

Beatmung bei Kindern

Michael Schroth

Vermeidung von Beatmung

- Wichtigstes Therapieziel !!!
- **Restriktive Indikationsstellung**, adäquate Sedierung (z.B. für invasive Maßnahmen etc.)
- Indikation zu größeren Maßnahmen (z.B. MRT) restriktiv stellen
- **ABER: suffiziente Schmerztherapie darf nicht vorenthalten werden !!!**



Vermeidung von Beatmung

- **Rechtzeitiges** Erkennen der Verschlechterung einer Grunderkrankung
- **Rechtzeitige** Diagnose einer Ateminsuffizienz
- **Rechtzeitige** Anwendung von Assistenzsystemen (z.B. Cough-Assist zur Vermeidung von Sekretretention)
- **ABER: eine indizierte Beatmung darf nicht zu lange aufgeschoben werden !!!**



Formen der respiratorischen Unterstützung

- Maßnahmen zur Verbesserung der Oxygenierung
- Nicht-invasive Beatmung
- Invasive Beatmung

Verbesserung der Oxygenierung

- **Gewebeoxygenierung** ist entscheidend
- Auch eine schlechte Gewebepfusion bzw. Anämie führt zur schlechten Oxygenierung
- Somit: **Verbesserung des HZV**
- Somit: Indikation zur **EK-Transfusion** prüfen
- Wenn weiterhin schlechte Perfusion, dann: Ventilations-Perfusions-Missverhältnis bedingt durch respiratorische Ursache (z.B. ARDS)

Verbesserung der Oxygenierung

- Cave: Euler-Liljestrand: wo **keine Ventilation, dort keine Perfusion**.
- Somit: Versuch der Lageänderung, z.B. aufrechtes Sitzen, Bauchlage etc.
- Bei der **echten Diffusionsstörung** (z.B. Lungenödem) Erhöhung des FiO_2 – dies ist nicht-invasiv

Nicht-invasive Beatmung

- Applikation von Beatmungsdruck durch **supraglottisches Interface**
- Problem: Aerophagie, Aspirationsgefahr
- Schutz vor Barotrauma (Drücke höher als 20 mbar sind effektiv nicht möglich), allerdings **erhöhte Aspirationsgefahr**
- Generell höhere Beatmungsdrücke als in der Neonatologie

Nicht-invasive Beatmung

- **Problem:** kranke Kleinkinder sind oft nicht kooperativ – hier eventuell **Sedierung** (mit allen Komplikationen) notwendig
- **Problem:** **Verzögerung der Intensivtherapie bzw. Hinauszögern der invasiven Beatmung**
- **Konsequenz:** **wenn zu lange Verzögerung, Verschlechterung bis hin zur Reanimation**

Nicht-invasive Beatmung

- **Indikationen:**
 - Akute Pneumonie
 - Schocklunge
 - Asthmaexazerbation
 - CF
- **Versager:**
 - Onkologische Patienten mit Sepsis
 - MOV
 - Sepsis mit ARDS

NIV – Wann?

- Hauptgruppe: **Neonatologie – Säuglinge**

- **Indikationen:**
 - Apnoe/Bradykardiesyndrom: **sehr gute Erfahrungen**
 - Anpassungsstörung, Wet lung, „mildes“ ANS
 - Nach Extubation: **sehr gute Erfahrungen**
 - Weaning
 - RSV-Bronchiolitis: **sehr gute Erfahrungen**

Nichtinvasive Atemunterstützung

- High Flow Therapie (**HFT**)
- **CPAP**
 - Mono-Nasal
 - Bi-Nasal (**SiPAP**)

Was macht NIV ?

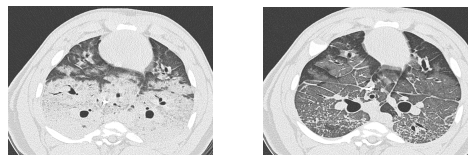
- Flow
- Temperatur
- Feuchte
- Sauerstoff

Was macht NIV ?

- Auswaschung anatomischer und physiologischer Totraum
- Erhaltung der physiologischen Schleimhäute
- Erhaltung von Druck und PEEP

NIV – warum ?

- Blähung der kollabierten Alveolen
- Stabilisierung der Alveolen
- Erhöhung der FRC (Funktionale Residual Kapazität)



PEDIATRICS®

OFFICIAL JOURNAL OF THE AMERICAN ACADEMY OF PEDIATRICS

Serious Air Leak Syndrome Complicating High-Flow Nasal Cannula Therapy: A Report of 3 Cases

Satyanarayan Hegde and Parthak Prodhan
Pediatrics; originally published online February 4, 2013;
 DOI: 10.1542/peds.2011-3767

TABLE 1 Vital Signs of Case 1

	Hours From the Event ^a							
	-2.5	-1	0	3	5	6	13	14
Time of day	10:30	12:00	13:00	16:00	18:21	19:00	02:00	03:00
Temperature, °C	37.4	36.7		36.8	36.9		36.1	36.2
HR, beats per min	166	155		127	207	137	130	130
RR, breaths per min	62	49		51	60	72	28	28
SBP, mm Hg	96	105		128	151	109	89	89
DBP, mm Hg	32	65		90	72	64	57	57
MAP, mm Hg	46	78		106	87	82	68	68
SaO ₂	100	97		100	94	100	100	100

Nasal flow rate, L/min	2	6	8	8	8	8	Intubated	Intubated
FiO ₂	1	1	1	1	1	1	1	1

DBP, diastolic blood pressure; FiO₂, fraction of inspired oxygen concentration; HR, heart rate; MAP, mean blood pressure; RR, respiratory rate; SaO₂, oxygen saturation by pulse oximetry; SBP, systolic blood pressure.

^a "Event" means air leak syndrome (pneumothorax or pneumomediastinum).

Nicht-invasive Beatmung

• Druckkontrollierte Beatmungsformen

- PSV, PC-AC
- PEEP 5-8 mbar
- Druck über PEEP 3-10 mbar
- Höhere Drücke meist nicht erreichbar (Leck, Magenüberblähung, Aspiration)
- Hohe Beatmungsfrequenzen bzw. Backup-Frequenzen
- Kurze Inspirationszeit (0,4 – 0,6 s)

Nicht-invasive Beatmung

• Interface:

- Nasopharyngeale Tuben
- Nasale oder Ganzgesichtsmasken
- Dichtigkeit oft erschwert

• Ausschluss bzw. Abbruch:

- Postreanimationsbehandlung
- GCS unter 8
- Fehlender Husten- oder Würgereflex
- Apnoen
- Blutungen aus den Atemwegen, Traumata
- Ileus

Nicht-invasive Beatmung

- Cave: Apnoen und Desaturierungen deuten auf **Erschöpfung** hin !!!
- Cave: **Anstieg des pCO₂** mit Azidose
- Abnehmende Sauerstoffsättigung
- Tachykardie, Tachypnoe

Entscheidend:

Ausreichende Erfahrung des gesamten Intensivteams !!!

Richtige Auswahl der Patienten !!!

Fazit: NIV

Für jedes (neue) Alternativ-Verfahren gilt:

- **Geduld**
- **Learning Curve**
- **Sinn ???**

Invasive Beatmung

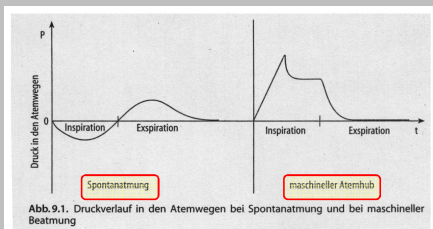
- **Beatmungsformen**
 - Wie in allen Altersstufen bekannt
 - **Höhere Grenzwerte** für Beatmungsdrücke als in der Neonatologie
 - Gelegentlich **sehr hohe Spitzendrücke** notwendig
 - Durchaus bis **30 mbar**, Compliance der Thoraxwand und hoher Widerstand (Tuben) müssen überwunden werden
 - Kritisch: Anwendung großer Atemzugvolumina
 - Normal: **6-7ml/kg** zusammen mit Totraum lässt sich ein Tidalvolumen von ca. **8-10 ml/kg** erreichen
 - Im Einzelfall **hohe PEEP-Werte**
 - Bis **20 mbar** und mehr !!!

Tab. 7.1 Beatmungsformen in der Übersicht (zur Bedeutung der einzelnen Abkürzungen s. Text der folgenden Übersichts-Tab.)

Beatmungsformen	Eigenschaften	Mögliche Bezeichnungen
volumenkontrollierte Beatmungsformen (S, SI)		
klassische volumenkontrollierte Beatmung		CMV, VC-CMV
intermittierende mandatorische Ventilation	Möglichkeit der spontanen Atemaktivität zwischen 2 Beatmungszyklen	IMV, BPV, TCMV
synchrone intermittierende mandatorische Ventilation	Möglichkeit der spontanen Atemaktivität zwischen 2 Beatmungszyklen und Tilgung der Inspiration durch den Patienten	SPMV, VC-SIMV
volumenkontrollierte mandatorische Minutenbeatmung	Möglichkeit der spontanen Atemaktivität mit Sicherung des Atemminutenvolumens	MMV, VC-MMV
volumenkontrollierte Beatmung mit Backup-Frequenz	Beatmung mit zusätzlicher Backup-Frequenz bei fehlender Eigenatmung	VC-AC, IMV, SCMV, A/C, S-BPV, BPV-avoid
druckkontrollierte Beatmungsformen (S, SI)		
klassische druckkontrollierte Beatmung		PC-CMV, PCV
druckkontrollierte synchronisierte intermittierende mandatorische Ventilation	Möglichkeit der spontanen Atemaktivität zwischen 2 Beatmungszyklen und Tilgung der Inspiration durch den Patienten	PC-SIMV
druckkontrollierte mandatorische Minutenbeatmung	Möglichkeit der spontanen Atemaktivität mit Sicherung des Atemminutenvolumens	PC-MMV
druckkontrollierte Beatmung mit Backup-Frequenz	Beatmung mit zusätzlicher Backup-Frequenz bei fehlender Eigenatmung	PC-AC, PC-Asi-Centil, BIPAP-avoid, PCV-avoid
hybride positive Atemwegsdruck	In- und exspiratorisch synchronisierte Beatmung mit der Möglichkeit, während des spontanen Atemzyklus spontan zu atmen	BPAP, PC-BIPAP, Bi-NIV, DualPAP, Bi-Level, BIPAPc
Always Pressure Release Ventilation	ungefährtes Verhältnis von Inspiration zu Expiration	APRV, PC-APRV, BPV, BPV-BIPAP
druckunterstützte Beatmung	Druckunterstützung von spontaner Atemaktivität	PSV, PC-PSV, ASB, PA, PA, PA, PA, PA, PA
volumenunterstützte Beatmung	Druckunterstützung von spontaner Atemaktivität mit bei definiertem Tidalvolumen	VS, VAPS, CSV-VA, SPI, CMVVS
proportional assistierte Beatmung	Druckunterstützung von spontaner Atemaktivität mit proportionaler Unterstützung der Eigenatmung	PPV, PPS, SPI-PPS

Aus: **Beatmung von Kindern, Neugeborenen und Frühgeborenen**, Humberg et al, Thieme-Verlag, 2017

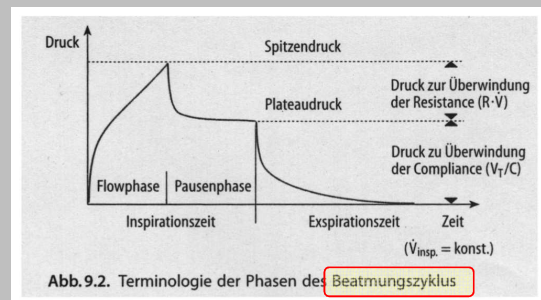
Klassifikation der Beatmungsformen



- **Zugvolumen:** spontan eingeatmetes Volumen
- **Hubvolumen:** vom Respirator erzeugtes Volumen
- Zug- oder Hubvolumen: **Tidalvolumen**

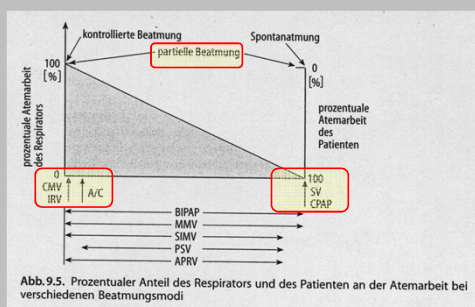
Aus: Larsen, Ziegenfuß: Beatmung

Beatmungszyklus



Aus: Larsen, Ziegenfuß: Beatmung

Klassifikation der Beatmungsformen



Aus: Larsen, Ziegenfuß: Beatmung

Klassifikation der Beatmungsformen

- **Kontrollierte Beatmung:** der Respirator macht alles, der Patient macht nichts.
- **Partielle Beatmung:** alle Modi, die nicht ausschließlich aus mandatorischen oder spontanen Atemtypen bestehen, sondern beide Formen prozentual vereinen.

Klassifikation der Beatmungsformen

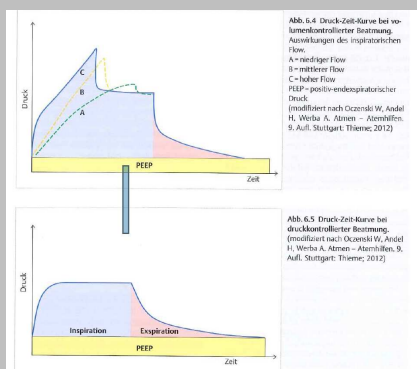
Standardverfahren

- kontinuierliche mandatorische Beatmung, „continuous mandatory ventilation“ (CMV);
- assistierte/kontrollierte Beatmung, „assist/control ventilation“ (A/C);
- synchronisierte intermittierende mandatorische Beatmung, „synchronized intermittend mandatory ventilation“ (SIMV);
- Beatmung mit mandatorischem Minutenvolumen, „mandatory minute ventilation“ (MMV);
- druckunterstützte Beatmung, „pressure support ventilation“ (PSV);
- Atmung auf kontinuierlichem positivem Druckniveau, „continuous positive airway pressure“ (CPAP).

Aus: Larsen, Ziegenfuß: Beatmung

Invasive Beatmung

- Druck- oder volumenkontrolliert ?
 - Unterschiede weniger kritisch
 - Rasche ansprechende Druckgrenzen machen eine volumenkontrollierte Beatmung ähnlich schonend
 - Form des **Druckverlaufes** ist unterschiedlich
 - **Druckkontrolliert:** rechteckig – sinnvoll bei Oxygenierungsproblematik, **schlecht** bei Obstruktion (initial hohe Drücke, kein Volumengewinn bei hohem Widerstand); eventuell generell höhere Sicherheit vor Fehleinstellungen (Einstellung der Tidalvolumina gewichtsbezogen möglich)
 - **Volumenkontrolliert:** variabel einstellbare Rampenform



Aus: **Beatmung von Kindern**, Neugeborenen und Frühgeborenen, Humberg et al, Thieme-Verlag, 2017

Invasive Beatmung

- **Beatmungsfrequenz:**
 - Entspricht zunächst der altersgemäßen Spontanatemfrequenz
 - **Restriktive Störung:** hohe Frequenz, niedrige Tidalvolumina
 - **Obstruktion:** oft sehr niedrige Frequenz notwendig, insbesondere mit langen Expirationszeiten; Gefahr: **Auto-PEEP** mit Barotrauma

Praktisches

Faustregel Beatmungsindikation:

Führen nicht-invasive Maßnahmen **nicht** zum Erfolg, d.h. die

**O₂-Sättigung bleibt unter 90%,
der paO₂ < 60 mmHg
und/oder der paCO₂ > 60 mmHg.**

Ist die Indikation zur **Intubation und Einleitung einer invasiven Beatmung** gegeben.

Praktisches

• Kontrollierte Beatmung:

- PEEP: 3-4 mbar
- I : E = 1 : 2-3
- FiO₂ nach Bedarf (wenn unklar: 1,0)
- Atemfrequenz altersentsprechend
- Flow:
 - 6-12 l/min,
 - wenn PIP > 30 mbar bis 20-30 l/min
- Druckkontrolliert: PIP 20 mbar
- Volumenkontrolliert:
 - 10 ml AZV/kg
 - Inspiratorische Pause 10% des Atemzyklus

Praktisches

• Sollwerte Blutgase:

- paO₂: 70-90 mmHg
- paCO₂: 35-50 mmHg

• Abfall paO₂:

- Erhöhung von FiO₂, PEEP, Inspirationszeit, PIP oder Tidalvolumen, Beatmungsfrequenz
- Überprüfung von Beatmungskomplikationen (**DOPES**)

Praktisches

• Anstieg des paCO₂:

- Erhöhung der Beatmungsfrequenz
- Eventuell Verlängerung der Expirationszeit
- Erhöhung von Tidalvolumen bzw. des PIP
- Erhöhung des Flows
- Eventuell Reduktion des PEEP (Auto-PEEP)
- Überprüfung: Totraumverkleinerung möglich? Bronchiale Obstruktion? **DOPES?**

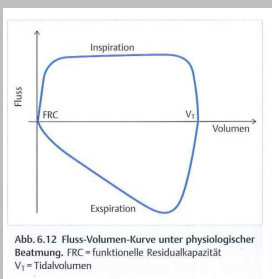


Abb. 6.12 Fluss-Volumen-Kurve unter physiologischer Beatmung. FRC = funktionelle Residualkapazität
V_T = Tidalvolumen

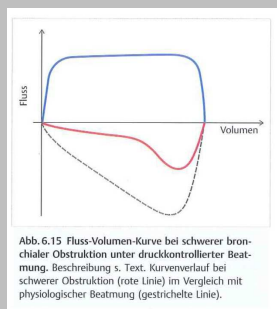


Abb. 6.15 Fluss-Volumen-Kurve bei schwerer bronchialer Obstruktion unter druckkontrollierter Beatmung. Beschreibung s. Text. Kurvenverlauf bei schwerer Obstruktion (rote Linie) im Vergleich mit physiologischer Beatmung (gestrichelte Linie).

Aus: **Beatmung von Kindern**, Neugeborenen und Frühgeborenen, Humberg et al, Thieme-Verlag, 2017

Beatmung bei Krankheitsbildern

Wichtig Unterscheidung:

Obstruktiv:

- z.B. Bronchopneumonie mit viel Sekret
- oft hohe Beatmungsdrücke
- oft niedrige Beatmungsfrequenzen
- ausreichende Sekret drainage
- Cave: Überblähung, Auto-PEEP

Restriktiv

Beatmung bei **Krupp**

- Invasive Beatmung eigentlich vermeidbar
- **Ungecuffter Tubus !!!**
- Kleineren Tubus wählen als für Alter üblich
- Beatmung eigentlich unproblematisch
- Komplex wenn gleichzeitig Bronchiolitis oder asthmähnliche Problematik
- **Extubation wenn Leck** bei Beatmung nachweisbar

Beatmung bei **Bronchiolitis und obstruktiver Bronchitis**

- Beatmung oft bei Apnoe-Bradykardie, Erschöpfung oder Entsättigung notwendig
- Versuch mittels **HFNC** (Auswaschung des Totraums dadurch Reduktion des Atemwiderstandes und CO₂-Elimination)

- Flow: in der Regel 0,2l/kg/min
- PEEP-Werte bis 8 cmH₂O messbar
- Gleichwertig im Vergleich zu CPAP-Therapie

Beatmung bei **Status asthmaticus**

- Selten aufgrund alternativer Therapieoptionen
- Druck- oder volumenkontrolliert
- Initial oft hohe Beatmungsdrücke – werden über Obstruktion „aufgebraucht“, im Alveolarraum kommen viel niedrigere Drücke an, somit **Pneugefahr nicht groß !!!**
- **Permissive Hyperkapnie** ist anzustreben (paCO₂ bis 55 mmHg)

Beatmung bei **Status asthmaticus**

- Cave: Gefahr des **Auto-PEEP** (intrinsischer PEEP)
- **I:E = 1:3 bis 1:5 !!!**
- Externer PEEP: wenig effektiv
- An assistierende **manuelle Thoraxkompression** denken, um einen immer höher werdenden intrinsischen PEEP zu minimieren

Beatmung bei **ARDS**

- **Vermeidung des Volutraumas** und **Vermeidung der Sauerstofftoxizität !!!**
- PEEP wird titriert bis bei einer **FiO₂ von 0,6** eine **ausreichende Oxygenierung** (z.B. 90 % Sättigung) möglich ist
- Beatmungsfrequenz eher hoch
- I:E wie bei Spontanatmung

Beatmung bei **ARDS**

- Tidalvolumina: niedrig halten (**5-6 ml/kg**)
- **Permissive Hyperkapnie** bis pCO₂ 60-70 mmHg
- Hierdurch **Reduktion des Volutraumas**
- Regelmäßige **Recruitment-Manöver** zur Steigerung der Oxygenierung, Ziel: **Eröffnung atelektatischer Bezirke**
- Intermittierende PEEP-Erhöhung

Rekrutierung

- NIV vermindert alveoläre Überdehnung.
- Aufrechterhaltung Frischgasfluß.
- **Rekrutierung** atelektatischer Alveolen
- Reduktion des Totraumes
- **Ventilation : Perfusion** wird optimiert

FAZIT

- Jede Form der **Beatmung** ist schlecht !
- Wenn Beatmung, dann Vermeidung von Traumata an der Alveole !
- **Wie ?**
- Beatmungsalternativen ?
- Jederzeit und vor allen frühzeitig sollte zur Schonung der Alveole über **invasivere Alternativen (ECMO)** zur Oxygenierung nachgedacht werden !

Zu Grunde liegende Literatur

Vielen Dank!
michael.schroth@diakonieneuendettelsau.de
www.cnopsche-kinderklinik.de