

Frank Bremer

1 x 1 der Beatmung

4., erweiterte Auflage



1x1 der Beatmung

Frank Bremer

4. stark überarbeitete und erweiterte Auflage

Anschrift des Autors:
Frank Bremer
Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf
Martinistrasse 52
20246 Hamburg
f.bremer@uke.uni-hamburg.de

Autorenfoto © Claudia Ketels (UKE)

Hinweis:

Wie jede Wissenschaft ist die Medizin ständigen Entwicklungen unterworfen. Forschung und klinische Erfahrung erweitern unsere Erkenntnisse, insbesondere was Behandlung und medikamentöse Therapie anbelangt. Soweit in diesem Werk eine Dosierung oder eine Applikation erwähnt wird, darf der Leser zwar darauf vertrauen, dass Autoren, Herausgeber und Verlag große Sorgfalt darauf verwandt haben, dass diese Angabe dem Wissensstand bei Fertigstellung des Werkes entspricht.

Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag jedoch keine Gewähr übernommen werden. Jeder Benutzer ist angehalten, durch sorgfältige Prüfung der Beipackzettel der verwendeten Präparate und gegebenenfalls nach Konsultation eines Spezialisten festzustellen, ob die dort gegebene Empfehlung für Dosierungen oder die Beachtung von Kontraindikationen gegenüber der Angabe in diesem Buch abweicht. Eine solche Prüfung ist besonders wichtig bei selten verwendeten Präparaten oder solchen, die neu auf den Markt gebracht worden sind. Jede Dosierung oder Applikation erfolgt auf eigene Gefahr des Benutzers. Autor und Verlag appellieren an jeden Benutzer, ihm etwa auffallende Ungenauigkeiten dem Verlag mitzuteilen.

Geschützte Warennamen (Warenzeichen) werden nicht besonders kenntlich gemacht. Aus dem Fehlen eines solchen Hinweises kann also nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt.

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. **Das gilt insbesondere für** Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

4. stark überarbeitete und erweiterte Auflage

© Lehmanns Media, Berlin 2014

Helmholtzstraße 2-9

10587 Berlin

Layout und Umschlaggestaltung: Clara Eichler, Jasmin Plawicki

Druck und Bindung: Drukarnia Dimograf, Bielsko-Biała

ISBN 978-3-86541-654-4

www.lehmanns.de

Volumenkontrollierte Beatmung

- Synonyme:**
- IPPV
 - VC (Volume Controlled)
 - VC CMV (Volume Controlled Continuous Mandatory Ventilation)
 - VC AC (Volume Controlled Assisted Controlled)
 - Volumenkontrolle
 - VCV (Volumenkontrollierte Ventilation)
 - etc.

Grundlegende Beatmungsgeräteeinstellungen:

- Atemfrequenz (Atemzüge pro Minute)
- Atemzugvolumen (entweder direkt oder berechnet über Frequenz und Atemminutenvolumeneinstellung)
- Inspirations-Flow / Peak Flow (l/min)
- Druckbegrenzung (mbar)
- PEEP
- Alarmgrenzen

Druckkontrollierte Beatmung

- Synonyme:**
- PC (Pressure Controlled)
 - DKV (Druck Kontrollierte Ventilation)
 - PCV (Pressure Controlled Ventilation)
 - PC AC (Pressure Controlled Assisted Controlled)
 - PC CMV (Pressure Controlled Continuous Mandatory Ventilation)
 - Druckkontrolle
 - etc.

Grundlegende Beatmungsgeräteeinstellungen:

- Atemfrequenz pro Minute
- Inspirationsdruck
- I:E / Inspirationszeit
- Druckanstiegszeit
- Minutenvolumenüberwachung
- PEEP
- Alarmgrenzen

BIPAP®:

- Synonyme:**
- BiLevel
 - Bi-Vent
 - Duo PAP
 - etc.

Grundlegende Beatmungsgeräteeinstellungen:

- Atemfrequenz pro Minute
- Inspirationsdruck oder oberer PEEP oberer Druck
- PEEP oder unterer PEEP oder unterer Druck
- I:E / Inspirationszeit oder Zeit für den oberen und Zeit für den unteren Druck
- Druckanstiegszeit
- Minutenvolumenüberwachung
- Alarmgrenzen

Druckunterstützung

- Synonyme:**
- PS (Pressure Support)
 - ASB (Assisted Spontaneous Breathing) (Assistierte Spontanatmung)
 - PSV (Pressure Support Ventilation)
 - SPN-CPAP/PS
 - Hilfsdruck
 - etc.

Grundlegende Beatmungsgeräteeinstellungen:

- PEEP
- PS
- Druckanstiegszeit
- Minutenvolumenüberwachung
- Apnoe oder Backupventilation
- Alarmgrenzen

Volumenunterstützung

- Synonyme:**
- VS (Volume Support)(Servo 300, Servo 300i)
 - SPN-CPAP/VS (Spontanatmung mit PEEP und Volume Support)(Evita V500)
 - VG (Volumengarantie)(Carina)
 - etc.

Grundlegende Beatmungsgeräteeinstellungen:

- PEEP
- Atemzugvolumen
- Druckanstiegszeit
- Minutenvolumenüberwachung
- Apnoe oder Backupventilation
- Alarmgrenzen

Empfohlene Einstellung des PEEP (Ziel: SpO ₂ 92% - 95%)	
FiO ₂	PEEP
0,3	5
0,4	5-8
0,5	8-10
0,6	10
0,7	10-14
0,8	14
0,9	14-18
1,0	18-24

3. ARDS Network (2000) Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. The Acute Respiratory Distress Syndrome Network. N Engl J Med 342:1301–1308

Inhalt

Vorwort	9
Vorwort zur vierten Auflage	11
Einleitung	13
1. Atmung und Beatmung	15
1.1. Atmung	15
1.2. Beatmung	16
1.3. Atemmechanik	17
2. Aufbau eines Beatmungsgerätes	19
2.1. Anschlüsse	19
2.2. Aufbau außerhalb des Gerätes	19
2.3. Aufbau geräteintern	20
2.4. Bedienung und Überwachungselemente	20
2.5. Steuerung der Ventile durch das Beatmungsgerät	21
2.6. Allgemeine Funktionsbeschreibung	23
3. Parameter	24
3.1. Inspirationsflow	24
3.2. Trigger	24
3.2.1. Druck-Trigger	25
3.2.2. Flow-Trigger	26
3.2.3. NAVA	27
3.3. PEEP	30
3.4. Plateau	32
3.4.1. Intrinsischer PEEP	34
3.5. I:E	35
3.5.1. IRV	36
3.6. Druckanstiegszeit „Rampe“	36
3.7. Flow-Kurven-Einstellung	38
3.7.1. Funktion der Flow-Kurven	38
3.8. Anmerkung zu den nachfolgenden Beatmungsfunktionen	39
4. Maschinelle Beatmungsmuster	40
4.1. Volumenkontrollierte Beatmung	40
4.1.1. Besonderheit der Evita $\Rightarrow$ IPPV (Volumenkonstant)	43

4.2. Druckkontrollierte Beatmung	45
4.2.1. Besonderheit der Evita ⇨ IPPV (PCV)	48
4.2.2. Besonderheit der Evita ⇨ IPPV (PLV)	49
4.3. Besonderheit BIPAP	51
4.3.1. Ventilsteuerung bei BIPAP	56
4.3.2. BIPAP Sonderformen	58
4.3.2.1. BIPAP SIMV	58
4.3.2.2. BIPAP APRV	58
4.3.2.3. BIPAP ASB	59
4.3.2.4. BIPAP ASSIST	59
4.4. Besonderheit S/T	59
4.5. Besonderheit ASV	61
4.6. Besonderheit PC-PSV	63
5. Kombinierte Beatmungsmuster	64
5.1. BIPAP	64
5.2. ASV	64
5.3. SIMV	64
5.4. MMV	66
6. Spontanatmung am Beatmungsgerät	68
6.1. CPAP	68
6.1.1. Ventilsteuerung bei CPAP	69
6.1.1.1. Continuous-Flow CPAP	69
6.1.1.2. Demand-Flow CPAP	70
6.1.1.3. Flow By	71
6.1.2. Apnoeüberwachung / Apnoebeatmungsmuster	72
6.1.3. Atemfrequenzüberwachung	73
6.2. SB (Spontaneous Breathing)	74
7. Sauerstoffinsufflation	75
7.1. Sauerstoffinsufflation am Beatmungsgerät	75
7.2. Medikamentenverneblung am Beatmungsgerät	76
7.3. Atemgas – Klimatisierung – Konditionierung	76
8. Zusatzeinstellungen	78
8.1. Unterstützung der Atemarbeit	78
8.1.1. Druckunterstützung (PS / ASB)	78
8.1.2. Variable Druckunterstützung (Variable PS)	81
8.1.3. Volumenunterstützung (VS)	82
8.1.4. PPS / PAV	83

8.2. Verminderung der tubusbedingten Atemarbeit	85
8.2.1. Tubuskompensation (ATC / TC)	87
8.2.2. TC	91
8.2.3. ARC	91
8.3. Hilfen zur Automatisierung des Beatmungsmusters	91
8.3.1. AutoFlow®	91
8.3.2. APV	92
8.3.3. PRVC	92
8.3.4. VG	93
8.3.5. Automode®	93
8.4. Automatische Weaningprogramme	93
8.4.1. ASV	93
8.4.2. SmartCare / PS	94
9. Seufzer	96
10. Rekrutierung	98
11. Compliance / Resistance	99
11.1. Compliance	99
11.2. Resistance	100
11.3. Kompartimente der Lunge	101
12. Grafische Unterstützung zum „Feintuning“	104
12.1. Flowkurven -Anzeige / -Bildschirm	104
12.2. LOOPS	106
12.2.1. Messmethode Low Flow PV-Loop	108
13. Weaning	109
14. Spontanatmung von Anfang an	111
15. NIV	112
15.1. Automatische Leckagekompensation	114
15.2. AutoAdapt™	115
15.3. Optiflow™	116
16. Monitoring	118
16.1. Standardmonitoring der Beatmung	118
16.1.1 CO ₂ -Messung Kapnometrie	118
16.2. Zusätzliche Messmöglichkeiten	121

16.2.1. Okklusionsdruck	121
16.2.2. Intrinsic PEEP / Auto PEEP	122
16.2.3. RSB(I)	122
16.2.4. NIF	123
16.2.5. SBT	123
16.3. Trends	124
16.4. Bildschirmanzeige oder „Wohin mit der Informationsflut?“	124
16.4.1. „Ventilation Cockpit™“	124
16.4.2. „Smart Pulmonary View“	127
17. Alarme	130
17.1. Besonderheiten	131
17.2. Sicherheitsfunktion bei der Parametereinstellung	132
17.3. Alarme, deren Bedeutung, Ursache und Problemlösungsvorschläge	133
17.4. Aktive Alarme	137
18. Gerätetest	138
18.1. Medizinproduktegesetz	139
19. Standardeinstellungen	141
19.1. Grundregeln (Invasive Beatmung)	141
19.2. Beispiel 1	142
19.3. Beispiel 2	143
20. Neue Nomenklatur der Beatmungsmodi	145
21. Zusatzverfahren zur Unterstützung der schwierigen Beatmung	146
21.1. Extracorporale Verfahren	146
21.1.1. iLA® / pECLA	147
21.1.2. iLA active®	150
21.1.3. ECMO / ECLA	150
21.1.4. ECLS	151
21.2. HFOV	151
21.3. NO (Stickstoffmonoxid) Beatmung	152
Literaturverzeichnis	154
Abkürzungen	157
Stichwortverzeichnis	164

Vorwort

Eine der wesentlichen Entwicklungen in der Behandlung von Intensivpatienten wurde über die vergangenen Jahrzehnte sicherlich in der Beatmungstherapie erzielt. Durch neue Erkenntnisse in der Physiologie bzw. Pathophysiologie von Atmung und vor allem der Beatmung sind wir heute in der Lage, Patienten "lungenprotektiv" zu beatmen und wesentliche Nebenwirkungen der Respiratortherapie so zu minimieren, dass größere pulmonale und systemische, beatmungsbedingte Schädigungen der Patienten vermieden werden können.

Ziele der modernen Beatmung sind heutzutage nicht nur die Zeit, eine Atemstörung zu überbrücken, sondern die Beatmung an die Ursachen der Störungen und die individuellen Bedürfnisse des Patienten anzupassen. Moderne Beatmung erfordert aufgrund ihrer Komplexität einen hohen personellen Aufwand sowie ein hohes Maß an Teamarbeit, um die technischen Möglichkeiten zum Nutzen der Patienten optimal anwenden zu können.

In den letzten drei Jahrzehnten des vergangenen Jahrhunderts erlebten wir geradezu eine Inflation an Beatmungsverfahren. Damit wurde die Beatmung immer komplexer, aber nicht zwangsläufig besser. Viele Beatmungsverfahren blieben z. T. ohne nennenswerten therapeutischen Nutzen für die Patienten und trugen dazu bei, die Anwender eher zu verwirren als gezielt zu unterstützen. In den letzten Jahren ist bei Entwicklern von Beatmungsverfahren und den Herstellern von Beatmungsgeräten ein Trend zu erkennen, den komplexen Arbeitsplatz Intensivmedizin bezüglich der Beatmungstherapie durch neue Entwicklungen ergonomischer und übersichtlicher zu gestalten und die Anwendung zu erleichtern.

Dieser Trend setzt sich z. T. auch in Lehrbüchern zur Beatmungstherapie durch. So ist auch diese Fibel von Frank Bremer ein Schritt, dem Leser die moderne Beatmungstherapie auf leicht verständliche Weise näher zu bringen. Inhaltlich hat er sich daher auf die wesentlichen technischen Möglichkeiten beschränkt. Tiefere Einblicke in die Physiologie und Pathophysiologie der Beatmungstherapie kann der interessierte Leser allerdings nur durch entsprechende Fachliteratur gewinnen.

Frank Bremer hat in den letzten 15 Jahren innerhalb der Intensivmedizin eine Entwicklung vom Pfleger zum Medizintechniker

durchlaufen und gezielt den direkten Kontakt zu dem behandelnden Intensivteam nicht verloren. Unter anderem werden Pflege- und ärztliches Personal seit Jahren im Rahmen der Medizinprodukte-Betreiberverordnung in die entsprechenden Geräte durch ihn eingewiesen. Sein besonderes Interesse gilt neben den Beatmungsgeräten auch der Beatmungstherapie. Mittlerweile ist sein Beatmungstag „Geräteeinweisung zur Beatmung“ für Intensivpflege und Intensivmediziner unseres Klinikums zu einer anerkannten Tradition geworden. Wesentliche Inhalte dieser Fortbildung sind in sein kleines Büchlein eingeflossen. Dem Leser wünsche ich den gleichen Nutzen, den so viele Mitarbeiter der Intensivstationen unseres Klinikums in den letzten Jahren erfahren haben.

Dr. Werner Pothmann
Hamburg, 02.03.2007

Vorwort zur vierten Auflage

Neben den üblichen Anpassungen und Korrekturen ist die vierte Auflage hauptsächlich erweitert durch Themen, die als Zusatz-Therapien oder -Verfahren bei der Beatmung eingesetzt werden, um die Lungenfunktion zu unterstützen bzw. eine maximal lungenprotektive Beatmung zu realisieren.

Es wird ein kurzer Überblick über folgende Verfahren gegeben:

- iLA® (pECLA)
- iLA-Active®
- ECMO
- HFOV
- NO-Beatmung

Außerdem etwas über:

- Optiflow™
- Medikamentenverneblung
- Erwärmung und Befeuchtung des Atemgases
- CO₂-Messung

Mein Dank gilt wieder einmal allen, die mich bei der Realisierung der 4. Auflage unterstützt haben.

Frank Bremer
Hamburg, im Frühjahr 2014

Einleitung

Dieses Buch ist aus einem Begleit-Manuskript zur Einarbeitung von neuen Mitarbeitern auf einer Intensivstation entstanden. Es richtet sich hauptsächlich an Pflegekräfte und Ärzte, die sich zum ersten Mal mit dem Thema Beatmung auseinandersetzen müssen. Demzufolge habe ich versucht, dieses umfangreiche Thema möglichst leicht verständlich darzustellen, was eventuell von Experten in einigen Punkten als zu ungenau beurteilt werden kann. Bücher für Fortgeschrittene oder Profis gibt es zur Genüge.

Die beschriebenen Einstellungen der Beatmungsgeräte stellen nur Beispiele dar. Keinesfalls lässt sich dieses Buch als „Kochbuch“ benutzen, um die Beatmungsgeräte mit den beschriebenen Parametern einzustellen.

Welche Beatmungsmuster eingesetzt werden, ist von der Philosophie der leitenden Mediziner abhängig und von Klinik zu Klinik oder auch von Station zu Station unterschiedlich.

Ein moderner Respirator bietet alle technischen Möglichkeiten. Deshalb auch die immense Flut an Einstellmöglichkeiten. Ob dieser Bedienungsumfang sinnvoll ist oder nicht, bleibt dahingestellt. In der Praxis genutzt werden nur wenige Beatmungsmuster.

Die Beatmungsmuster und Zusatzeinstellungen werden anhand von Druck- oder Flowkurven erklärt, wie sie annähernd auf den Bildschirmen der Beatmungsgeräte dargestellt werden. Einige Kurven sind zum besseren Verständnis schematisch dargestellt.

1. Atmung und Beatmung

1.1. Atmung

Mit Atmung bezeichnet man alle Vorgänge, die zum Austausch von Sauerstoff und Kohlendioxyd im Organismus dienen. Man unterscheidet innere und äußere Atmung.

Die innere Atmung umfasst die Stoffwechselprozesse, die zur Energiegewinnung in den Zellen dient (Zellatmung). Dazu ist Sauerstoff nötig, der über die äußere Atmung beschafft werden muss. Als Abfallprodukt entsteht Kohlendioxyd, welches durch die äußere Atmung entsorgt wird.

Die äußere Atmung ist in drei aufeinanderfolgende Bereiche eingeteilt. Sie beginnt mit der Ventilation (Inspiration incl. der Verteilung in der Lunge bis zu den Alveolen und Expiration), es folgt die Diffusion (Gasaustausch von Sauerstoff und Kohlendioxyd an der alveolo-kapillären Membran, also O_2 aus den Alveolen in das Blut, CO_2 aus dem Blut in die Alveolen) und endet mit der Perfusion (Transport des Sauerstoffs zu den Zellen und Abtransport des Kohlendioxyds zur Lunge durch das Blut und den Blutkreislauf).

Allgemein wird unter Atmung nur die Ventilation verstanden, die hier näher beschrieben wird:

Bei der Inspiration zieht sich das Zwerchfell zusammen und vergrößert das Volumen des Thorax.

Zusätzlich dehnt sich der Thorax durch Muskelaktionen aus. Die Pleurablätter, die zum einen die Rippen zum anderen die Lungen umkleiden, liegen mit einem dünnen Flüssigkeitsfilm dazwischen eng aufeinander. Dehnt sich nun der Thorax mit dem Rippenfell aus, so wird die Lunge durch Sog am Lungenfell mit entfaltet. Der Raum in der Lunge wird somit größer und es entsteht ein Unterdruck, der bewirkt, dass nun Luft durch die Atemwege in die Lunge strömt.

Der intrapleurale Druck, der dem intrathorakalem Druck entspricht wird bei der Inspiration negativ und begünstigt den venösen Rückstrom zum Herzen.

Bei der Expiration wird der Thorax verkleinert, indem die aktive Muskulatur ihren Tonus entspannt. Aufgrund der Eigenelastizi-

tät verkleinert sich die Lunge und die Inspirationsluft gelangt durch die Atemwege nach Außen.

Da durch die Atemwege immer eine Verbindung zu der normalen Umgebung (Außenluft) besteht und keinerlei Ventile vorhanden sind, die die Inspiration und Expiration steuern, werden negative und positive Druckunterschiede in der Lunge (gegenüber dem Atmosphärendruck der Außenluft) sofort durch einströmende oder ausströmende Luft ausgeglichen.

Die Abbildung 01 zeigt eine Spontanatmung an einem Beatmungsgerät.

1.2. Beatmung

Bei der Beatmung wird eine gestörte Eigenatmung des Patienten unterstützt oder ersetzt. Das Prinzip der Atmung wird während der Beatmung umgekehrt. Durch den vom Beatmungsgerät aufgebauten positiven Druck wird das Atemgas in die Lunge gedrückt. Gerade wenn die Lunge vorgeschädigt ist (ARDS etc.), aber auch bei einer gesunden Lunge können Druck und/oder Volumentraumen entstehen.

Der intrapleurale Druck ($\triangle$ intrathorakaler Druck) wird bei der Inspiration positiv und vermindert den venösen Rückstrom zum Herzen.

Die Ausatmung erfolgt wie bei der Atmung passiv, allerdings nur bis auf ein eingestelltes Druckniveau.

Eine wesentliche Aufgabe bei der Beatmungstherapie besteht darin, die Nebenwirkungen der maschinellen Beatmung so gering wie möglich zu halten. Stichwort: „Lungenprotektive Beatmung“.