen -40 und +40 mbar variieren. Ohne diesen Unterdruck kollabiert die Lunge durch ihre Eigenelastizität.

Bei der Spontanatmung variiert der Druck in der Lunge gering zwischen positiven (Ausatmung) und negativen (Einatmung) Werten. Bei der Beatmung mit Überdruck ist der Druck in der Lunge bei Einatmung positiv und sinkt in der Ausatmung auf Null. Die intrapleurale Druckwerte sind erhöht und erreichen in der Spitze positive Werte. Aufgrund der Druckerhöhung im Brustkorb sinkt der venöse Rückstrom zum Herzen. Ein den expiratorischen Ausstrom erschwerendes PEEP-Ventil verschiebt die Atemruhelage und erhöht die funktionelle Residualkapazität. Bei verminderter Lungendehnbarkeit normalisiert sie diese.

Druckgrößen der Atemphysiologie sind:

Partialdruck = Gesamtdruck - Wasserdampfdruck

Dieser ist für einen Gasanteil proportional dem inspiratorischen Anteil des Atemgases.

Sauerstoffpartialdruck = (Atmosphärischer Druck - Wasserdampfdruck) x Sauerstoffvolumenanteil des Gases:  $PiO_2 = (760 - 47) \times 0,21 = 150 \text{ mm Hg}$ .

Es gelten die Entsprechungen

Alveolarer Druck = intrapulmonaler Druck

Intrapleuraler Druck = intrathorakaler Druck

Transpulmonaler Druck = Alveolarer Druck - Intrapleuraler Druck

**Die durch Beatmung verursachte Lungenüberdehnung resultiert nicht aus dem Plateau des inspiratorischen Drucks sondern aus dem transpulmonalem Druck.**

Der **Atemwiderstand (Resistance)** ist das Verhältnis von Druckdifferenz zwischen Atmosphäre und Alveolen zum durchströmenden Gasvolumen. Die Tubusgröße kann in den Tubuswiderstand umgerechnet werden. ID 8 mm ergeben 4mbar/l/s bei 30l/min bzw. 6 mbar/l/s bei 60 l/min. Der Strömungswiderstand ist proportional zum Quadrat der Strömungsgeschwindigkeit.

Die **Lungendehnbarkeit (Compliance)** ist das Verhältnis von Volumenänderung zu Druckänderung.

**Atemarbeit** ist das Produkt aus Druck, Fläche, Weg. somit ist Atemarbeit ein Druck -Volumen-Produkt.

Eine steife Lunge (niedrige Compliance) erhöht die Atemarbeit.

Enge Atemwege (hohe Resistance) erhöhen die Atemarbeit.

Der **Gasaustausch** in der Lunge wird bestimmt von Ventilation, Diffusion und Perfusion.

Gasaustauschstörungen werden durch die Blutgasanalyse nachgewiesen.

Eine pulmonale Partialinsuffizienz ist der Abfall des Sauerstoffpartialdrucks bei normalen bis erniedrigtem Kohlendioxidpartialdruck. Eine pulmonale Globalinsuffizienz ist der Abfall des Sauerstoffpartialdrucks und der Anstieg des Kohlendioxidpartialdrucks.

Der Horowitz-Index teilt die Oxygenierung ein: Oxygenierungsindex = arterieller Sauerstoffpartialdruck/Sauerstoffkonzentration in der Einatemungsluft

normal < 450

pathologisch < 350

ALI < 300

ARDS < 200

### 3. Transporterfordernisse

Transporterfordernisse Beatmeter Patienten sind

1. Akute respiratorische Dekompensation

2. Maschinelle Beatmung

d.h. fehlende Entwöhnung im Intensivpflegeverlauf

#### **Ist der Patient geeignet?**

(Rosmin Esmail, Deborah Banack, Cheryl Cummings et al.:

Is Your Patient Ready for Transport?

Developing an ICU Patient Transport Decision Scorecard)

80 Fragen ermöglichen die Einschätzung eines grün/gelb/roten Risikosegmentes.

**Personelle Voraussetzungen**

Die personellen Voraussetzungen sind aufgrund einer Befragung von 80 Intensivpflegeeinheiten:

- Ein Transportteam von mindestens 2 Personen
- Eine qualifizierte Intensivpflegekraft und ein intensivmedizinischer erfahrener Arzt
- Sicherer Geräteumgang
- ständiges Protokollieren
- keine Unterbrechungen des Monitorings
- regelmäßige Schulungen
- Einweisung nach Medizinproduktegesetz

(Sackmann, J.: Der Verlegungstransport beatmeter Patienten - Prospektive, vergleichende Studie zum Einsatz transportabler Beatmungsgeräte im innerklinischen Verlegungstransport von beatmungspflichtigen Patienten. Inaugural – Dissertation. Tübingen 2007.

**Wahl des Rettungsmittels**

Nach § 9 Verordnung über den Landesrettungsdienstplan des Landes Brandenburg sind Rettungsmittel:

- Rettungswagen
- Notarztwagen
- Notarzteinsetzfahrzeug
- Krankentransportwagen

Es ist zulässig, wenn für den fraglichen Transport auch auf Rettungswagen zurückgegriffen wird.

Fallserien stellen selektierte Gründe für den Transport vor. 50% der Transporte erfolgten in den ersten 24 Stunden. Das CT war häufigste Indikation. Die Anzahl der Transporte war abhängig von der Liegedauer.

Intensivpflegetransporte werden in Pubmed als Teil der Interhospitalmedizin überwiegend aus pädiatrischer Perspektive berichtet.

**Tabelle 1: Pubmed-Recherche „Interhospital medicine“ (Recherche 11/2010, nummerierte einzelne Quellen)**

Interhospitalmedizin					
Thema	Quelle				
Pädiatrie	1	2	3	4	6
Tests	5	7			
Team	6				
Lufttransport	8				
Extrakorporale Perfusion	9	12			
Nichtinvasive Beatmung	11				
Verkehr	10				

Die **Überlebensvorhersage mit RAPS** (Kenneth J. Rhee 1987) beschreibt eine Verkürzung von APACHE-II. Bei 283 Transporten mit dem RTH und mit 62 Verstorbenen betrug die Power von RAPS für Tod 92,53 P <0,01.

**Was leistet Interhospitalmedizin?**

Das INuVER-System Mannheim wurde mit 1381 Einsätzen von 1999 bis 2003 evaluiert. Zusätzlich wurden die Sekundäreinsätze der vier NEF der Stadt Mannheim einbezogen.

Deskriptive Ergebnisse waren

Bewusstseinsstörungen (GCS < 13) 48%

Beatmung 36%

künstlicher Atemweg 45%

Katecholamine/Antiangelinosa 28%

**Die Professionelle Wahrnehmung von Atemnot ergibt**

folgende Pathologika

- |                        |   |
|------------------------|---|
| 1. Hautfarbe           | Zyanose                                     |
| 2. Atemgeräusche       | Stridor, Rasseln, Giemen                    |
| 3. Atemfrequenz        | Tachy-/Brady-/Apnoe, unregelmäßige Atmung   |
| 4. Ventilation         | Dyspnoe, I:E > 1:2                          |
| 5. Atemarbeit          | Hilfsmuskulatur, interkostale Einziehungen, |
| 6. Begleitstörungen:   |   |
| 6.1. Bewußtseinslage   |   |
| 6.2. Halsvenenfüllung  |   |
| 6.3. Kreislauffunktion |   |
| 6.4. Schmerzäußerung   |   |

**Besonderheiten beim Kleinkind sind**

1. rasche Hypoxämie, somit Zyanose
2. elastischer Brustkorb, somit sternale Einziehung und interkostale Einziehungen
3. bessere Schalleitung, somit kontralaterales Hörbarwerden unilateraler Geräusche
4. altersabhängige Erkrankungsdispositionen, somit Dekompensation durch Bagatellinfektion der Atemwege bei Vitium

**Tabelle 2: Bedrohliche Vitalzeichen (= Values)**

Alter	Atemfrequenz	Puls	RR
< 2 J.	<10 und > 40/min	< 80/min	< 60 mm Hg
Reanimationsbedingung	Atemstillstand	< 60/min	entfällt

**Tabelle 3: Gefahrenmapping**

Kategorie	Schädigungspotential	
	hoch	niedrig
A	Atemstillstand	Asthma bronchiale
B	Bronchiolitis	Bronchitis
C	Chemische Intoxikation	Chemische Reizung
D	Drug intoxication	Dosierungsproblem

**Tabelle 4: Beatmung von Kindern**

Altersgruppe	Frequenz	Maske Rendell Baker	Tubus Außen Charr
Neugeborenes	40-60	0	14
Säugling	>20	1	16
>1 Jahr		2	18
>4 Jahre		3	20
Kinder/Jugendliche	15-20	Erw 1	22-32

Tubusgröße außen = Nasenloch oder Kleinfinger

#### 4. Notwendige Weiterbehandlungen

Pädiatrische Krankheitsbilder mit Beatmungsindikationen sind akute respiratorische Insuffizienzen infolge von

##### 1. Oxygenierungsstörungen (Parenchymversagen)

Atemnotsyndrom des Neugeborenen (RDS)

Mekoniumaspiration

Postasphyxiesyndrom

konnatale Pneumonie

Bronchopneumonie

Lobäres Emphysem

Bronchopulmonale Dysplasie

##### 2. Ventilationsstörungen (Atempumpversagen)

Hochgradige Obstruktion der Atemwege (Bronchiolitis, Epiglottitis)

Status asthmaticus

##### 3. Pulmonale Perfusionsstörungen

persistierende pulmonale Hypertension (PPHN)

kongenitale Vitien

##### 4. Störungen der Atemregulation

Intoxikationen

Gehäufte Apnoeanfälle

##### 5. Postoperative Nachbeatmung

nach großen chirurgischen Eingriffen.

#### Krankheitsbilder

Akute respiratorische Insuffizienz bei Intensivpatienten

30% Beatmung

60% Atemwegsinfektionen

### **A Acute Lung Injury (ALI)**

= zähe Lunge

unzureichende Oxygenierung trotz optimaler Beatmungseinstellung

Horowitz-Index ( $p_{2O_2}/F_{iO_2}$ ) < 300

Verlust der pulmonalen Dehnbarkeit

Rö: bilaterale Infiltrate

### **B Adult Respiratory Distress Syndrom (ARDS)**

Horowitz-Index < 200

### **C chronisch-obstruktive Lungenerkrankungen (COLD)**

Exazerbierte COLD

verlängerte Entwöhnung von der Beatmung

## **5. Notwendige Weiterbehandlungen**

ergeben sich

- bei chronischen Krankheiten und zunehmenden Schädigungen
- Dialyse
- Differenzierte Beatmung
- Dringliche Operation

### **Verlegung zur Heimbeatmung**

Indikationen zur Heimbeatmung sind

alveoläre Hypoventilation bei Störung des Atemantriebs (Schlaf -Apnoe, Ondine, Pickwick)

hohe Querschnittslähmung

Poliomyelitis

beidseitige Phrenikusparese

neuromuskuläre Erkrankungen

schwere Skoliose oder Brustkorbdeformierung

amyotrophe Lateralsklerose

COLD

Unterschieden werden die folgende Grade der maschinellen Unterstützung

Grad 1: nur bei akuter Erkrankung oder Operation

Grad 2: regelmäßig während des Schlafes

Grad 3: regelmäßig während des Schlafes und einige Stunden am Tag

Grad 4: ständig

### **Informationen zum angeforderten Transport**

Alter

Gewicht

Diagnosen (Stundenprognose)

Verlegungszweck (Dialyse, differenzierte Beatmung, OP)

bisherige Therapiemaßnahmen

Optionen für Verschlechterung bei Transport

Kreislaufstabilität

Beatmung/Sauerstoffbedarf ( $F_{iO_2}$ ) prim/sek Atemproblem

Körpertemperatur  
 Anzahl der Perfusoren  
 Getrennt laufende Infusionen (Furosemid, Phenytoin)  
 Ansprechpartner in der Zielklinik  
 Rechtspfleger/Eltern  
 Unterlagen

**Kontrollen bei Eintreffen**

Auskultation  
 kapillare Füllung  
 Puls, RR  
 AF  
 SaO2  
 Pupillen  
 Sicherung von Zugängen, Ableitungen, Monitoring  
 Bewusstseinslage  
 Tiefe der Analgosedierung

Die Beurteilung der Analgosedierung ohne Relaxierung erfolgt mit dem Ramsay -Score oder unabhängig von der Relaxierung mit der Sedierungs- und Agitationsskala (SAS).

**Tabelle 5: Ramsay-Score (1974): Beurteilung der Analgesietiefe (ohne Muskelrelaxierung)**

Score	Sedierungsgrad	Beurteilung
0	Wach und voll orientiert	Wach
1	Ängstlich, agitiert, unruhig	Zu flach
2	Wach, kooperativ, orientiert, akzeptiert Beatmung oder Support	Adäquat
3	Schläft, promptes Erwachen bei Berühren der Stirn oder laute Ansprache	Adäquat
4	Schläft, träges Erwachen bei Berühren der Stirn oder laute Ansprache	Adäquat
5	Schläft, Reaktion auf starke Schmerzreize	Zu tief
6	Tiefes Koma, keine Schmerzreaktion	Zu tief

**Tabelle 6: Sedierungs- und Agitationsskala**

Level	Klinische Symptomatik
0	Anästhesie oder Koma
1	Stark sediert
2	Sediert
3	Wach und kooperativ
4	Agitation
5	Stark agitiert
6	Gefährlich agitiert

## 6. Besonderheiten während des Transportes

Beatmung in Bauchlage wird auf vielen Intensivstationen zur Behandlung von ALI und ARDS praktiziert und auch zur Prophylaxe eingesetzt. Tödliche Risiken sind Extubation bei den Drehmanövern, Verrutschen des Tubus, Verlust des zentralvenösen Zugangs, aber auch Lagerungsschäden an Stirn, Nase, vor allem den Augen. Kontraindikationen sind schwere neurologische Erkrankungen mit erhöhtem intrakraniellen Druck und hochgradige Kreislaufinsuffizienz.

Evidenzaussagen sind

Prophylaktische Bauchlagerung ist bei ALI nicht indiziert (Grad -B).

Bauchlagerung ist bei schwerem ARDS empfohlen (Grad -C)

In der Routine wird der beatmete Patient mit der eingestellten Beatmungsform transportiert. Wenn Veränderungen erfolgen, dann von assistierter zu kontrollierter Beatmung. Vor diesem Hintergrund hinterfragt Sackmann (2007, n = 34 beatmete Patienten) die Notwendigkeit differenzierter Transportrespiratoren, da Gewohnheiten des Transportteams mehr über die Beatmungsart bestimmen als beispielsweise die Verfügbarkeit von Blutgasanalysen. „Wenn in 9 von 10 Transporten der Patient kontrolliert beatmet wird, obwohl er bereits assistiert beatmet werden konnte, ist die Anschaffung eines speziellen Transportbeatmungsgerätes mit einer Vielzahl von beatmungsspezifischen Einstellungsmöglichkeiten sinnlos. Dann reicht tatsächlich ein Medumat, wie er bis heute noch in vielen Rettungsdienstbereichen Verwendung findet.“

### **Beatmungsgeräte**

#### **Beatmungshilfe**

Der Beatmungsbeutel demonstriert Eigenschaften eines Beatmungsgerätes. Die assistierte Atemunterstützung oder die kontrollierte Beatmung leitet der Helfer. Sauerstoffangebot und Verbrauch aus dem Reservoir können mit den nachstehenden Tabellen berechnet werden. Somit kann für überbrückende manuelle Beatmung die Mindestkonzentration an inspiratorischem Sauerstoffangebot benannt werden.

#### **Ambu Mark IV resuscitator**

Prinzip: Einlaßventil -->Beatmungsbeutel -->Patientenventil

Der Luftstrom bleibt unverändert bei Spontanatmung.

Reservoirvolumen 1500 ml

Totraum < 5 ml

Inspiratorischer Widerstand bei 50 l/min: - 0,35 kPa (-3,5 cm H<sub>2</sub>O)

Expiratorischer Widerstand bei 50 l/min : + 0,26 kPa (+2,6 cm H<sub>2</sub>O)

Defizite:

Vor- und Rückwärtsleckage nicht messbar

Druckbegrenzung = Hüllenelektizität: 7 kPa = 70 cm H<sub>2</sub>O

#### **Schaltfolge**

1.1 Luft

1.2 Sauerstoffeinlass

- 1.x Beatmungsbeutel
- 1.3 Patient
- 1.4 Expiration
- 1.5 Auslasskappe (Option)

Anwendung des Ambu Mark IV resuscitators

Erwachsene und Kinder > 15 kg (3 Jahre) bilden eine Versorgungsgruppe für die Berechnungen

Erwachsene

15/min x 1000 ml | 13 l O<sub>2</sub> /min | 85-100 %  
 | 4 l O<sub>2</sub>/min | > 40 %

Kind

20/min x 300 ml | 5 l O<sub>2</sub>/min | 85-100 %  
 | 2 l O<sub>2</sub>/min | > 40 %

Ambu Mark IV resuscitator

O <sub>2</sub>	Sauerstoffangebot in %			
	V <sub>t</sub> x f			
l/min	250x12	600x12	750x12	1000x12
2	34	28	27	26
5	44	34	32	31
10	60	44	39	39
15	82	54	52	46

**Verlegung zur Heimbeatmung**

**Transportrespiratoren** kommen aufgrund ihrer kompakten Bauweise zur Anwendung. Turbinendruck spart Gas. Die Akkulaufzeit beträgt 4-6 Stunden. Eine externe Stromversorgung ist möglich.

**Intensivrespiratoren** haben dagegen eine nur kurze Überbrückung eines Netzausfalls. Eine 220-Volt-Stromquelle ist erforderlich. Sie sind für den Transport fast aller Patienten mit schweren Lungenerkrankungen geeignet.

Die **Übernahme auf ein neues Beatmungssystem** erfordert die Dokumentation der Beatmungssituation. Dazu gehörte eine **aktuelle Blutgasanalyse**. Die Sauerstoffkonzentration soll bei Lagerungsmaßnahmen 100% betragen. Nach Wechsel des Beatmungssystems erfolgt die Einstellung der Betriebsparameter, das ist ca. die vorige Einstellung. Das Übernahmemanöver kann besondere Prozeduren bedingen. Bei höherer PEEP-Beatmung ist der Tubus vor der Diskonnetion abzuklemmen (Kunststoffklemme). Dann ist der Druckaufbau im neuen System abzuwarten. Erst hiernach ist die Klemme zu öffnen. Der Zwischenfall „Druckabfall im System“ erfordert das so genannte **Öffnungsmanöver**. Hierbei wird ein PEEP für 30 sec auf 20 mm HG aufgebaut. Er dient der Öffnung von Atelektasen. Das Öffnungsmanöver ist nur bei hämodynamisch stabilen Patienten zulässig.

Nach der Übernahme ist die Reaktion des Patienten auf den neuen Respirator abzuwarten. Eine

**Kontrolle der Blutgase** wäre ideal.

Ein Beatmungsgerät wird über die Grundfunktionen Trigger, Steuerung und Limitierung eingestellt. Der inspiratorische Beginn, das Ende der Inspiration und die Begrenzung durch den Druck in den Atemwegen bilden die aktive Phase des Beatmungszyklus.

### **Einstellungen der Beatmungsgeräte**

Trigger: Inspiratorischer Start

Steuerung: Ende der Inspiration (Volumen, Druck, Zeit, Strömung)

Limitierung: Atemwegsdruck

### **Assistierend kontrollierte Beatmung = Assist control mode ventilation ACMV**

**Merke A/C = Assist/Control Ventilation**

- patienten-/zeitgetriggert (entweder oder)
- volumengesteuert
- druckbegrenzt

Problem

AutoPEEP durch Hyperinflation

--> venöser Rückstrom gemindert

--> Herzauswurf gemindert

### **Synchronisierte intermittierend maschinelle Beatmung = synchronized intermitted mandatory ventilation SIMV**

- patienten-/zeitgetriggert
- volumengesteuert
- druckbegrenzt

synchrone Atemzugunterstützung mit Rückstellung des Zeitgebers für den nächsten Zyklus

- geeignet für Entwöhnung

**Einstellgrößen** bei einer volumenkontrollierten Beatmung sind

Atemhubvolumen (VT)

Atemfrequenz (f)

positiver endexpiratorischer Druck

I:E-Verhältnis oder Inspirationszeit (T<sub>insp</sub> oder Ins p. Dauer %)

Inspiratorische Sauerstoffkonzentration (FiO<sub>2</sub>)

Druckanstiegsgeschwindigkeit (Insp. Flow oder Insp. Anstiegszeit %).

Obere Druckbegrenzung

**Tabelle 7: Grundeinstellung bei volumen kontrollierter Beatmung (VCV)**

Atemhubvolumen (VT)	7-8 ml/kg KG
positiver endexpiratorischer Druck (PEEP)	5-8 mbar
Atemfrequenz (f)	12-15
I:E-Verhältnis	1:2
Druckanstiegsgeschwindigkeit	30-40 l/min
Inspiratorische Sauerstoffkonzentration (FiO <sub>2</sub> )	40% bzw. nach PaO <sub>2</sub>
Obere Druckbegrenzung	30 mbar

Volumenkontrollierte Beatmung erfolgt mit niedrigem Fluß. Zu hoher inspiratorischer Fluß erhöht den Spitzendruck, überbläht die Lungen, erhöht die Totraumbeatmung, verschlechtert das Ventilations-/Perfusionsverhältnis. Ideal ist eine „volume -controlled minimal flow ventilation“.

Einstellgrößen bei einer druckkontrollierten Beatmung sind  
 Inspirationsdruck (P<sub>insp</sub>)  
 positiver endexpiratorischer Druck (PEEP)  
 Atemfrequenz (f)  
 I:E-Verhältnis oder Inspirationszeit (T<sub>insp</sub> oder Ins.Dauer %)  
 Inspiratorische Sauerstoffkonzentration (FiO<sub>2</sub>)  
 Druckanstiegsgeschwindigkeit (Insp. Flow oder Insp.Anstiegszeit %).

**Tabelle 8: Grundeinstellung bei druck kontrollierter Beatmung (PCV)**

Inspirationsdruck (P <sub>insp</sub> )	12-15 mbar über PEEP
positiver endexpiratorischer Druck (PEEP)	5-8 mbar
Atemfrequenz (f)	12-15
I:E-Verhältnis	1:2
Druckanstiegsgeschwindigkeit	80-120 l/min
Inspiratorische Sauerstoffkonzentration (FiO <sub>2</sub> )	40% bzw. nach PaO <sub>2</sub>

Aus den unterschiedlichen Freiheitsgraden der beiden Beatmungsmuster ergeben sich grundsätzliche Zuordnungen zu klinischen Bedingungen.

**Tabelle 9: Vergleich der volumenkontrollierten und druckkontrollierten Beatmung**

Beatmungsform	Freiheitsgrad	inspirator. Flow	Klin. Situation
VCV	Beatmungsdruck → Druckbegrenzung	konstant	isoliertes Schädelhirntrauma mit gesunder Lunge
PCV	Atemhubvolumen → Volumen - monitoring	dezelerierend	postoperative Nachbeatmung, kranke Lunge

**Maßnahmen zur Verbesserung der Oxygenierung** sind

1. FiO<sub>2</sub> (symptomatisch)
  2. PEEP
  3. I:E-Verhältnis (Inversed ratio Ventilation IRV)
- PEEP und IRV sind kausale Behandlungskonzepte von Atelektasen.

Die **Beatmungsinvasivität (PIF)** wird bestimmt durch die Beziehung

$$PIF = PEEP \times I:E \times FIO_2$$

$$20 = 10 \quad \times 2(2:1) \times 1,0 (100\%)$$

$$1 = 5 \quad \times 1(1:2) \times 0,4 (40\%)$$

PEEP ist keine Beatmung, sondern eine Komponente des Beatmungsmusters  
Gesunde Lungen sollen zur Aufrechterhaltung der funktionellen Residualkapazität mit einem niedrigen PEEP von 5-7 mbar beatmet werden.

**PEEP Indikationen** sind restriktive Ventilationsstörungen und mit großen Einschränkungen bestimmte Krankheitsbilder.

**Restriktive Ventilationsstörungen**

intraoperative Restriktion: Baueingriffe mit Druckerhöhung z.B. Laparoskopie

postoperative Restriktion bei Meteorismus, Lungenkontusionen

ARDS

Thoraxtrauma (instabiler Thorax) → Lungenschienung

kardiogenes Lungenödem (Nitroeffekt)

Pneumonien

Respiratory Distress Syndrom (RDS) des Neugeborenen

**Krankheitsbilder mit vorsichtiger PEEP-Anwendung**

Obstruktive Ventilationsstörungen (PEEP<sub>e</sub> muß < PEEP<sub>i</sub> sein)

Schädel-Hirn-Trauma (Hirndrucksteigerung unter PEEP möglich)

Lungenembolie (Zunahme der rechtsventrikulären Nachlast)

Intrakardiale Vitien.

PEEP kann die Alveolen nicht schädigen, da das PEEP -Niveau das niedrigste Druckniveau im Verlauf des Atemzyklus ist. Allerdings addiert sich der PEEP zum Inspirationsdruck, welcher die

Alveolen überdehnt.

## 7. Spezielle apparative Versorgung

### **Kapnometrie**

Die Kapnometrie bildet den Verlauf des CO<sub>2</sub> im Atmungszyklus ab.

Die normale Kapnometriekurve hat 5 Phasen:

1. Inspiration
2. beginnende Expiration
3. Plateau der Expiration
4. endexpiratorisches CO<sub>2</sub>
5. Beginn der Inspiration

Dabei durchläuft der Messwert den Nulldurchgang in der Inspiration und erreicht ein Maximum < 40 mbar endexpiratorisch. Pathologische Muster sind

1. Obstruktion - Trapezdeformität
2. Husten/Pressen - Blip im Nulldurchgang
3. Einatmung in Expiration - Dip im Plateau
4. Rückatmung - Plateauerhöhung
5. Magenbeatmung - verdämmernde Kurve (nur wenn CO<sub>2</sub> im Magen war), sonst Nulllinie
6. Leckage - Dromedarkurve
7. Fehleinstellung Kinder (60ml statt 200 ml Ansaugung) - halbe Sinuskurve

Das Skript reflektiert und erweitert eine 3 stündige Schulung. Seine Begrenzung kann durch Fragestellungen aufgezeigt werden, welche eigenständige Lektüre und interprofessionellen Dialog zur Wissenserweiterung voraussetzen:

Welcher Intensivrespirator ist der leichteste? Servo 3000 - Evita 4 – Raphael

Welcher Intensivrespirator erlaubt keine BIPAP -Beatmung? Servo 3000 - Evita 4 – Raphael

Welche Normbereiche bestehen für den PCO<sub>2</sub>? Arteriell – venös

Vortrag und Skript vermitteln „Knoten“ für die Verankerung und Erweiterung von Fachwissen. So führt die Fortbildung zu Techniken Art von Anwendungen und Dimension von Größen zu verankern. Damit können auch in eigenem Studium zu erarbeitende Wissensbereiche verknüpft werden. Beispiel für die Verknüpfung von „Knoten“:

Bekannt sind die anatomischen Lungengrößen, die physiologische Atemtiefe mit Projektion auf den Thorax, die Größe des intrapleurales Druckes in verschiedener Metrik. Die Ähnlichkeit von Inhalten dieses Wissens kann auf die Größe der Basenabweichung erweitert werden.

### **Literatur:**

Basislehrbücher

Kretz, F.-J., Schäffer, J., Anästhesie Intensivmedizin Notfallmedizin Schmerztherapie. Springer Medizin Verlag Heidelberg 2008. 5. Auflage.

Heck, M., Fresenius, M.: Klinikmanual Anästhesie. Springer Medizin Verlag Heidelberg 2008.

Heck, M., Fresenius, M.: Repetitorium Anästhesiologie. Für die Facharztprüfung und das Europäische Diplom. Springer Medizin Verlag Heidelberg 2007. 5. Auflage.

- Hatzenbühler, M., Heck, M., Fresenius, Benrath, J.: Repetitorium Schmerztherapie  
Zur Vorbereitung auf die Prüfung »Spezielle Schmerztherapie«. Springer Medizin Verlag  
Heidelberg 2007. 2. Auflage.
- Loick, H.M.: Tipps & Tricks für den Anästhesisten. Problemlösungen von A bis Z für Anästhesie  
Intensivmedizin Notfallmedizin und Schmerztherapie. Springer Medizin Verlag Heidelberg 2006.  
2. überarbeitete und erweiterte Auflage.
- Rhee, K.J. et al.: The Rapid Acute Physiology Score. The Am. J. Emergency Medicine 1987;  
5(4): Pages 278-282
- Schmidt, R.F., Lang, F., Thews, G.: Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie. Springer  
Medizin Verlag Heidelberg 2005. 29. Auflage.
- Klinke, R., Pape, H.-C., Silbernagl, S.: Physiologie (ISBN 3-13-796005-3) © Georg Thieme  
Verlag Stuttgart 2005.
- Wennemuth, G.: Anatomie für die mündliche Prüfung. MedDialog. Springer Medizin Verlag  
Heidelberg.

#### Beatmung

- Larsen, R., Ziegenfuß, T.: Beatmung. Grundlagen und Praxis. Springer -Verlag Berlin 2004. 3.  
Auflage. XTA1841:3
- Oczenski, W., Werba, A., Andel, H.: Atmen – Atemhilfen. Atemphysiologie und  
Beatmungstechnik. Blackwell Wissenschafts -Verlag Berlin 2000. 4. Auflage. XTA1875:4
- Sackmann, J.: Der Verlegungstransport beatmeter Patienten - Prospektive, vergleichende Studie  
zum Einsatz transportabler Beatmungsgeräte im innerklinischen Verlegungstransport von  
beatmungspflichtigen Patienten. Inaugural – Dissertation. Tübingen 2007.
- Scholz, J., Sefrin, P., Böttiger, B.W., Dörges, V., Wenzel, V.: Notfallmedizin. Thieme Verlag  
Stuttgart 2008. 2. Auflage. XTC 3550:2