

Volumen Garantie
Neue Ansätze bei der volumenkontrollierten
Beatmung für Neonaten

Jag Ahluwalia, Colin Morley, Hans Georg Wahle

Wichtiger Hinweis:

Das medizinische Wissen wandelt sich ständig als Folge von Forschung und klinischer Erfahrung. Die Autoren dieses Leitfadens haben jede Anstrengung unternommen, Informationen auf neuestem Stand zu geben, insbesondere im Hinblick auf Anwendungen und Betriebsarten. Die Verantwortung für alle klinischen Maßnahmen muß aber weiterhin beim Leser bleiben.

Geschrieben von:

Dr. Jag Ahluwalia MA FRCPCH
Consultant Neonatologist and Director,
Neonatal Intensive Care Unit
Rosie Hospital
Cambridge, UK

Professor Colin Morley MD FRCP FRCPCH FRACP
Professor/Director, Neonatal Medicine
The Royal Women's Hospital
132 Grattan Street
Carlton, Victoria
Australia

Hans Georg Wahle Dipl. Ing. BSc Hons
Drägerwerk AG & Co. KGaA
Moislinger Allee 53–55
23558 Lübeck, Germany

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung behält sich die Drägerwerk AG & Co. KGaA vor. Ohne schriftliche Genehmigung durch die Drägerwerk AG & Co. KGaA darf kein Teil des Werkes in irgendeiner Form mit mechanischen, elektronischen oder fotografischen Mitteln reproduziert oder gespeichert werden.

ISBN 3-926762-49-7

Volumen Garantie
Neue Ansätze bei der volumenkontrollierten
Beatmung für Neonaten

Jag Ahluwalia
Colin Morley
Hans Georg Wahle

INHALT

1.0	Einleitung	06
2.0	Der Zweck der künstlichen Beatmung	07
2.1	Warum eigentlich über Tidalvolumina nachdenken?	09
2.2	Volumenbedingte Lungenschädigung	09
3.0	Die besonderen Probleme bei der Beatmung Neugeborener	12
3.1	Die Folgen für die klinische Praxis	14
4.0	Volumenkontrollierte Beatmung: Konzeption, Bedienung, Einschränkungen	16
5.0	Druckbegrenzte Beatmung: Konzeption, Bedienung, Einschränkungen	19
6.0	Vor- und Nachteile der volumengesteuerten und druckbegrenzten Beatmungsgeräte	22
7.0	Messung des Tidalvolumens beim Neugeborenen – Wie überwindet das Babylog 8000plus diese Schwierigkeiten?	23
8.0	Was ist die Volumen Garantie (VG) und wie funktioniert sie?	24
8.1	Alarmparameter und V_T -Grenzen bei Volumen Garantie	29
8.2	Einleitung von VG beim Neugeborenen	
8.2.1	Tidalvolumenorientierter Ansatz	31
8.2.2	„Konventioneller“ druckorientierter Ansatz	35
8.3	Welche sind die wichtigen Überwachungs-parameter beim Einsatz von VG?	
8.3.1	Was tun bei $<V_T$ tief>-Alarm	39
8.3.2	Was tun bei zu niedrig eingestelltem P _{insp}	39
8.3.3	Was tun bei zu niedrig eingestelltem Inspirationsflow	40
8.3.4	Was tun bei zu kurzer Inspirationszeit	41

INHALT

9.0 Fortlaufende Betreuung von Früh- und Neugeborenen unter VG	42
9.1 Entwöhnung bei Volumen Garantie	42
9.2 Gibt es Neonaten, für die die VG vielleicht nicht in Frage kommt?	
9.2.1 Große ET-Tubusleckagen	44
9.2.2 Neonaten mit sehr kräftiger Atemanstrengung	45
10.0 Potentielle Vorteile der Volumen Garantie Beatmung	46
11.0 Was man bei der Volumen Garantie nicht vergessen sollte	47
12.0 Glossar	48
13.0 Abkürzungen	52
14.0 Fallbeispiele	53
15.0 Literaturverzeichnis	65

1. Einleitung

Volumen Garantie (VG) ist eine neue Option für die patientengetriggerten Beatmungsformen des Babylog 8000plus. Sie wurde entwickelt, um die Vorteile der druckbegrenzten und der volumengesteuerten aaBeatmung zu vereinen und gleichzeitig deren spezifische Nachteile zu vermeiden.

Mit der Volumen Garantie soll der Kliniker geeignete Tidalvolumina wählen können, mit denen das neugeborene Kind beatmet werden kann, ohne dabei auf die beachtlichen Vorteile der druckbegrenzten Beatmung verzichten zu müssen. Das Neugeborene soll im Durchschnitt wesentlich stabilere Tidalvolumina von Atemzug zu Atemzug erhalten, ohne die Schwankungen, die bei der üblichen drucklimitierten Beatmung entstehen. Am besten beschreibt man dies als druckbegrenzte Beatmung mit kontinuierlichem Flow und geführter oder gezielter Applikation des Tidalvolumens.

Obwohl für die getriggerten Beatmungsmodi beim Babylog 8000plus ausgelegt, kann die Volumen Garantie auch für Patienten mit reduziertem oder sogar fehlendem Atemantrieb eingesetzt werden.

Diese Broschüre stellt die neue Option dem Anwender vor und führt ihn in die Beatmung mit VG ein. Auf theoretische Überlegungen sowohl bezüglich der Druck- als auch der Volumenbeatmung folgen praktische Beispiele für den Einsatz der Volumen Garantie in typischen Anwendungsfällen. Diese klinischen Fallbeispiele sind wertfrei und erheben nicht den Anspruch zu zeigen, VG sei anderen Modi überlegen. Solche Behauptungen müßten erst durch geeignet angelegte klinische Studien geprüft werden. Obwohl die Broschüre Empfehlungen gibt für den Einsatz von VG in der klinischen Praxis, liegt die therapeutische Entscheidung sowie die Verantwortung für möglicherweise daraus entstehende Folgen in der Verantwortung des behandelnden Arztes.

2. Der Zweck der künstlichen Beatmung

Streng genommen ist die Apnoe die einzige absolute Indikation für künstliche Atemunterstützung. Andere bewährte Indikationen für die Einleitung der Beatmung sind variabel und man muß sie im Kontext der klinischen Situation betrachten. Bei ausreichendem Lungenvolumen, einem für den Transport von Sauerstoff aus dem Alveolarbereich in den Blutstrom günstigen Sauerstoffkonzentrationsgradienten und guter Durchblutung kann eine Oxygenierung trotz zeitweiliger Hypoventilation erzielt werden. Ein solches Lungenvolumen läßt sich erreichen und aufrechterhalten, indem man die Lungen ständig mit einem Druck dehnt, der die Alveolen offenhält – dem sogenannten Öffnungsdruck. Der Gradient der Sauerstoffkonzentration läßt sich aufrechterhalten, indem man einfach den O_2 -Gehalt der Frischgasversorgung erhöht. Obwohl hoher FiO_2 -Bedarf die endotracheale Intubation erfordern kann, damit ein ausreichender Sauerstoffgradient entsteht, ist künstliche Beatmung in dieser Situation nicht notwendigerweise erforderlich.

Im Gegensatz zur Oxygenierung erfordert die CO_2 -Entfernung eine konstante Be- und Entlüftung der Lunge. Bei hohem $PaCO_2$ -Niveau sowie niedrigem $PACO_2$ diffundiert Kohlendioxid sehr leicht aus dem Blutstrom in den Alveolarraum. Da der CO_2 -Partialdruck im Blutstrom viel höher ist als im Alveolarbereich (die eingeatmete CO_2 -Konzentration ist praktisch null) und CO_2 schnell in den Alveolarbereich übergeht, geht dieser für die CO_2 -Diffusion günstige Gradient bei einer Apnoe schnell verloren. Bei anhaltendem zellulären Stoffwechsel führt eine Apnoe zur schnellen Ansammlung von CO_2 im Blutstrom; die Oxygenierung kann dabei durchaus normal bleiben. Um diesen Diffusionsgradienten aufrechtzuerhalten, ist also eine kontinuierliche Ausspülung des „ausgeatmeten“ Alveolargases und Ersatz mit frischem „eingeatmetem“ Gas erforderlich.

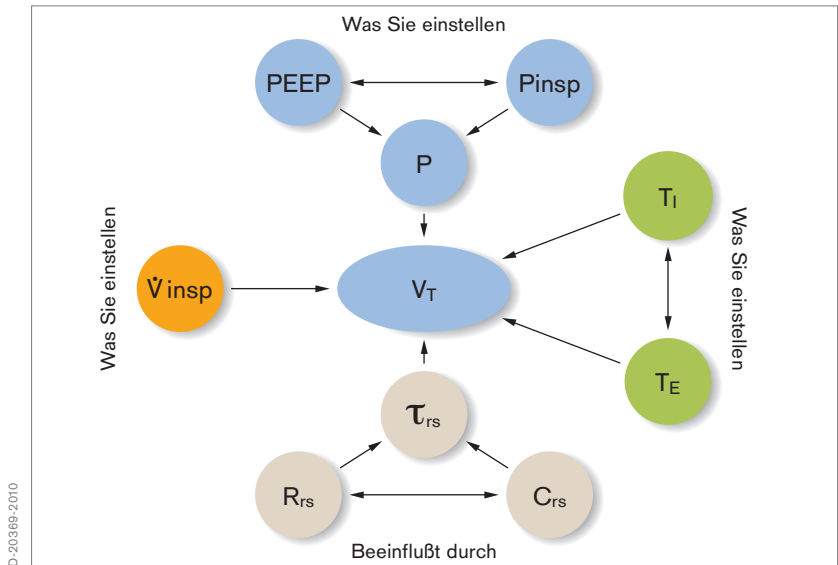


Bild 1: Faktoren, die das Tidalvolumen bei drucklimitierter Beatmung mit kontinuierlichem Flow beeinflussen.

Damit eine adäquate CO_2 -Abgabe bei konventionellen Beatmungsfrequenzen sichergestellt ist, müssen die Volumina der Atemzüge größer sein als der gesamte mechanische und anatomische Totraum. Eines der grundlegenden Ziele der konventionellen künstlichen Beatmung ist es also, Tidalvolumina zu applizieren, die groß genug sind, ausreichende alveoläre Ventilation zu gewährleisten.

Bei der konventionellen neonatalen Beatmung (d. h. zeitgesteuerte, druckbegrenzte Beatmung), hängt das Tidalvolumen von mehreren Faktoren ab, unter anderem von Volumen und Compliance des Schlauchsystems, der Lungencompliance, der Endotracheal-Tubusleckage sowie von dem Widerstand des ET-Tubus. Wenn all diese Faktoren konstant sind, bestimmt der während des Beatmungshubes erzeugte Inspirationsdruck

(Bild 1) die Größe des Tidalvolumens. Obwohl der Arzt bei herkömmlichen Neonatalbeatmungsgeräten diesen Druck selbst einstellen muß, bestimmt er damit eigentlich das Tidalvolumen. Die Wahl dieses Druckes fungiert also stellvertretend für die Einstellung eines geeigneten Tidalvolumens.

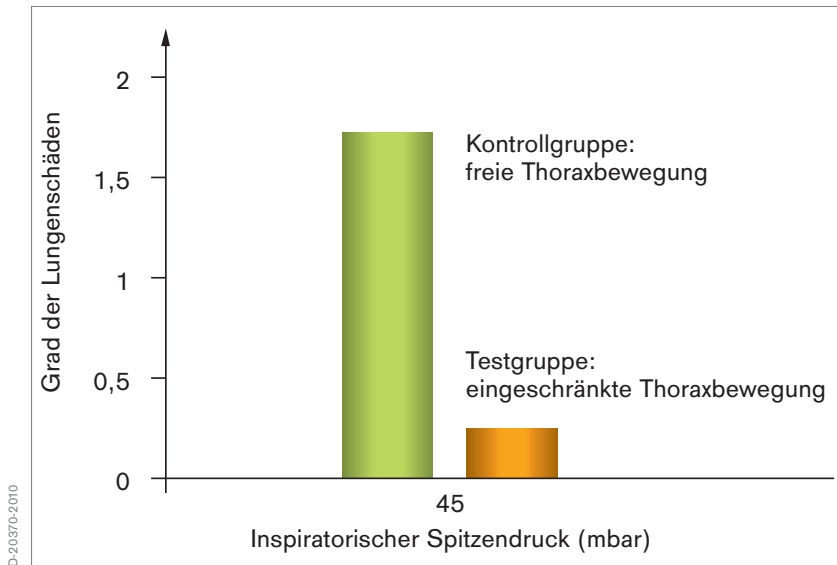
2.1 WARUM EIGENTLICH ÜBER TIDALVOLUMINA NACHDENKEN?

hängt die alveoläre Ventilation und damit auch die CO_2 -Ausspülung vom Tidalvolumen ab. Bei Beatmung mit konventionellen Frequenzen und positivem Druck würde ein Tidalvolumen unterhalb des gesamten Totraumvolumens zu unzureichendem Austausch des Alveolargases führen, unabhängig von Atemfrequenz oder Minutenvolumen. Kohlendioxid würde sich schnell im Blutkreislauf ansammeln und die damit verbundenen Komplikationen einer Hyperkapnie heraufbeschwören. Solche kleinen Tidalvolumina würden auch zu progressiver Atelektase führen, das Ventilations-Perfusions-Verhältnis verschlechtern und schließlich die Oxygenierung beeinträchtigen.

2.2 VOLUMENBEDINGTE LUNGENSCHÄDIGUNG

Im anderen Extremfall könnte ein zu hohes Tidalvolumen die Alveolen und Atemwege überdehnen und so die Lunge durch Scherkräfte mechanisch überlasten und schädigen. Das kann zum Beispiel zu pulmonalem interstitiellem Emphysem oder zum Pneumothorax führen, wobei diese Luft-Leckage-Syndrome wiederum eine Rolle bei der anschließenden Entwicklung einer bronchopulmonalen Dysplasie spielen. Es gibt immer mehr Indizien für die These, daß die Lunge eher durch Überdehnung als durch hohe Drücke geschädigt wird und daß Volumentrauma wichtiger ist als Barotrauma. Dreyfuss hat gezeigt, daß Beatmung mit hohen Tidalvolumina zur Bildung von pulmonalen Ödemen führt [1] und daß Überblähungen von nur zwei Minuten Dauer vorübergehende Veränderungen der pulmonalen mikrovasculären Permeabilität bei Ratten verursachen können [2]. Hernandez [3] hat den Einfluß von identischer Hochdruck-Ventilation mit und ohne eingeschränkte Bewegung des Thorax auf Versuchstiere untersucht und die zentrale Rolle von Überdehnung bei der Entwicklung der

Lungenschädigung elegant bewiesen. Bild 2 unten faßt die wesentlichen Ergebnisse der Hernandez-Studie zusammen. Kaninchen mit Brustkorbmanschetten aus Gips wiesen deutlich weniger Lungenschädigungen auf als Vergleichsgruppen ohne Manschette. Beide Gruppen wurden identischen Drücken und somit einem identischen Grad von Barotrauma ausgesetzt. Die Gruppe mit Manschette zeigte sehr begrenzte Thoraxexkursionen im Vergleich zur Kontrollgruppe; vermutlich schützt gerade diese geringe Volumenänderung vor Lungenschädigung, auch bei hohen Atemwegsdrücken.



D:\203770-2010

Bild 2: Grad der Lungenschädigung bei Kaninchen mit und ohne Gipsmanschette um den Brustkorb bei Beatmung mit 45/5 mbar. Die gelbe Spalte stellt die Gruppe mit uneingeschränkter Thoraxbewegung dar, die orangefarbene Spalte die Tiere mit eingeschränkter Brustkorbbewegung. Der Grad der Lungenschädigung ist bei der eingeschränkten Gruppe deutlich niedriger als bei der Kontrollgruppe. Adaptiert aus Hernandez LA, et al. [3]

Bjorkland et al haben gezeigt, daß eine Überdehnung der Lunge bei frühgeborenen Lämmern zum Zeitpunkt der Geburt zu signifikanten Schädigungen führt [4].

Hier lautet die Hypothese, daß die Überdehnung von Lunge und Atemwegen beim Neugeborenen eine Lungenschädigung eher verursacht als allein übermäßig hohe Drücke. Andere Studien lassen ebenfalls einen ungünstigen Effekt der Hyperkapnie vermuten bei der Entwicklung chronischer Lungenerkrankungen und implizieren die Möglichkeit neurologischer Läsionen wie zum Beispiel periventrikulärer Leukomalazie. Diese These wurde von mehreren Studien, unter anderem von Avery et al [5] und Kraybill et al [6] gestützt. Darüberhinaus kann extreme Überdehnung möglicherweise den venösen Rückstrom behindern und als Folge die Herzfunktion beeinträchtigen, was die Notwendigkeit einer Blutdruckunterstützung erhöht.

Zusammenfassung:

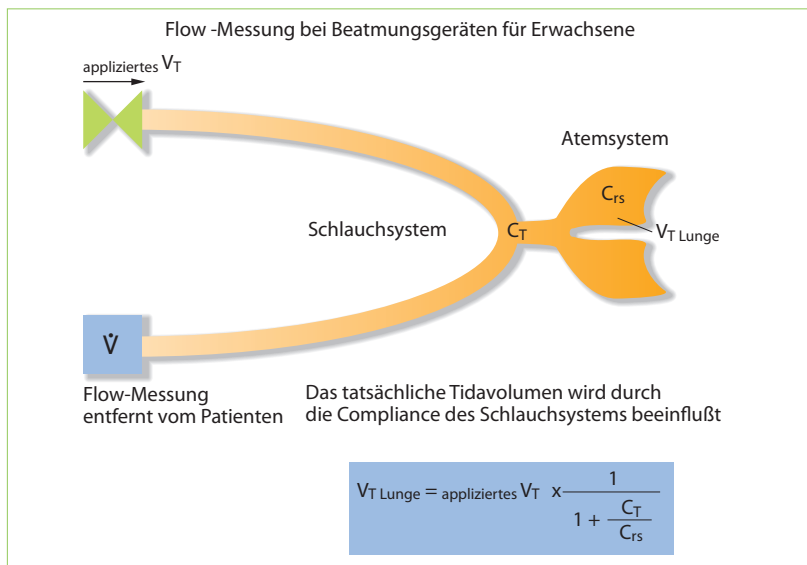
Warum eigentlich über Tidalvolumina nachdenken?

- Ein Tidalvolumen kleiner als oder fast so groß wie der gesamte Totraum führt zu einem unzureichenden Alveolargasaustausch.
- Ein zu hohes Tidalvolumen kann Alveolen und Atemwege überdehnen und die Lunge durch mechanische Scherkräfte schädigen.
- Die Lunge wird eher durch Überdehnung als durch hohe Drücke geschädigt; Volumentrauma ist ebenso wichtig wie Barotrauma.

3. Die besonderen Probleme bei der Beatmung von Früh- und Neugeborenen

Bevor wir die Einschränkungen der heute verfügbaren druckbegrenzten und volumengesteuerten Beatmungsgeräte betrachten, ist es hilfreich, auf die spezifischen Probleme der Beatmung von Neonaten einzugehen, insbesondere solcher mit niedriger Lungencompliance wie bei RDS. Neonaten werden mit einem ungeblockten ET-Tubus beatmet. Das kann eine variable Leckage am Tubus mit sich bringen, je nach inspiratorischem Druck, Halsposition und Platzierung des Endotracheal-Tubus. Die Leckage wird primär vom Druck des Atemgases beeinflusst; am größten ist sie in der Inspiration, wenn der Druck P_{insp} anliegt, während in der Expiration die Atemwege auf dem wesentlich niedrigeren PEEP gehalten werden. Wenn nun das applizierte Tidalvolumen nur inspiratorisch gemessen wird, enthält der Meßwert auch die durch das Leck entweichende Gasmenge und man überschätzt das applizierte V_T ; eine deutliche Diskrepanz zwischen eingestelltem und appliziertem V_T kann auftreten.

Das zweite wesentliche Problem in der Neugeborenenbeatmung hat zu tun mit der niedrigen Compliance der Lunge im Vergleich zur Compliance des Schlauchsystems. Hierdurch kann bei festem Inspirationsdruck das in der Lunge ankommende Tidalvolumen viel kleiner sein als das Tidalvolumen, welches das Schlauchsystem füllt. Mißt man das applizierte Tidalvolumen am Beatmungsgerät, so entsteht ein signifikanter Fehler bei der Bestimmung des zum Patienten gelangenden Volumens, selbst wenn das an Patienten und Schlauchsystem abgegebene Gesamttidalvolumen korrekt ist (Bild 3).



D-20371-2010

Bild 3: Schematische Darstellung von Schlauchsystem mit Compliance C_T und Atemsystem mit Compliance C_{RS} . Wenn C_T im Vergleich zu C_{RS} hoch ist, schluckt das Schlauchsystem den Großteil des applizierten Gesamtvolumen V_T ; nur der Rest gelangt in die Lunge. Mißt man den Flow nahe am Beatmungsgerät (blauer Kasten), also weit entfernt vom Patienten, überschätzt man $V_{T \text{ LUNGE}}$.

3.1 DIE FOLGEN FÜR DIE KLINISCHE PRAXIS

Angesichts der spezifischen Probleme bei der Beatmung Früh- und Neugeborener sollte man das expiratorische Tidalvolumen zwischen Y-Stück und Endotracheal-Tubus messen, um das tatsächlich im Patienten ankommende Volumen zu erfassen (Bild 4).

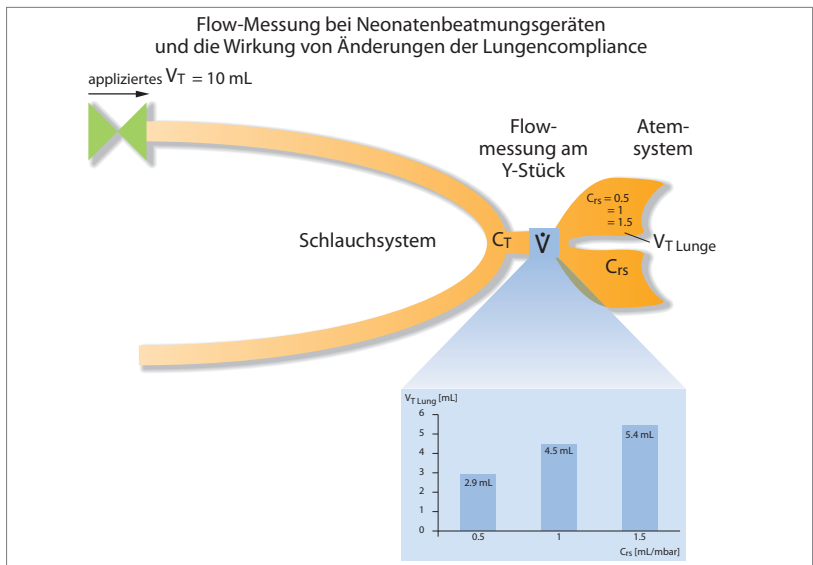


Bild 4: Eine Volumenmessung, die nicht am Y-Stück vorgenommen wird, liefert das Gesamtvolumen, das sich auf Schlauchsystem und Patientenlunge verteilt (appliziertes V_T). Der auf die Lunge entfallende Anteil wird durch Veränderungen der respiratorischen Compliance C_{rs} bei konstanter Compliance des Schlauchsystems deutlich beeinflusst. Je niedriger die respiratorische Compliance C_{rs} bei konstanter Compliance des Schlauchsystems, desto mehr Volumen bleibt im Schlauchsystem zurück und desto weniger kommt beim Patienten an. Beispiel: Schlauchsystem hat 1,2 mL/mbar Compliance, C_{rs} beträgt 0,5 mL/mbar; von 10 mL Gesamtvolumen verschluckt das Schlauchsystem 7,1 mL, $V_{T \text{ Lung}}$ beträgt nur 2.9 mL.

Erwachsene oder größere Kindern dagegen haben relativ große Lungenvolumina im Vergleich zum kompressiblen Volumen des Schlauchsystems. Somit ist auch bei recht complianten Schlauchsystemen das an den Patienten abgegebene Tidalvolumen im Vergleich zu dem im Schlauch verbleibenden Rest relativ hoch, was Hypoventilation vermeidet.

Die Probleme mit Leckage am Endotracheal-Tubus und Compliance werden beim Neonaten noch dadurch verschärft, daß beide Faktoren von Atemzug zu Atemzug variieren können und auch von Änderungen bei der zugrundeliegenden Lungenerkrankung abhängen.

Schließlich noch ein weiterer Unterschied: bei der Behandlung Erwachsener und Kinder ist es gängige Praxis, Spontanatmung normalerweise nur während der Entwöhnung zuzulassen (mit Ausnahme von BIPAP¹⁾ und AutoFlow[®] beim Evita-Beatmungsgerät); die Beatmung Früh- und Neugeborener aber wird oftmals vor einem Hintergrund der Spontanatmung praktiziert.

¹⁾ Eingetragenes Warenzeichen

4. Volumenkontrollierte Beatmung: Konzeption, Bedienung, Einschränkungen

Trotz einiger neuer Optionen bleibt es das grundlegende Funktionsprinzip der volumengesteuerten Beatmungsgeräte, ein bestimmtes Tidalvolumen mit jedem Beatmungshub zu liefern. In der einfachsten Form ermöglichen volumengesteuerte Respiratoren dem Anwender, das Tidalvolumen, die Frequenz (und somit ein bestimmtes Minutenvolumen), sowie Standard-einstellungen für Inspirations- und Expirationszeiten einzustellen. Der Respirator liefert das eingestellte V_T an das Schlauchsystem, indem er den dafür erforderlichen Druck erzeugt. Die Inspiration endet, wenn dieses V_T geliefert ist oder nach Ablauf einer maximalen Inspirationszeit. Letzteres verhindert, daß Beatmungsgerät zu lange in der Inspirationsphase bleibt. Im Gegensatz zu Beatmungsgeräten mit kontinuierlichem Flow gibt es in der Regel keinen Frischgasstrom während der maschinellen Expiration; bei manchen Geräten muß der Patient den hohen Widerstand eines Demand-Ventils überwinden, um an den Frischgasflow zu kommen – BIPAP und AutoFlow bei der Evita bilden eine Ausnahme.

Die volumengesteuerte Beatmung hat Vor- und Nachteile. Der wichtigste Vorteil besteht darin, daß das tatsächlich an das Schlauchsystem abgegebene Tidalvolumen konstant bleibt trotz sich schnell ändernder Lungencompliance, beispielsweise als Folge von Surfactant-Therapie, sich änderndem Krankheitsbild, anderer Patientenlage usw. Theoretisch vermeidet dies Unterdehnung und daraus resultierende alveoläre Hypoventilation bzw. Überdehnung und damit Lungenschädigung. Darüberhinaus kann der Kliniker das V_T einstellen, bevor der Patient an das Beatmungsgerät angeschlossen wird; denn sind auch alle anderen Basiseinstellungen geeignet gewählt, so ist das V_T vorhersagbar. Hierin unterscheiden sich die volumengesteuerten von den druckbegrenzten Beatmungsgeräten: bei letzteren stellt man zwar die Drücke ein, das daraus resultierende Tidalvolumen kann man aber erst bei der Beatmung messen.

In der Praxis haben volumengesteuerte Beatmungsgeräte jedoch einige wesentliche Nachteile beim Einsatz für Früh- und Neugeborene. Hauptsächlich haben sie damit zu tun, wie und wo das jeweilige Beatmungsgerät das applizierte Tidalvolumen mißt. Typischerweise geschieht das nah am Respirator, weit entfernt vom Y-Stück. Das führt zu fehlerhafter Messung der applizierten Tidalvolumina aus den oben erwähnten Gründen: Leckage am ET-Tubus und im Vergleich zur Systemcompliance niedrige Lungencompliance. Weitere Einschränkungen der volumengesteuerten Beatmung entstehen als Folge der geringen Auflösung der V_T -Messungen bei den niedrigsten Tidalvolumina, die zur Beatmung der kleinsten Frühgeborenen erforderlich sind. Bis vor kurzem war eine solche Auflösung gar nicht verfügbar, insbesondere nicht bei den hohen Beatmungsfrequenzen, die für Neonaten benötigt werden. Die ersten volumengesteuerten Beatmungsgeräte versorgten den Patienten auch nicht mit Frischgas, wenn er zwischen den Beatmungshüben atmen wollte. Und große Bedenken hatte man wegen der Annahme, daß hohe Atemwegsdrücke für Lungenschäden verantwortlich wären.

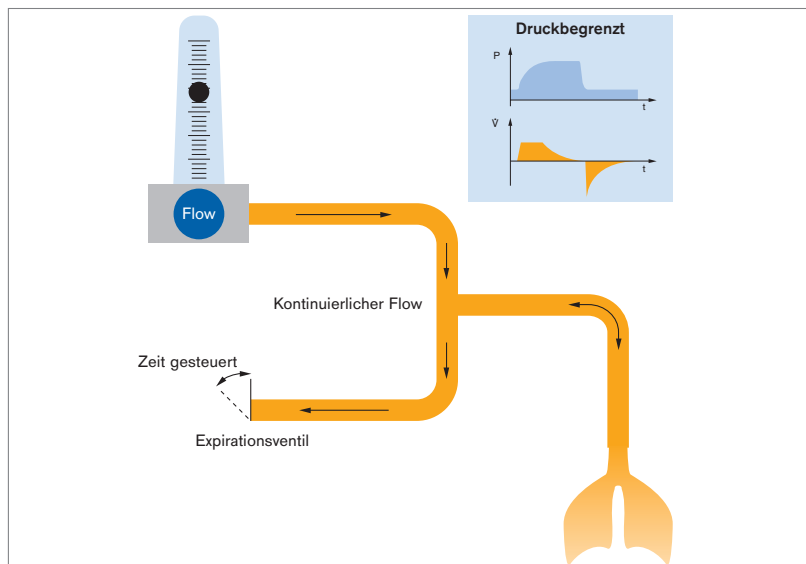
Daß der Kliniker keine Kontrolle über die Atemwegsdrücke hatte, die sich bei der volumengesteuerten Beatmung ergeben, führte zur Entwicklung von druckbegrenzten Ventilatoren; die Tidalvolumen-Beatmung rückte dabei immer mehr in den Hintergrund.

Zusammenfassung: volumengesteuerte Beatmungsgeräte

- Volumengesteuerte Beatmungsgeräte liefern ein konstantes, voreingestelltes Tidalvolumen mit jedem Beatmungshub.
- In der einfachsten Version liefert der Respirator das V_T an das Schlauchsystem durch Erzeugen des dafür erforderlichen Druckes.
- Die Inspiration endet, wenn das eingestellte V_T appliziert ist oder nach Ablauf einer maximalen Inspirationszeit.
- Es gibt keinen ständigen Frischgasstrom während der maschinellen Expiration; bei manchen Geräten muß der Patient durch ein Demand-Ventil mit hohem Widerstand atmen, um frisches Atemgas zu bekommen – BIPAP und AutoFlow bei der Evita bilden die Ausnahme.
- Hauptvorteil: bei sich schnell ändernder Lungencompliance, beispielsweise als Folge von Surfactant-Therapie, oder einem sich ändernden Krankheitsbild bleibt das an das Schlauchsystem abgegebene Tidalvolumen konstant.
- Hauptnachteil: Das applizierte Tidalvolumen wird typischerweise nah am Beatmungsgerät gemessen, entfernt vom Y-Stück. Bei Neonaten führt dies aufgrund der Leckage am ET-Tubus und der im Vergleich zur Systemcompliance niedrigen Lungencompliance zur fehlerhaften Messung der applizierten Tidalvolumina.

5. Druckbegrenzte Beatmung: Konzeption, Bedienung, Einschränkungen

Der heutige Standard in der neonatalen Beatmung ist die intermittierende Beatmung mit positivem Druck (IPPV) mit zeitgesteuerten, druckbegrenzten Respiratoren mit kontinuierlichem Flow. Ein solches Beatmungsgerät kann man sich vereinfacht vorstellen als Flow-Quelle mit T-förmigem Schlauchsystem und einem Ventil, das den Druck im Schlauch bestimmt. Ein vereinfachtes Schema zeigt Bild 5.



D-20373-2010

Bild 5: Funktionsprinzip eines zeitgesteuerten, druckbegrenzten Beatmungsgerätes mit kontinuierlichem Flow

Bei der einfachsten Variante dieser Beatmungsgeräte kann der Arzt T_1 , T_E , P_{insp}, PEEP, Flow-Rate und FiO₂ einstellen. Während der Druckaufbauphase schließt das Ventil, Gas fließt in das Schlauchsystem und zum Patienten, und im Schlauchsystem steigt der Druck bis zu einem maximalen Wert P_{insp}. Wie schnell dieser Druck ansteigt, hängt ab von Patienten- und Schlauchsystemcompliance, dem Flow sowie eventuellen Leckagen am ET-Tubus. Große Leckagen, niedrige Flows und hohe Schlauchsystem- bzw. Lungencompliance lassen den Druck langsam steigen; kleine Leckagen, niedrige Schlauchsystem- bzw. Lungencompliance und hoher Flow dagegen bewirken einen steilen Druckanstieg. Nach Ablauf von T_1 öffnet das Ventil wieder, wodurch der Druck im Schlauchsystem auf den PEEP-Wert abfallen kann. Auf dem PEEP-Niveau bleibt das Ventil so lange geöffnet, bis T_E abgelaufen ist; dann schließt es, und der Zyklus beginnt erneut mit der Druckaufbauphase. Sowohl während T_1 als auch während T_E fließt kontinuierlich Gas durch das Schlauchsystem.

Diese Respiratoren lösen also einige der Probleme, die die volumengesteuerte Beatmung mit sich bringt – insbesondere kontrolliert der Anwender die Atemwegsdrücke, und die variable ET-Tubusleckage beeinträchtigt nicht die gelieferten Atemwegsdrücke (bei hinreichend hohem Flow). Dieser stabile Druck stellt sich in der ganzen Lunge ein und müßte theoretisch eine bessere Gasverteilung ermöglichen. Der Patient kann auch Frischgas atmen, ohne durch ein Ventil mit hohem Widerstand atmen zu müssen, wie bei volumengesteuerten Ventilatoren (mit Ausnahme von BIPAP und AutoFlow bei der Evita).

Da aber kein Tidalvolumen eingestellt wird, führt eine schwankende Lungencompliance zu unterschiedlichen Tidalvolumina. Wenn die Compliance bei einem gegebenen inspiratorischen Spitzendruck sich halbiert, wird das abgegebene V_T ebenfalls halbiert. In Situationen mit teilweise oder vollständig blockiertem ET-Tubus oder aktiver Expiration des Patienten während des Druckaufbaus kann der inspiratorische Spitzendruck erreicht werden, wobei das applizierte Tidalvolumen nicht einmal den

anatomischen Totraum übersteigt. Doch der umgekehrte Effekt ist vielleicht noch besorgniserregender.

Eine wesentliche Erhöhung der Lungencompliance, zum Beispiel als Folge exogener Surfactant-Gabe, führt zu einer proportionalen Erhöhung des applizierten V_T , wenn der Druck nicht reduziert wird (Bild 6).

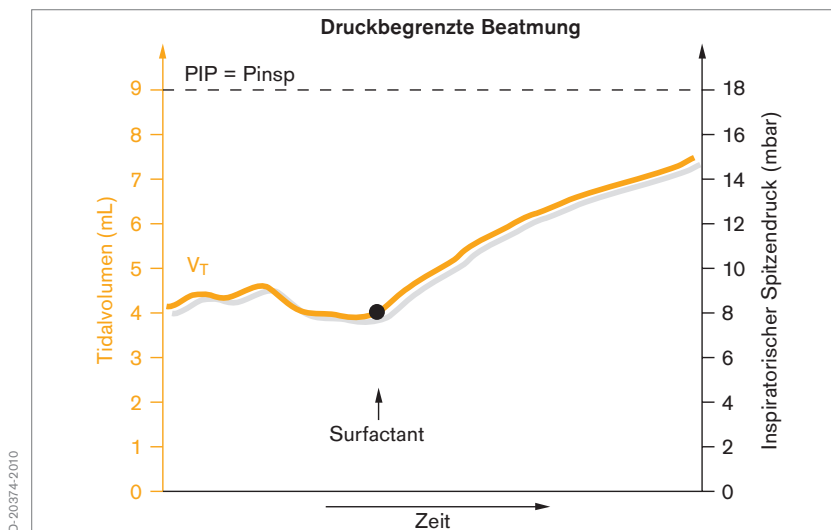


Bild 6: Einfluß von Surfactant-Gabe auf das Tidalvolumen bei sich verbessernder Compliance und konstantem inspiratorischen Spitzendruck von 18 mbar. Die Verbesserung des Patientenzustandes nach Gabe von Surfactant blieb unbemerkt, und der Druck wurde nicht reduziert. Folglich stieg das Tidalvolumen aufgrund der höheren Lungencompliance. Dies verdeutlicht die Gefahren einer nicht kontinuierlichen Überwachung der Tidalvolumina.

Die druckbegrenzte Beatmung erzeugt also stabile inspiratorische Spitzendrücke, führt aber zu sehr unterschiedlichen Tidalvolumina: mal sind sie kleiner als der Totraum und verursachen alveoläre Hypoventilation; dann wieder sind sie so groß, daß sie die Lunge überdehnen und somit schädigen können.

6. Vor- und Nachteile der volumengesteuerten und druckbegrenzten Beatmungsgeräte

Tabelle 1 fasst Vor- und Nachteile der volumengesteuerten und druckbegrenzten Beatmungsgeräte zusammen. Die Vorteile erscheinen in blauer Schrift.

Problem	Folge beim konventionellen volumengesteuerten Beatmungsgerät. Flow-Messung am Beatmungsgerät	Folge beim konventionellen druckbegrenzten Beatmungsgerät mit kontinuierlichem Flow. Flow-Messung am Y-Stück
Variable Leckage am ET-Tubus	Patient erhält variables Tidalvolumen	Druck und Tidalvolumen stabil (wenn alle anderen Faktoren konstant bleiben)
Systemcompliance größer als Lungencompliance	Tidalvolumen wird zum größeren Teil an Schlauchsystem und zum kleineren Teil an Patienten abgegeben	stabile Atemwegsdrücke und stabiles Tidalvolumen für den Patienten
schneller Anstieg der Lungencompliance, z.B. nach Surfactant, ETT-Absaugung spontane Atmung zwischen Beatmungshüben	schneller Anstieg der Lungencompliance, z.B. nach Surfactant, ETT-Absaugung Frischgasfl für Patienten nur mit erhöhter Atemarbeit. Ausnahme: AutoFlow bei Evita	zu großes Tidalvolumen wird appliziert, wenn der Kliniker den Spitzendruck nicht reduziert Frischgasflow jederzeit verfügbar
Barotrauma	möglich, wenn Lungencompliance sich verschlechtert	auf eingestellte Druckgrenzen limitiert
Volumentrauma	begrenzt, falls geeignete Tidalvolumina eingestellt sind	möglich, falls Lungencompliance steigt ohne entsprechende Reduzierung des Spitzendrucks
Lungenatelektase	nur die am stärksten dehnbaren Lungenkompartimente erhalten Tidalvolumen	dezelierender Flow gibt Druck auch an Lungenkompartimente mit niedrigster Compliance weiter

Tabelle 1

7. Messung des Tidalvolumens beim Neugeborenen – Wie überwindet das Babylog 8000plus diese Schwierigkeiten?

Beim Babylog 8000plus werden die Tidalvolumina mittels eines Hitzdrahtanemometers am Y-Stück des Patienten gemessen. Das ist ein kleiner, präziser Sensor mit geringem Totraum und einer Auflösung von bis zu 0,1 mL. Ferner bestimmt das Babylog das applizierte Tidalvolumen anhand des ausgeatmeten anstelle des eingeatmeten Tidalvolumens. Damit mißt das Babylog die Tidalvolumina, die tatsächlich im Patienten ankommen, und nicht die Gasmenge, die das Schlauchsystem schluckt. Außerdem überschätzt das Gerät das Tidalvolumen nicht aufgrund der Leckage am ET-Tubus. Tabelle 2 faßt diese und andere besondere Probleme der Tidalvolumenbeatmung bei Neugeborenen zusammen und zeigt wie das Babylog 8000plus sie löst.

Problem	Lösung durch Babylog 8000plus
ET-Tubusleckage	Expiratorische Messung der Tidalvolumina, um die wirklich applizierten V_T zu bestimmen
Autocycling wegen Tubusleckage	Wird reduziert durch Anpassen der Triggereinstellung mit Hilfe der berechneten ET-Leckage
Systemcompliance höher als Lungencompliance	Messung am Patienten-Y-Stück
kleine Tidavolumen erforderlich	hochauflösender Flow-Sensor
hohe spontane	schneller Flow-Sensor Atemfrequenzen
niedrige Patiententidalvolumina	Flow-Sensor mit geringem Totraum

Tabelle 2

8. Was ist die Volumen Garantie und wie funktioniert sie?

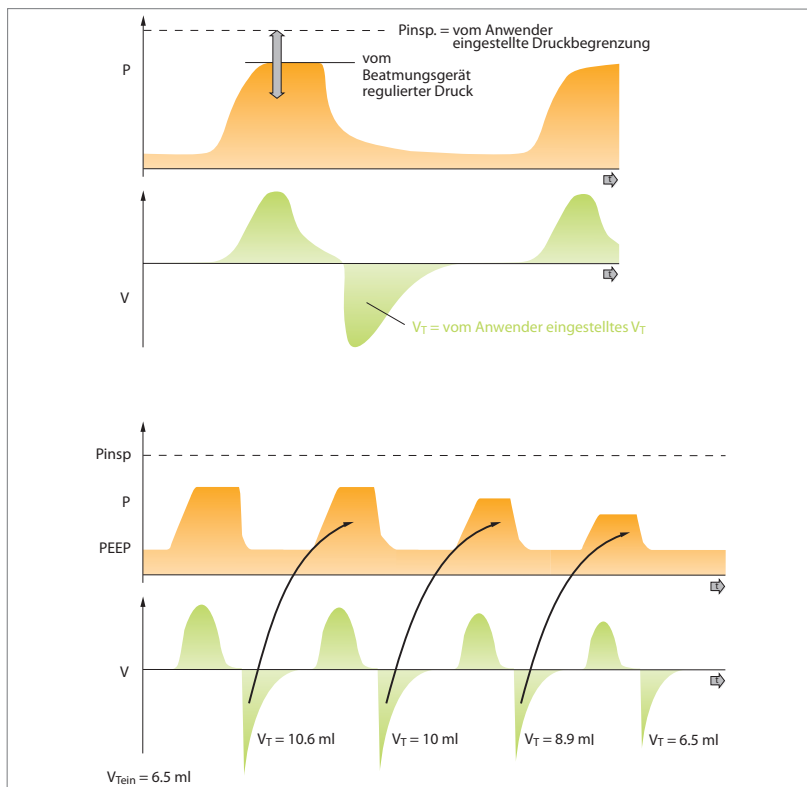
Die Volumen Garantie (VG) als Zusatz zu den getriggerten Beatmungsmodi des Babylog 8000plus vereint die Vorteile der druckbegrenzten, zeitgesteuerten Beatmung mit kontinuierlichem Flow mit denen der volumengesteuerten Beatmung. Die VG-Option ist das Ergebnis einer einzigartigen Kombination von präziser Tidalvolumenmessung am Y-Stück und hochentwickelter Software-Algorithmen zur Überwachung von Änderungen der Lungeneigenschaften.



D-202115-2010

Am besten beschreibt man VG als druckbegrenzte Beatmung mit geführter oder gezielter Tidalvolumenapplikation.

VG gibt dem Kliniker die volle Kontrolle über die Atemwegsdrücke, doch gleichzeitig kann das Beatmungsgerät den Patientenzustand überwachen und den Spitzendruck entsprechend anpassen – bis zum eingestellten



D-20375-2010

Bild 7: Funktionsprinzip der Volumen Garantie: der Inspirationsdruck wird vom Beatmungsgerät automatisch schrittweise von Atemzug zu Atemzug reguliert, um das eingestellte Tidalvolumen zu erreichen. Innerhalb von 6 bis 8 Atemzügen ist ein stabiler Zustand erreicht.

Maximalwert -, um so das eingestellte V_T zu erreichen. Der vom Beatmungsgerät angewendete Spitzendruck variiert also zwischen eingestelltem P_{insp} und PEEP. Hiermit soll das durchschnittlich abgegebene Tidalvolumen stabilisiert werden, damit es nicht in dem Maße schwankt, wie es der Fall ist, wenn druckbegrenzte oder volumengesteuerte Beatmungsformen allein eingesetzt werden.

Im VG-Modus mißt das Babylog 8000plus kontinuierlich Flow und Volumen zur Überwachung der spontanen Atemanstrengungen des Patienten und vergleicht das applizierte (expiratorische) Tidalvolumen mit dem eingestellten. Beim nächsten Atemzug werden diese Daten benutzt, um den inspiratorischen Spitzendruck so anzupassen, daß das applizierte Tidalvolumen sich dem eingestellten annähert (Bild 7).

So arbeitet das Babylog 8000plus mit dem niedrigsten inspiratorischen Spitzendruck, mit dem dieses Solltidalvolumen zu erreichen ist. Durch die genaue Überwachung des Patienten versucht das Beatmungsgerät, das Volumen jedes Atemhubes den sich ändernden Patientenbedürfnissen maßgeschneidert anzupassen, anstatt feste Einstellwerte zu verwenden. Bild 8 skizziert den im Babylog 8000plus für VG verwendeten Algorithmus.

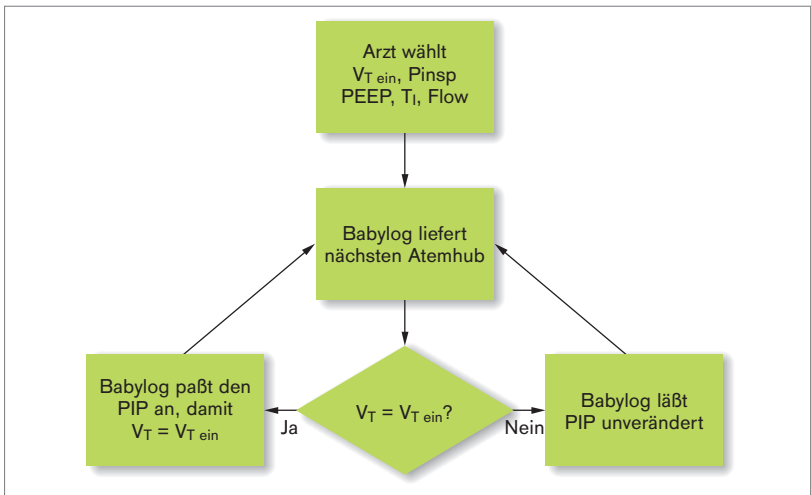


Bild 8: Software-Algorithmus der Volumen Garantie

Da das Babylog den Flow am Y-Stück mißt und mit speziellen Algorithmen für die Neonatologie arbeitet, weist VG nicht jene charakteristischen Limitationen auf, die beim neonatalen Einsatz druckregulierter, volumengesteuerter Modi auftreten – einem ähnlichen, für Erwachsene entwickelten Konzept.

Limitationen:

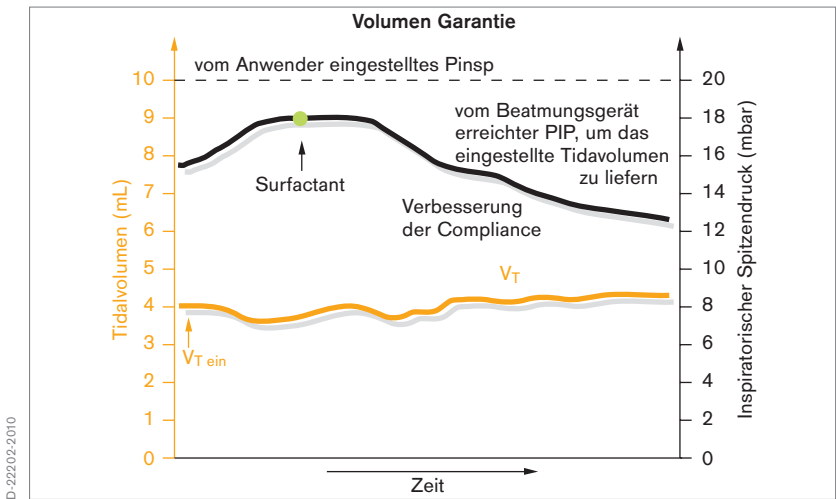
Druckregulierte, volumengesteuerte Modi bei Neugeborenen:

- Die Tidalvolumenmessung im expiratorischen Zweig führt aufgrund der ET-Tubusleckage und der im Vergleich zur Systemcompliance schlechten Lungencompliance zur fehlerhaften Messung der applizierten Tidalvolumina.
- Die Regulierung des inspiratorischen Spitzendrucks auf Basis des inspiratorischen Tidalvolumens anstelle des expiratorischen führt zu einer Überschätzung des applizierten V_T .
- In einem System, das auf Basis des inspiratorischen Tidalvolumens den Beatmungsdruck regelt, wird bei steigendem ET-Tubusleck der applizierte Druck automatisch reduziert und das Tidalvolumen sinkt.

Unternimmt der Patient keine Atemanstrengung während der Im Grunde stellt die VG sicher, daß das Ziel der Beatmung automatisch erreicht wird: Beatmungsdrücke – innerhalb sicherer Grenzen –, die das Solltidalvolumen des Patienten sicherstellen. Druckaufbauphase, wird das Beatmungsgerät dennoch den erforderlichen Spitzendruck anwenden – bis zum P_{insp} , – damit das Tidalvolumen dem eingestellten V_T möglichst nahe kommt. Wenn der Patient gut dehnbare Lungen hat und nicht aktiv gegen den Beatmungsdruck ausatmet, kann der vom Respirator angewendete inspiratorische Spitzendruck unter dem eingestellten P_{insp} liegen. Falls die Lungencompliance sich ändert und der Patient weiterhin nicht spontan mitatmet, wird sich der inspiratorische Spitzendruck von Atemzug zu Atemzug entsprechend

ändern, und zwar invers zur Compliance. Der maximale Druck ist aber immer begrenzt auf den vom Anwender vorgegebenen P_{insp} (Bild 9).

Im Grunde stellt die VG sicher, daß das Ziel der Beatmung automatisch erreicht wird: Beatmungsdrücke – innerhalb sicherer Grenzen –, die das Soll-tidalvolumen des Patienten sicherstellen.



D-22202-2010

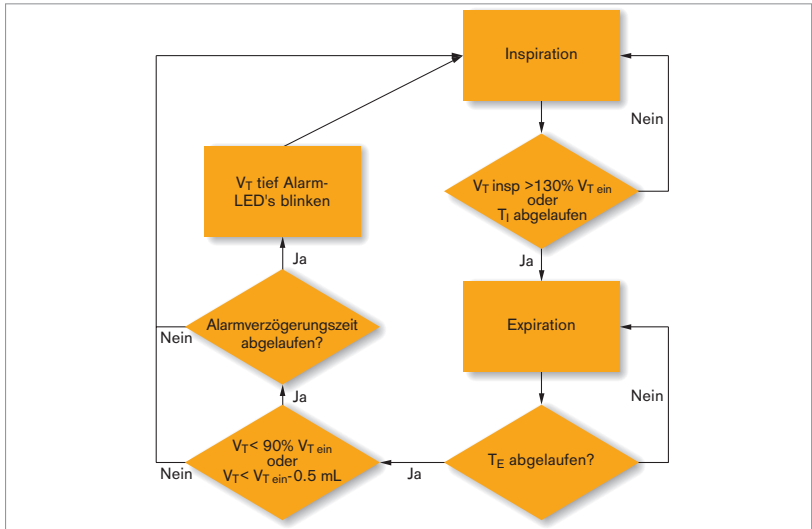
Bild 9: Eine Meßkurve während der Volumen Garantie. Das Tidalvolumen war auf 4 mL und P_{insp} auf 20 mbar eingestellt. V_T und inspiratorischer Spitzendruck wurden kontinuierlich aufgezeichnet. Jede Veränderung von V_T führt zur automatischen Anpassung des inspiratorischen Spitzendrucks. Während das V_T aufgrund von verbesserter Compliance nach Surfactant-Gabe steigt, senkt das Beatmungsgerät automatisch den PIP. Ebenso erhöht das Beatmungsgerät den PIP, wenn die Spontanatmung ausbleibt, um das V_T auf 4 mL zu halten.

8.1 ALARMPARAMETER UND V_T -GRENZEN BEI VOLUMEN GARANTIE

Der Patient kann während der Inspirationsphase eines VG-Atemhubes einatmen. Das Babylog 8000plus berücksichtigt diese Atemanstrengung bei der Festlegung des Beatmungsdrucks. Falls das spontane V_T des Patienten groß ist, braucht das Beatmungsgerät nur noch ein Restvolumen hinzuzufügen: nur wenig Druck ist dann erforderlich, um das gesamte gewünschte V_T zu liefern. Wenn das gesamte applizierte Tidalvolumen den Einstellwert während eines Atemhubs um 30 % übersteigt, öffnet das Expirationsventil, damit nicht noch mehr Gas in die Patientenlunge fließt. In dieser Situation verwendet das Babylog das inspiratorisch gemessene Tidalvolumen, um Überdehnung der Lunge zu vermeiden.

Dennoch kann der Patient dank des kontinuierlichen Flow jederzeit spontan atmen. Durch kräftige Seufzer kann das V_T durchaus heftig schwanken; dann wendet das Beatmungsgerät nur noch minimalen Druck an; allein jedoch liefert es keine übermäßig großen Tidalvolumina. Das Ziel des Babylog 8000plus ist, das eingestellte V_T im zeitlichen Mittel über mehrere Atemhübe vollständig zu liefern.

Auch bei zu kleinen V_T alarmiert der Respiator. Bleibt das Tidalvolumen unter 90 % des Zielvolumens, so meldet das Gerät nach Ablauf der eingestellten Alarmverzögerungszeit „ V_T tief“ (Bild 10). So wird auch Hypoventilation vermieden.



D-22203-2010

Bild 10: Alarmierung und V_T -Grenzwerte bei der Volumen Garantie. Wenn das applizierte V_T unter 90 % des eingestellten bzw. um mehr als 0,5 mL darunter bleibt, ist die Alarmschwelle erreicht. Hält der Zustand länger an als die einstellbare Alarmverzögerungszeit, setzt der Alarm ein. Das inspiratorische Volumen darf nur bis auf 130 % des Zielwertes ansteigen, sonst wird der Inspirationshub abgebrochen als Schutz gegen Überblähung.

8.2 EINLEITUNG VON VG BEIM NEONATEN


Die VG-Option ist nur mit den getriggerten Beatmungsformen am Babylog 8000plus kombinierbar, also mit Synchronized Intermittent Positive Pressure Ventilation (SIPPV) oder Assist/Control (A/C), Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation (SIMV) und Pressure Support Ventilation (PSV).


Die Inbetriebnahme ist immer gleich. Anschließende Geräteeinstellungen in Folge von Blutgasänderungen hängen davon ab, welchen der genannten Modi man verwendet. Hier werden wir uns mit dem Einsatz von VG bei SIPPV befassen. Im wesentlichen gibt es dafür zwei mögliche Ansätze für die Einleitung von VG.

8.2.1 TIDALVOLUMENORIENTIERTER ANSATZ

Ziel ist die Abgabe eines voreingestellten V_T und weniger die Orientierung am Beatmungsdruck. Die im folgenden beschriebene Vorbereitung sollte man an einer künstlichen Lunge durchführen. Nach dem Kalibrieren des Flow-Sensors ist im Interesse optimaler Meßgenauigkeit die jeweils geeignete Referenzbedingung einzustellen: zunächst NTPD für Betrieb an der Testlunge; später BTPS am Patienten.



– -Taste drücken und SIPPV wählen. Dann <EIN> drücken, um den vorgewählten Modus zu aktivieren.

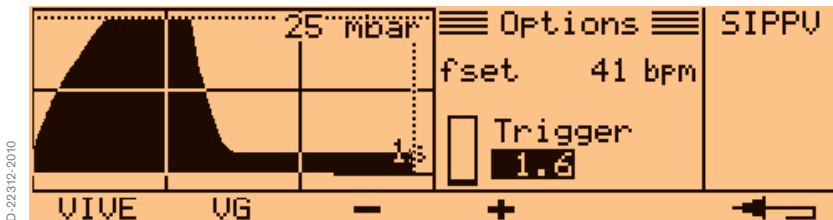
- Triggerempfindlichkeit auf das empfindlichste Niveau einstellen (1 ist die empfindlichste und 10 die am wenigsten empfindliche Einstellung). Es kann sein, daß diese Einstellung angepaßt werden muß, wenn der Patient angeschlossen ist. (Um leckagebedingtes Autotriggern zu reduzieren, adaptiert sich das Babylog 8000plus automatisch an das aktuelle ET-Tubusleck.
- Taste <  > drücken, um zum Hauptbildschirm zurückzugelangen.
- Taste <Einst> drücken.

– Taste <Einst 1> drücken.

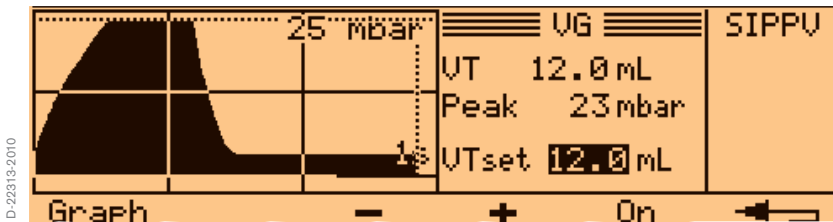
– T_I , T_E (sie bestimmen die Backup-Frequenz für den Fall einer Apnoe), FiO_2 , PIP, PEEP und Flow einstellen.



– Taste drücken, um die Option wählen zu können:



– Taste <VG> drücken, um zum folgenden VG-Bildschirm zu gelangen:



– Mit den Tasten + und – stellen Sie das gewünschte V_T ein. Die Literatur bietet nur wenige Angaben bezüglich des richtigen V_T zur Beatmung von Neonaten – insbesondere Frühgeborenen. Normalerweise würden wir mit 4-6 mL/kg [7,8] beginnen und diesen Startwert dann bei Bedarf auf der Grundlage der Blutgasanalyse anpassen. Natürlich hängt das genau erforderliche V_T ab vom gesamten Totraum und vom gewünschten $PaCO_2$. Angesichts der Tatsache, daß das V_T in der Regel in Abhängigkeit

vom Patientengewicht gewählt wird, spielt ein festes Totraumvolumen bei größeren Kindern eine geringere Rolle als bei kleineren.

- Taste <EIN> drücken: SIPPV mit VG ist nun aktiviert. Mit der gleichen Bedienfolge kann VG auch bei SIMV oder PSV in Betrieb genommen werden. Nun kann der Patient an das Beatmungsgerät angeschlossen werden.
- Prüfen Sie nun das gelieferte V_T sowie den Beatmungsdruck, den das Babylog 8000plus erzeugt, um dieses V_T zu liefern. Dafür gibt es mehrere Möglichkeiten, unter anderem über die <Messw 1>-Bildschirmseite oder die <VG>-Seite wie bei Schritt 8. Das Tidalvolumen stabilisiert sich innerhalb von etwa 6-8 Atemhüben; wie lange das dauert, hängt von der gegenwärtigen Atemfrequenz ab.
- Falls der zur Applikation des gewünschten V_T verwendete inspiratorische Druck mehrere mbar unter dem eingestellten P_{insp} liegt (P_{insp} ist der maximal zulässige Druck), kann P_{insp} so bleiben. Dieser „zusätzliche“ Spitzendruck kann vom Beatmungsgerät in Anspruch genommen werden, falls die Lungencompliance abfällt (oder die ET-Tubusleckage größer oder die Atemanstrengung schwächer wird).
- Falls der vom Babylog 8000plus angewendete inspiratorische Spitzendruck identisch oder fast identisch ist mit dem eingestellten P_{insp}, sollte man P_{insp} um mindestens 4-5 mbar erhöhen. So hat das Beatmungsgerät etwas mehr Freiraum, das gewünschte V_T auch bei sinkender Compliance zu liefern. Andernfalls kann das applizierte V_T manchmal kleiner ausfallen als der Zielwert (z. B. wenn die Compliance abgenommen hat). Sonst aber wird V_T identisch oder fast identisch mit dem eingestellten Volumen sein. Deshalb müßte in dieser Situation das applizierte V_T mit VG dennoch stabiler sein als ohne, selbst wenn nur einige der Atemhübe das eingestellte V_T liefern.

- Falls V_T mindestens 90 % des Zielwertes beträgt, gibt es keinen Alarm. Es ist aber wichtig zu bedenken, daß die Minutenvolumen-Alarme wie gewohnt eingestellt werden sollten. Das gewährleistet, daß der Kliniker auf ein niedriges Minutenvolumen aufmerksam wird, auch wenn die einzelnen Atemhübe ausreichend sind – zum Beispiel im Fall einer Apnoe mit zu niedrig eingestellter Backup-Frequenz.
- Falls V_T unter 90 % des Zielwertes bleibt, löst das Babylog nach Ablauf der eingestellten Alarmverzögerungszeit einen $\langle V_T \text{ tief} \rangle$ -Alarm aus. Die grünen Leuchtdioden bei den drei Drehknöpfen zur Einstellung von P_{insp}, T_I und Flow blinken dann.


Was in dieser Situation zu tun ist, wird im folgenden erläutert.



Zusammenfassung:

Tidalvolumenorientierter Ansatz zur Einleitung der VG-Option:

Flow-Sensor kalibrieren und das Babylog zunächst an eine künstliche Lunge anschließen. Die Bedingungen beim Einsatz der künstlichen Lunge können ganz anders sein als bei der Patientenlunge.

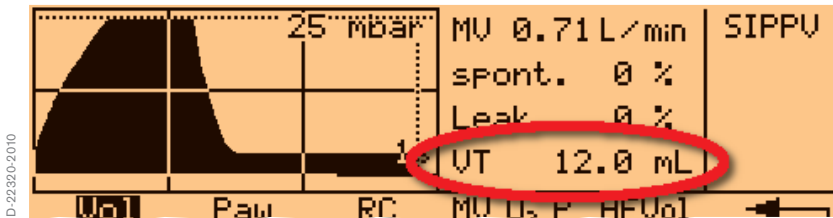
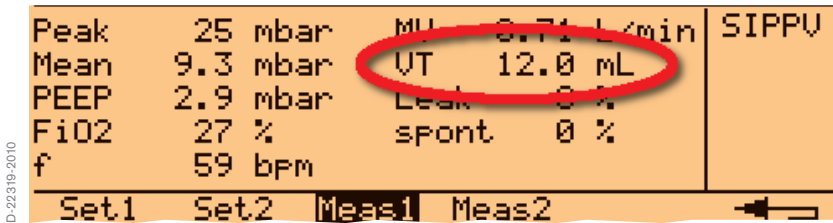
-  -Taste drücken und gewünschte getriggerte Beatmungsform wählen (SIMV, SIPPV = AC, oder PSV).

- Triggerempfindlichkeit auf das empfindlichste Niveau einstellen
- T_i , T_e (und damit auch die Backup-Frequenz für den Fall einer Apnoe), FiO_2 , PIP, PEEP und Flow einstellen.
- Taste <VG> drücken und V_T einstellen über die + und - Tasten (Anfangswert 4-6 mL/kg [7,8]).
- Patient an das Babylog anschließen.
- <Messw 1>-Bildschirmseite oder <VG>-Bildschirmseite wählen.
- V_T prüfen; aktuellen PIP prüfen, den das Beatmungsgerät für das gewünschte V_T braucht.
- PInsp (Druckbegrenzung) anpassen an den tatsächlichen Beatmungsdruck (wenige mbar über PIP).


8.2.2 „KONVENTIONELLER“ DRUCKORIENTIERTER ANSATZ

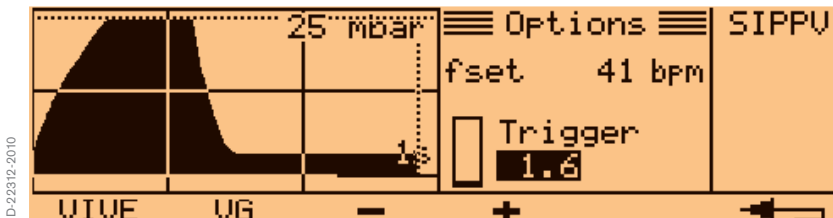
Bei diesem Ansatz wird das Beatmungsgerät wie gewohnt für SIPPV (bzw. SIMV oder PSV) vorbereitet: der Arzt stellt im SIPPV-Modus PInsp, PEEP, T_i , Backup-Frequenz, Flow und FiO_2 ein. PInsp- und PEEP-Werte werden so gewählt, daß ausreichende Brustkorbbewegung entsteht. Diese Anfangswerte werden oft durch Abteilungs- bzw. Stationsprotokolle und -richtlinien vorgegeben; anschließend paßt man sie in Abhängigkeit von den gemessenen Blutgaswerten an.

- Am Babylog 8000plus <Messw 1>-Bildschirmseite oder die <Vol>-Seite einstellen.



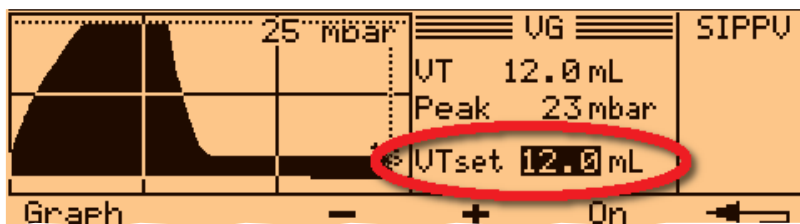
- Der Meßwert für das applizierte Tidalvolumen wird angezeigt. Er kann von Atemzug zu Atemzug aus den oben genannten Gründen schwanken. Sobald der angezeigte V_T -Wert stabil ist oder ein „typisches“ V_T erkannt wird, diesen Wert notieren.

-  -Taste drücken: es erscheint folgendes Bild:



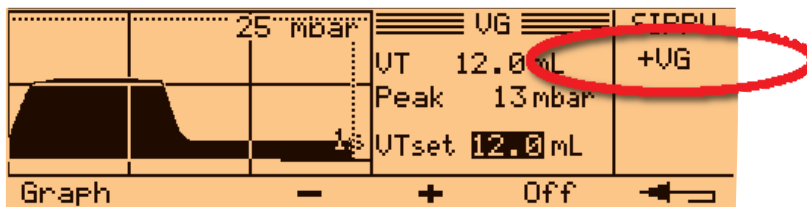
- Taste für die VG-Option drücken: es erscheint folgendes Bild:

D-22321-2010



- Sollwert für V_T mit den + und – Tasten wählen. Das V_T kann auf den vorher notierten Wert eingestellt werden.
- Zum Schluß die VG-Funktion aktivieren: Taste <EIN> auf der VG-Bildschirmseite drücken. Das Babylog 8000plus beatmet nun im SIPPV-Modus mit VG.


D-22322-2010



Bei diesem Ansatz wurden zur Inbetriebnahme von VG die üblichen klinischen Algorithmen bezüglich der Auswahl von P_{insp} und PEEP befolgt, wobei insbesondere der PIP der gleiche ist wie bei SIPPV ohne VG. Für Anwender, die erste Erfahrungen sammeln mit dem Einsatz von VG, könnte die Vorgehensweise nützlich sein; doch der wichtigste Nachteil besteht darin, daß weiterhin der Fokus auf dem Druck liegt und nicht auf dem Tidalvolumen. Trotzdem sollte SIPPV mit der so eingestellten VG-Option ein stabileres Tidalvolumen erzeugen als bei SIPPV allein. Bleibt die wichtige Frage zu klären, ob die eingestellten Drücke tatsächlich zum richtigen Tidalvolumen führen.

Zusammenfassung:**Druckorientierter Ansatz zur Einleitung von VG**

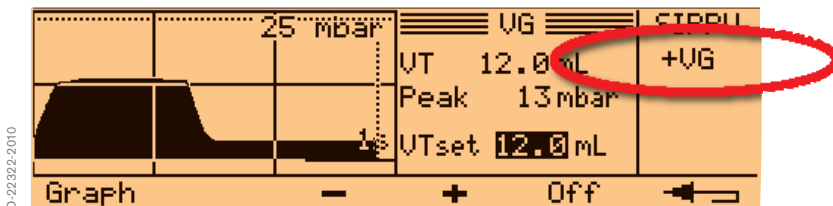
Das Babylog 8000 plus an den Patienten anschließen und für die Beatmung in SIPPV (A/C), SIMV oder PSV vorbereiten.

- T_i , T_E (und somit auch die Backup-Frequenz für den Fall einer Apnoe), FiO_2 , P_{insp}, PEEP und Flow wie gewohnt einstellen gemäß Abteilungs- bzw. Stationsprotokollen oder -richtlinien.
- <Messw 1>-Bildschirmseite oder <Vol.>-Seite wählen.
- Tidalvolumen V_T notieren.
- Taste  und Taste <VG> drücken.
- Zielwert für V_T über die + und - Tasten auf den im Schritt 3 notierten V_T -Wert einstellen.
- Taste <EIN> drücken: VG-Option ist aktiviert.
- V_T prüfen; aktuellen PIP prüfen, den das Beatmungsgerät braucht, um das Soll- V_T zu liefern.
- P_{insp} (maximal zulässiger Druck) an den tatsächlichen inspiratorischen Spitzendruck anpassen.

8.3 WELCHE SIND DIE WICHTIGEN ÜBERWACHUNGSPARAMETER BEIM EINSATZ VON VG?

8.3.1 WAS TUN BEI <VT TIEF>-ALARM

Dieser Alarm setzt ein, wenn Pinsp zu niedrig, T_1 zu kurz, oder der Flow zu niedrig eingestellt ist und deshalb das V_T nicht erreicht wird. Empfohlene Abhilfe:



Spitzendruck prüfen auf der <Messw 1>- oder der <VG> Bildschirmseite. Auch den Atemwegsdruck und die Flow-Kurven prüfen.

8.3.2 WAS TUN BEI ZU NIEDRIG EINGESTELLTEM PINSP

Falls das Plateau im Inspirationsdruck an die Grenze Pinsp stößt, reicht wahrscheinlich der Druck nicht aus, um das eingestellte V_T zu liefern. Erhöhen Sie Pinsp, bis der Alarm aufhört: die grünen Leuchtdioden blinken nicht mehr, die Alarmmeldung verschwindet vom Bildschirm, und das applizierte V_T nähert sich dem Zielwert an.



8.3.3 WAS TUN BEI ZU NIEDRIG EINGESTELTLEM INSPIRATIONSFLOW

Falls der Inspirationsdruck unter P_{insp} bleibt und kein Plateau zu erkennen ist, ist vielleicht T_i zu kurz oder der Flow zu niedrig, um das Zielvolumen zu applizieren. Beobachten Sie Druck- und Flow-Kurve: falls die Anstiegsrampe im Druck flach ist, sich kein Plateau ausbildet, und die Flow-Kurve zeigt, daß am Ende von T_i immer noch Flow fließt, dann ist eventuell der Flow zu niedrig eingestellt. Dies ist insbesondere bei einer großen Leckage um den ET-Tubus wichtig. Dann sollte mehr Flow eingestellt werden, damit das Beatmungsgerät Inspirationsdrücke bis an die Druckgrenze P_{insp} anwenden kann.



D-22317-2010

8.3.4 WAS TUN BEI ZU KURZER INSPIRATIONSZEIT

Wenn an der Flow-Kurve zu sehen ist, daß am Ende von T_I immer noch ein signifikanter Flow in die Lunge strömt (d. h. der Flow geht am Ende von T_I nicht auf die Basislinie zurück) und die Anstiegsrampe im Druck nicht flach verläuft, dann ist wahrscheinlich T_I zu kurz; das Plateau im Druck ist zu kurz im Vergleich zur Zeitkonstante der Lunge, und das V_T wird nicht erreicht. Hier muß T_I verlängert werden. Man sollte aber bedenken, daß eine Voraussetzung für effektives Triggern die Einstellung der T_I nahe an der spontanen Inspirationszeit des Patienten ist. Denn das verhindert aktive Expiration des Patienten gegen den Inspirationsdruck des Ventilators. Letztere Situation entsteht eher, wenn die eingestellte T_I deutlich länger als die spontane Inspirationszeit ist.



D-22317-2010

Die häufigste Ursache für den $\langle V_T \text{ tief} \rangle$ -Alarm ist zu niedrig eingestellter PInsp. Aufgrund von Änderungen in Compliance und Strömungswiderstand kann bei jedem Patienten der $\langle V_T \text{ niedrig} \rangle$ -Alarm im weiteren Beatmungsverlauf auftreten. Dann muß man gegebenenfalls PInsp erneut anpassen.

9. Fortlaufende Betreuung von Früh- und Neugeborenen unter Volumen Garantie

Für den Beginn der Beatmung von Kleinkindern mit VG schlagen wir vor, die veröffentlichten Referenzbereiche für Tidalvolumina von 4-6 mL/kg als Anfangswerte zu nehmen [7,8]. Natürlich müssen diese Werte später zumindestens bei manchen Kindern angepaßt werden, um klinisch akzeptable Blutgaswerte aufrechtzuerhalten. Das eingestellte V_T und damit eventuell auch der PInsp muß angepaßt werden, um Variationen im Totraum, wechselnde spontane Atemanstrengungen und variierenden Atemtrieb (d. h. spontane Atemfrequenz) zu berücksichtigen. Besonders zu Beginn der Beatmung, wenn die Bedürfnisse des Patienten gerade erst ermittelt werden, muß der Arzt diese Aspekte berücksichtigen. Wenn die für den Patienten geeigneten Werte erst einmal bekannt sind, dürfte die Beatmung mit VG ein stabileres V_T innerhalb der eingestellten Druckgrenzen gewährleisten. Die wichtigen zu bestimmenden Werte sind die obere Grenze des Zielwertes für V_T und somit auch der PInsp. Jede spätere Verbesserung der Patientenlunge müßte theoretisch zu automatischer Reduzierung des für die Applikation eines stabilen V_T erforderlichen inspiratorischen Spitzendrucks führen.

9.1 ENTWÖHNUNG BEI VOLUMEN GARANTIE

Theoretisch müßte die Entwöhnung bei allen VG-Beatmungsformen automatisch ablaufen, sobald geeignete Tidalvolumina ermittelt worden sind. Mit fortschreitender Heilung sollte der Druck abnehmen, den das Beatmungsgerät für das V_T braucht. Wenn der Beatmungsdruck ein sehr niedriges Niveau erreicht hat, ist es sehr wohl möglich, daß der Patient extubiert werden kann. Dann ist der PIP nur um den Druck größer als der PEEP, der erforderlich ist, um den Widerstand des ET-Tubus zu überwinden. Das einzige Problem besteht nun darin, daß das Beatmungsgerät oft den Stimulus liefert, den der Patient zum Atmen braucht, auch wenn der unterstützende Druck gering ist. Mit dieser Schwierigkeit muß der Arzt noch fertig werden.

Während der Genesungsphase muß der Anwender nur eingreifen, wenn die Blutgase eine Hyperventilation zeigen. Das kann vorkommen, da Frühgeborene den spontanen Atemtrieb und die spontane Atemanstrengung nicht ausreichend regulieren können, um Normokapnie aufrechtzuerhalten. Die Art der Anpassungen bei der Entwöhnung hängt von der primären Beatmungsform ab, mit der VG kombiniert wird, also SIPPV (Assist/Control), SIMV oder PSV. Die Atemunterstützung kann man sowohl über die Beatmungsfrequenz als auch über das eingestellte V_T anpassen.¹ Bei PSV mit VG geschieht dies primär über V_T . Der Arzt sollte zunächst den ersten Schritt zur Entwöhnung unternehmen (z. B. das V_T reduzieren, um einen PaCO_2 zu erreichen, der den Patienten zu größeren Atemanstrengungen stimuliert, um die Normokapnie wiederherzustellen) und dann die Reaktion des Patienten beobachten, bevor er weitere Schritte unternimmt. Wenn der Patient das reduzierte V_T durch stärkere spontane Atemanstrengung kompensiert, kann die Entwöhnung fortgesetzt werden. Das eingestellte V_T braucht nicht weiter reduziert zu werden, denn je mehr Atemarbeit der Patient übernimmt, desto weniger Unterstützung kommt vom Beatmungsgerät. Wenn aber die Reduzierung des V_T dazu führt, daß der Patient angestrengt atmet, ermüdet und apnoeisch wird und das Beatmungsgerät den Beatmungsdruck bis zum Pinsp steigert, muß die Entwöhnung offensichtlich aufgeschoben werden. Im entgegengesetzten Fall, wenn der Patient nach vollständiger Erholung von einer Lungenerkrankung kräftig atmet, wird Hyperventilation nur durch die völlige Entwöhnung von der Beatmungsunterstützung vermieden.

¹ Eine weitere Broschüre über Pressure Support Ventilation bietet hierüber detaillierte Informationen.

9.2 GIBT ES KLEINKINDER, FÜR DIE DIE VG VIELLEICHT NICHT IN FRAGE KOMMT?

9.2.1 GROSSE ET-TUBUSLECKAGEN

Falls die Leckage am ET-Tubus sehr groß ist, also in der Regel über 65 %, kann die Messung der Tidalvolumina deutlich beeinträchtigt werden.

In solchen Situationen wird auch bei niedrigen Atemwegsdrücken in der Expirationsphase das ausgeatmete Gas nicht vollständig den Flow-Sensor passieren, weil ein Teil durch das Leck entweicht. Die Folge ist ein zu klein gemessenes expiratorisches V_T . Die Vorteile der VG-Beatmung im Vergleich zur konventionellen drucklimitierten Beatmung kommen dann weniger zur Geltung. Bei variabler Leckage jedoch sind einige der applizierten V_T dicht am Zielwert, und der maximale Beatmungsdruck bleibt weiterhin unter der Kontrolle des Klinikers.

9.2.2 KLEINKINDER MIT SEHR KRÄFTIGER ATEMANSTRENGUNG

für Kleinkinder mit sehr kräftigen spontanen Atemanstrengungen, bei denen das eingestellte V_T permanent kleiner ist als das spontane Tidalvolumen, wohl nicht geeignet. Diese Situation kann sich aus verschiedenen Gründen einstellen. Das eingestellte V_T könnte zu niedrig sein, mit der Folge, daß der Patient nur deswegen so kräftig atmet, weil er sich ein adäquates Tidalvolumen holen will. Kräftige Atemanstrengungen, Keuchen, schwerfällige Atmung und erhöhter PaCO_2 sind mögliche Zeichen hierfür. Das Ziel- V_T sollte erhöht werden, bis das Atemmuster weniger schwerfällig wirkt und die Blutgaswerte sich normalisiert haben. Patienten, die sich von ihrer Atemerkkrankung erholt haben, können so kräftig atmen, daß ihr spontanes Tidalvolumen das eingestellte V_T regelmäßig übersteigt. Diese Kinder zeigen keine schwerfällige Atmung, und die Blutgase sollten normal sein. Eine vollständige Entwöhnung von der maschinellen Beatmung ist hier angebracht, insbesondere wenn der verwendete PIP viel niedriger ist als der eingestellte Pinsp.

10. Potentielle Vorteile der Volumen Garantie-Beatmung

Die Volumen Garantie ist offenbar eine vielversprechende neue Option in der Neonatalbeatmung; der Modus wurde speziell mit dem Ziel entwickelt, einige Probleme der konventionellen drucklimitierten Neonatalbeatmung zu lösen. Obwohl die Vorteile von VG noch durch klinische Versuche nachzuweisen sind, können wir in den folgenden Bereichen Nutzen erwarten:

- VG kann zu stabileren Tidalvolumina trotz Änderungen in Compliance, Resistance und ET-Tubusleckage führen. Dies wiederum sollte zu einem stabileren PaCO₂ führen, mit geringerer Häufigkeit von Hyperkapnie und Hypokapnie.
- Weniger häufige Lungenschädigungen durch Überdehnung, also weniger Volumentrauma.
- Reduzierte inspiratorische Spitzendrücke, wenn der Patient erheblich zum Tidalvolumen beiträgt, wobei das Risiko von Barotrauma ebenfalls zurückgeht.
- Automatische Entwöhnung: wenn die Patientenlunge sich verbessert und die Compliance ansteigt, z. B. nach exogener Surfactant-Therapie, wird VG automatisch immer niedrigere Beatmungsdrücke anwenden, um das einge
- Automatische Anpassung des Beatmungsdrucks, wenn der PEEP geändert wird.
- In Kombination mit Pressure Support Ventilation¹ können sich weitere Vorteile ergeben, insbesondere durch Reduzierung der Häufigkeit von aktiver Expiration des Kindes gegen den Inspirationsdruck des Beatmungsgerätes.

¹ Eine weitere Broschüre über Pressure Support Ventilation bietet hierüber detailliertere Informationen.

11. Was man bei der Volumen Garantie nicht vergessen sollte

Die Volumen Garantie ist offenbar eine vielversprechende neue Option in der Neonatalbeatmung; der Modus wurde speziell mit dem Ziel entwickelt, einige Probleme der konventionellen drucklimitierten Neonatalbeatmung zu lösen. Obwohl die Vorteile von VG noch durch klinische Versuche nachzuweisen sind, können wir in den folgenden Bereichen Nutzen erwarten:

- Die Volumen Garantie ist eine neue Beatmungsoption, die die Vorteile der druckbegrenzten, zeitgesteuerten Beatmung mit kontinuierlichem Flow mit denen der volumengesteuerten Beatmung vereint.
- VG ist mit allen getriggerten Beatmungsformen des Babylog 8000plus kombinierbar.
- Am besten beschreibt man VG als druckbegrenzte Beatmung mit geführter oder gezielter Tidalvolumenapplikation.
- Der maximale Inspirationsdruck P_{insp} bleibt weiterhin unter der Kontrolle des Klinikers, wobei das Beatmungsgerät aber einen variablen inspiratorischen Spitzendruck zwischen P_{insp} und PEEP anwendet, um das V_T zu liefern. Das Ziel der VG ist es, das mittlere Tidalvolumen zu stabilisieren.
- Die VG-Beatmung ist nicht volumengesteuerte Beatmung.
- Die VG-Beatmung hat nicht die gleichen Einschränkungen bezüglich ET-Tubusleckagen und der im Vergleich zur Lungencompliance hohen Systemcompliance, die bei druckregulierter und volumengesteuerter Beatmung gelten.

12 Glossar

Alarmverzögerungszeit

Verzögert die „MV tief“ und „V_T tief“-Alarmer beim Babylog 8000plus. Einstellbar zwischen 0 und 30 Sekunden.

Automatische Leckage-Anpassung

Kontinuierliche, automatische Anpassung der Triggerempfindlichkeit beim Babylog 8000plus an die aktuelle ET-Tubusleckage. Interaktion des Anwenders ist nicht erforderlich.

Compliance

Die Compliance beschreibt die Elastizität oder die Dehnbarkeit der Lungen bzw. des Atemsystems; sie wird berechnet aus dem Verhältnis von Volumenänderung zu Druckänderung. Die während der Beatmung gemessene wird als dynamische Compliance bezeichnet.

Compliance wird in mL/mbar bzw. mL/cmH₂O ausgedrückt [9]. Typische Werte sind:

Kleinkind, normale Lunge: $C = 3 - 5 \text{ mL/mbar}$

Kleinkind mit RDS: $C = 0,1 - 1 \text{ mL/mbar}$

Endotracheal-Tubusleckage (ET-Tubusleckage)

Gasverlust durch ungeblockten ET-Tubus. Zwischen Tubus und Tracheawand entweicht oft ein Teil des applizierten Tidalvolumens, ohne zum Gasaustausch beizutragen. Meist wird die Differenz von ein- und Inspiratorischer Spitzendruck (PIP)

Maximaler inspiratorischer Druck (PIP)

Maximaler Druck innerhalb eines Atemzuges. Der erzeugte PIP wird durch die Dynamik der Patientelunge und die Geräteeinstellungen beeinflusst. Der PIP erscheint auf dem höchsten Punkt der Druck-Zeit-Kurve.

Maximaler Inspirationsdruck (P_{insp})

Vom Anwender eingestellte Druckbegrenzung. Auf diesen Wert wird der Druck im Schlauchsystem während der Inspiration begrenzt. Sollte die Grenze einmal überschritten werden, gibt es Alarm; außerdem wird das Schlauchsystem über ein Druckentlastungsventil entlüftet.

Mittlerer Atemwegsdruck (MAP)

Der mittlere Atemwegsdruck ist der Mittelwert der Druck-Zeit-Kurve über einen Beatmungszyklus und wird vom Babylog 8000plus automatisch berechnet.

Minutenvolumen (MV)

Das MV beschreibt das gesamte Gasvolumen, das innerhalb einer Minute in die Lunge eintritt bzw. aus der Lunge austritt. Bei Leckagen am ET-Tubus geht hauptsächlich inspiratorisch Gas verloren; deshalb wird normalerweise das expiratorisch gemessene Minutenvolumen angezeigt. Wenn der Patient völlig passiv ist (d.h. relaxiert), ergibt sich das Minutenvolumen aus der folgenden Gleichung:

Minutenvolumen = Beatmungsfrequenz × Tidalvolumen

Das Minutenvolumen wird in der Regel in Liter/Minute bzw. Liter/kg/Minute ausgedrückt. Die Begriffe Minutenvolumen und Minutenventilation sind austauschbar.

(Patient Triggered Ventilation = PTV)

Sammelbegriff für alle Beatmungsformen, bei denen die maschinellen Beatmungshübe synchron zu den Einatemanstrengungen des Patienten appliziert werden.

Positiver endexpiratorischer Druck (PEEP)

Druck im Schlauchsystem während der Expirationsphase. Kurzfristig kann der Druck niedriger sein als der eingestellte PEEP, wenn der Patient mehr Gas einatmet als das Beatmungsgerät liefert; dann sinkt der Druck im Schlauchsystem vorübergehend ab.

Steuervariable der Beatmung

Die Steuervariable ist der Beatmungsparameter, der bestimmt, wann die Inspirationsphase endet und die Expirationsphase beginnt. Bei einem zeitgesteuerten Beatmungsgerät ist der Wechsel von Inspiration auf Expiration von der Zeit abhängig. Beim volumengesteuerten Beatmungsgerät endet die Inspiration, wenn ein bestimmtes Gasvolumen an den Patienten geliefert worden ist. Druck oder Flow können auch als Steuervariable verwendet werden.

Strömungswiderstand (Resistance)

Die Resistance beschreibt die inhärente Eigenschaft von gasführenden Komponenten wie Schlauchsystem, ET-Tubus und Atemwegen, den Luftstrom durch Reibungseffekte zu behindern.

Die Resistance wird in mbar/L/s bzw. cmH₂O/L/s ausgedrückt [9].

Typische Werte sind wie folgt:

Kleinkind, normale Lunge: R = 25 – 50 mbar/L/s

Intubiertes Kleinkind: R = 50 – 100 mbar/L/s

Tidalvolumen (V_T)

Innerhalb eines Atemzuges appliziertes Gasvolumen. Es kann entweder als inspiratorisches oder expiratorisches Tidalvolumen gemessen werden.

Das Babylog 8000plus mißt das expiratorische und nimmt diesen Wert als Basis für weitere Berechnungen. Normalerweise wird das V_T in mL bzw. in mL/kg ausgedrückt.

Totraum (VD)

Mit Totraumvolumen oder Totraum bezeichnet man den Teil des Atemsystems, der nicht am alveolären Gasaustausch teilnimmt. Es setzt sich zusammen aus anatomischem, physiologischem sowie mechanischem Totraum (z. B. ETT-Anschluß). Der anatomische Totraum beim Neugeborenen beträgt ca. 2 mL/kg. Änderungen des Totraumvolumens beeinflussen die alveoläre Ventilation ($\text{alv. MV} = (V_T - VD) \times f$).

Volumengesteuerter Modus

Die meisten Beatmungsgeräte können Parameter kombinieren, um den Beginn der Expiration zu bestimmen. Bei volumengesteuerten Beatmungsgeräten zum Beispiel beginnt die Expiration, wenn das vorgegebene Tidalvolumen geliefert und die eingestellte Inspirationszeit abgelaufen ist.

13 Abkürzungen

A/C	Assist Control Ventilation
C_{rs}	Compliance des Atemsystems
C_T	Compliance des Schlauchsystems
ETT	Endotrachealtubus
f	Beatmungsfrequenz
FiO_2	Fraktion der inspiratorischen O_2 -Konzentration
kg	Kilogramm Körpergewicht
LED	Leuchtdiode
MAP	mittlerer Atemwegsdruck
MV	Minutenvolumen
PEEP	positiver endexpiratorischer Druck
P _{insp}	eingestellter maximaler Beatmungsdruck
PIP	inspiratorischer Spitzendruck
PSV	Pressure Support Ventilation
PTV	Patient Triggered Ventilation
R_{rs}	Widerstand des Atemsystems
RDS	Respiratory Distress Syndrome
SIMV	Synchronised Intermittent Mandatory Ventilation
SIPPV	Synchronised Intermittent Positive Pressure Ventilation
T_E	Expirationszeit
T_I	Inspirationszeit
VG	Volumen Garantie
\dot{V}_{insp}	eingestellter Inspirationsflow für die Beatmung
V_T	Tidalvolumen
$V_{T\text{ein}}$	eingestelltes Tidalvolumen für Volumen- Garantie
τ_{rs}	respiratorische Zeitkonstante

14 Fallbeispiele

Fall 1

Das Kleinkind M. kam in der 27. Schwangerschaftswoche durch Spontangeburt zur Welt und wog 1050 Gramm. Bei der Geburt war der Patient in gutem Zustand. Er wurde in den ersten drei Stunden mit nasalem CPAP bei 6 mbar in 40 % Sauerstoff unterstützt. Unter CPAP waren die arteriellen Blutgase anfangs stabil, verschlechterten sich dann aber allmählich, wobei der Patient zunehmende Atemanstrengungen unternahm. Daraufhin wurde er intubiert und im Alter von nur drei Stunden mit SIPPV beatmet (Pfeil 1 in der Graphik).

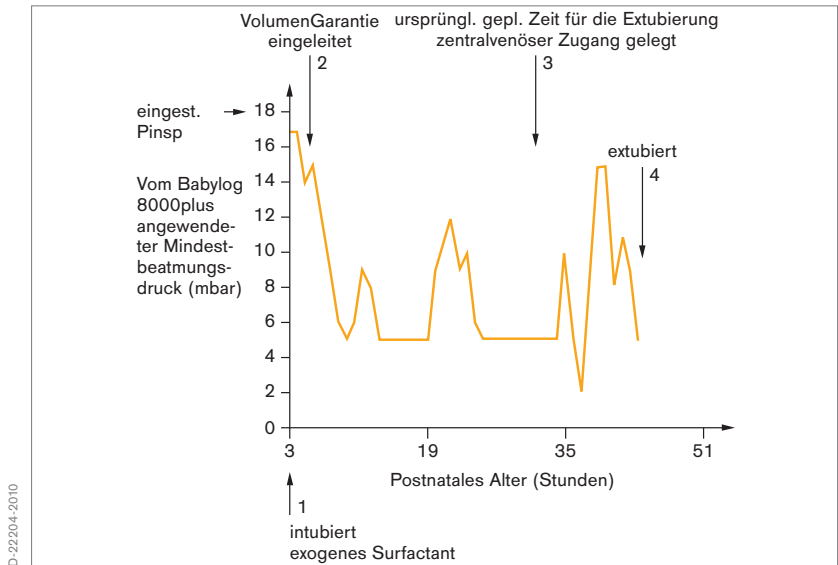
Initiale Geräteeinstellungen

Beatmungsform	SIPPV
P_{insp}	20 mbar, dann auf 18 mbar reduziert
PEEP	5 mbar
Backup-Frequenz	80 bpm
T_1	0,32 s
FiQ_2	0,30

Diese Einstellungen ergaben ein durchschnittliches Tidalvolumen von etwa 6 mL, wie auf dem Babylog-Bildschirm zu erkennen ist.

Blutgaswerte, eine Stunde nach Einleitung von SIPPV

pH	7,30
$PaCO_2$	5,8 kPa
PaO_2	6,6 kPa
Bic	20,1 mmol/L
BE	- 5,2 mmol/L



Graphik 1: Im Alter von etwa 5 Stunden wurde die VG-Option mit SIMV aktiviert mit einem eingestellten V_T von 6 mL, was 6 mL/kg Geburtsgewicht entspricht (Pfeil 2). Pinsp blieb mit 18 mbar unverändert, da dies die ursprüngliche Einstellung bei SIPPV war. Der Patient wurde dann mit SIMV + VG beatmet, mit einem eingestellten V_T von 6 mL bis zur Extubation nach etwa 2 Tagen (Pfeil 4). Die SIMV-Frequenz wurde über diese Zeit auf 20 bpm reduziert. Über beide Tage hinweg blieben die Blutgase innerhalb akzeptabler Grenzen, und Pinsp blieb mit 18 mbar unverändert.

Die Graphik zeigt die Mindestbeatmungsdrücke, die das Babylog im Mittel über je eine Stunde für das eingestellte V_T brauchte. Die Daten wurden aus Messungen übernommen, die im Babylog und in der Babyview-Software gespeichert waren. Es ist deutlich zu erkennen, daß die Spitzendrücke zur Applikation von 6 mL während der ersten 24 Stunden nach Einleitung der Beatmung ziemlich schnell abfielen, was die zunehmenden Atemanstrengungen und bessere Lungencompliance widerspiegelt. Dieser Abfall der Spitzendrücke ist direkt auf den Einsatz von VG zurückzuführen und ist nicht die Folge der Es war entschieden worden, den Patienten im Alter von ca. 36 Stunden zu extubieren (Pfeil 3), als die Spitzendrücke des Babylog

nahe am PEEP lagen oder etwas darüber. Der Patient brauchte aber zu diesem Zeitpunkt einen zentralvenösen Zugang und angesichts des daraus entstehenden Aufwandes beschloß der diensthabende Arzt, die Extubation auf den folgenden Vormittag zu verschieben (Pfeil 4). In der Zeit zwischen Pfeil 3 und Pfeil 4 ist zu sehen, daß die Beatmungsdrücke noch einmal vorübergehend anstiegen. Man kann nicht mit Sicherheit sagen, was dafür die Ursache war; wahrscheinlich war der Druckanstieg die Folge von Patientenermüdung. Vielleicht wäre es sogar besser gewesen, den Patienten im Alter von ca. 15 Stunden zu extubieren, als die Drücke bei 8-10 mbar lagen und das Beatmungsgerät im Prinzip nur noch soviel zusätzlichen Druck lieferte, wie erforderlich war, um den Widerstand des ET-Tubus zu überwinden.

Dieser Fall zeigt deutlich, wie die VG-Option die zur Applikation der gewünschten Tidalvolumina erforderlichen inspiratorischen Beatmungsdrücke automatisch reduziert, wenn sich der Patientenzustand verbessert.

Der Fall erinnert auch daran, daß Kleinkinder mit sehr niedrigem Geburtsgewicht, die lange mit endotrachealem CPAP behandelt werden, durch zusätzliche Atemarbeit ermüden können, die durch den hohen Widerstand des ET-Tubus entsteht.

Fall 2

Das Kleinkind C. wurde in der 29. Schwangerschaftswoche geboren und wog 1440 Gramm. Bei der Geburt betrug seine Herzfrequenz 60 pro Minute, und er machte keine Atemanstrengungen. Im Alter von 3 Minuten wurde er intubiert und erhielt eine Dosis exogenes synthetisches Surfactant. Eine weitere Dosis Surfactant folgte im Alter von 90 Minuten. Die maximalen Beatmungseinstellungen bei SIPPV waren wie folgt:

Pinsp	18 mbar
PEEP	5 mbar
T_I	0,32 s
T_E	0,43 s
Frequenz	80 bpm (anfängliche Backup-Frequenz)
FiO_2	0,21

Er wurde schnell entwöhnt und im Alter von etwa 10 Stunden erfolgreich extubiert und auf nasalen CPAP gesetzt.

Während der Beatmung zeigte der Patient gute und häufig auch kräftige spontane Atemaktivität. Er wurde abwechselnd bei der SIPPV-Beatmung mit und ohne Volumen Garantie beobachtet. Daten wurden kontinuierlich aufgezeichnet und sind in der Tabelle auf Seite 67 dargestellt.

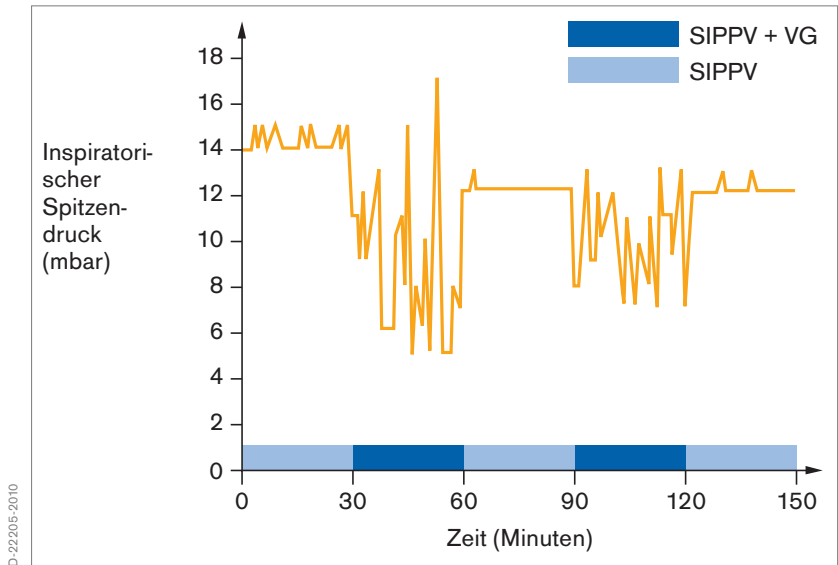
Es gab zwei Perioden der SIPPV-Beatmung mit VG und drei Perioden ohne VG. Jede Periode betrug eine halbe Stunde. Das V_T während SIPPV mit VG wurde so gewählt, daß es einem typischen Tidalvolumen bei SIPPV nahe kam. Während der ersten Periode mit SIPPV betrug der Pinsp 14 mbar und in den weiteren 12 mbar (Pinsp mußte zwischen der ersten und zweiten Perioden mit SIPPV wegen verbesserter Blutgase reduziert werden). Während beider Perioden von SIPPV + VG stand Pinsp auf 17 mbar, um dem Beatmungsgerät einen Spielraum von 5 mbar zu geben. Die anderen Geräteeinstellungen waren während der beobachteten Zeiträume identisch. Die Daten wurden in Abständen von einer Minute aufgenommen.

Beatmungsdaten kamen vom Babylog über die BabyView-Software. Die Blutgaswerte lieferte ein kalibrierter, transkutaner CO_2 - und O_2 -Sensor (Radiometer).

	ohne VG			mit VG		
	Mittel	Median	SA	Mittel	Median	SA
Spitzendruck (mbar)	12,80	12,00	1,10	9,30	9,00	2,70
Getr. Beatmungsfrequ. (bpm)	67,00	66,00	10,00	72,00	71,00	12,00
Tidalvolumen (mL)	6,40	6,50	1,70	6,10	5,70	3,50
Minutenvolumen (L/m)	0,40	0,40	0,10	0,40	0,40	0,20
CO_2 (kPa)	4,17	4,20	0,30	4,40	4,40	0,18
O_2 (kPa)	8,80	8,90	0,80	8,90	9,00	0,49

Tabelle 3: Die Tabelle zeigt, daß der mittlere Beatmungsdruck bei gleichem Tidal- und Minutenvolumen bei SIPPV + VG (9,3 mbar) niedriger war als bei SIPPV ohne VG (12,8 mbar); und das, obwohl Pnsp bei SIPPV + VG auf 17 mbar eingestellt war im Vergleich zu 12 bzw. 14 mbar bei SIPPV. Bei SIPPV + VG gab es jedoch einen statistisch, aber wahrscheinlich nicht klinisch signifikanten Anstieg des transkutanen CO_2 . Der transkutane O_2 blieb zwischen den beiden Beatmungsformen unverändert.

Die Tabelle zeigt auch, daß einige der während der Beatmung mit VG gelieferten Tidalvolumina deutlich größer ausfielen als das eingestellte V_T (Standardabweichung 3,5 mL). Dies ist mit großer Wahrscheinlichkeit auf sehr kräftige Atemanstrengungen des Patienten zurückzuführen. Falls diese Atemzüge das eingestellte Tidalvolumen um mehr als 30 % überschritten, würde das Babylog sicherheitshalber die Inspiration abrechnen und mit Expiration beginnen. Der Patient kann aber weiterhin sehr große Atemzüge nehmen, falls er möchte. Wenn diese kräftigen Atemanstrengungen andauern, ist das Ziel der VG, nämlich das V_T zu stabilisieren, nicht mehr erreichbar. In solchen Situation ist der Einsatz von VG möglicherweise unangebracht.



D-22205-2010

Graphik 2: Änderungen der Beatmungsdrücke. Die Graphik zeigt viele Atemzüge, die bei der Beatmung mit VG einen PIP deutlich unter P_{insp} von 17 mbar haben. Die Schwankungen dieses Druckes sind ebenfalls erkennbar, was die wechselnden Atemanstrengungen des Patienten widerspiegelt.

Dieser Fall zeigt deutlich wie VG die spontane Atemanstrengung des Kleinkindes ausnutzt und die Beatmungsdrücke reduziert.

Wenn der Patient stabil und mit normaler Anstrengung atmet, sollte VG die Beatmungsdrücke minimieren und gleichzeitig das Zieltidalvolumen applizieren können.

Fall 3

Kleinkind W., 39. SSW, 2,99 kg. Ab einem Alter von 6 Stunden wurde der Patient wegen zunehmender Atemnot, vermutlich als Folge von Sepsis und möglicherweise Meconium-Aspiration, beatmet. Er wurde mit folgenden Geräteeinstellungen und arteriellen Blutgaswerten auf die regionale NICU verlegt:

Initiale Geräteeinstellung

Beatmungsform	IPPV
Pinsp	27 mbar
PEEP	4 mbar
Frequenz	74 bpm
T_I	0,40 s
T_E	0,41 s
FiO_2	0,37

Initiale arterielle Blutgaswerte

pH	7,42
$PaCO_2$	4,48 kPa
PaO_2	6,8 kPa
Bic	21,6 mmol/L
BE	- 2,6 mmol/L

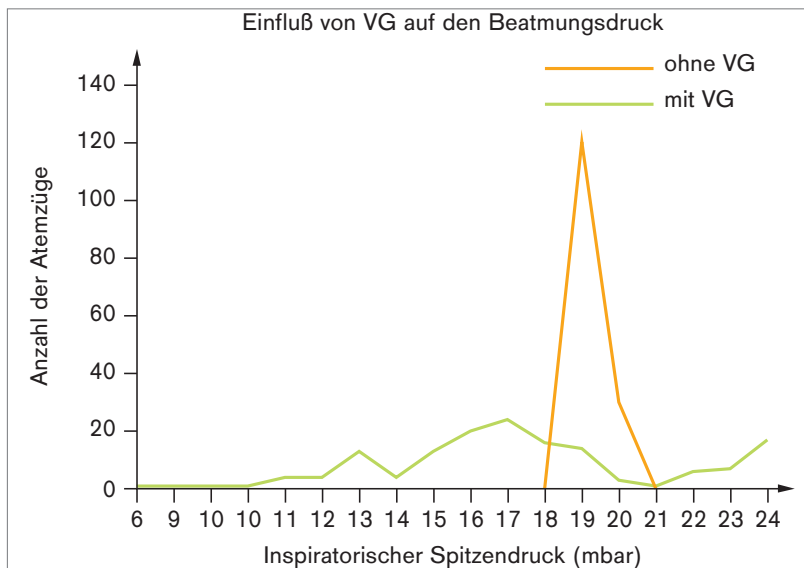
Bei Ankunft in der NICU war der $PaCO_2$ des Patienten auf 3,8 kPa gesunken. Er wurde anschließend unter SIPPV bei Drücken von 19/5 mbar beatmet. Daraus resultierte ein Tidalvolumen von 13 mL (4,3 mL/kg). Um seine Reaktion auf die Beatmung mit Volumen Garantie (VG) zu beobachten, wurde der Patient abwechselnd unter SIPPV mit und ohne VG beatmet. V_T , inspiratorischer Spitzendruck und transkutane CO_2 wurden jeweils kontinuierlich gemessen. Die Druck- und Volumenwerte kamen direkt aus dem Babylog 8000plus mit Hilfe der BabyView-Software; der $PaCO_2$ wurde mittels einer kalibrierten transkutanen CO_2 -Sonde ermittelt. Beide Varianten von SIPPV wurden je zweimal für 30 Minuten untersucht.

Bei SIPPV + VG wurden die Geräteeinstellungen wie folgt angepaßt:

Beatmungsform	SIPPV + VG
P _{insp}	24 mbar, also vorheriger PIP + 5 mbar
PEEP	5 mbar
T _i	0,32 s
Backup-Frequenz	60 bpm
eingestelltes V _T	13 mL (= 4,35 mL/kg)
FiO ₂	0,30

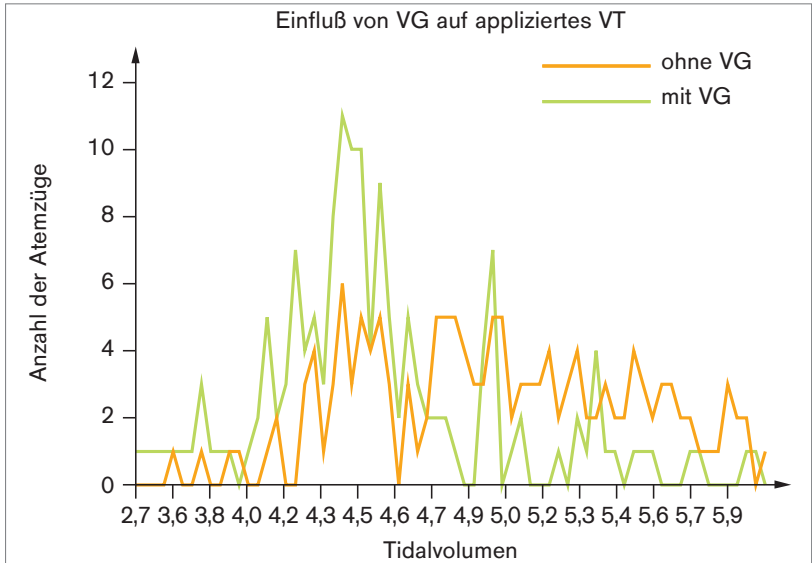
Bei den obigen Einstellungen waren die arteriellen Blutgaswerte wie folgt:

pH	7,36
PaCO ₂	4,9 kPa
PaO ₂	7,8 kPa
Bic	21,2 mmol/L
BE	- 4,2 mmol/L



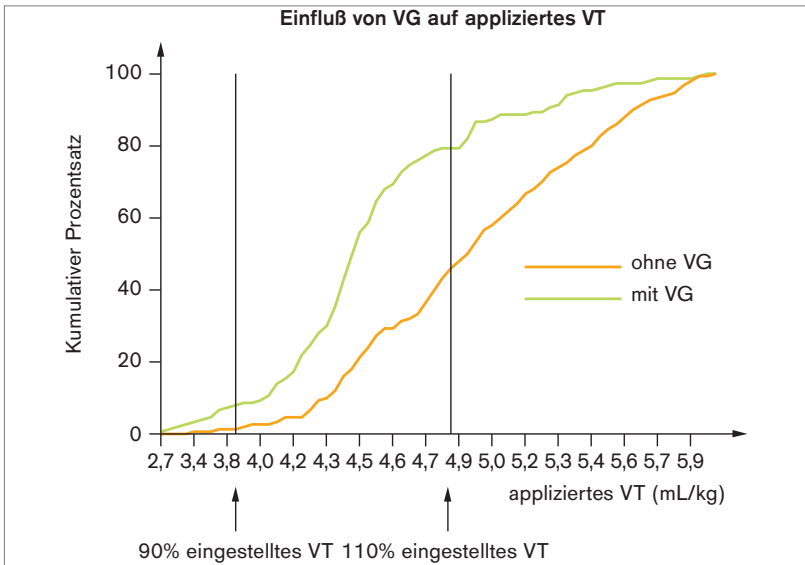
Graphik 3: Beatmungsdrücke des Patienten in Phasen mit und ohne VG. Bei SIPPV ohne VG spiegelt der verwendete PIP deutlich den eingestellten P_{insp} wider und beträgt für die meisten Atemzüge 19 mbar. Bei SIPPV + VG kann das Beatmungsgerät jedoch den Beatmungsdruck je nach Patientenanstrengungen frei regulieren, um das eingestellte V_T zu erreichen. Daher gibt es viele Atemzüge, bei denen der Druck erheblich unter P_{insp} und auch unter den bei SIPPV eingestellten 19 mbar liegt.

Dieser Fall demonstriert den potentiellen Vorteil von VG: kleinere Schwankungen der applizierten Tidalvolumina (und somit auch der CO₂-Werte) und Beatmungsdrücke auf dem niedrigstmöglichen Niveau, mit dem das gewünschte Tidalvolumen im Durchschnitt zu erreichen ist.



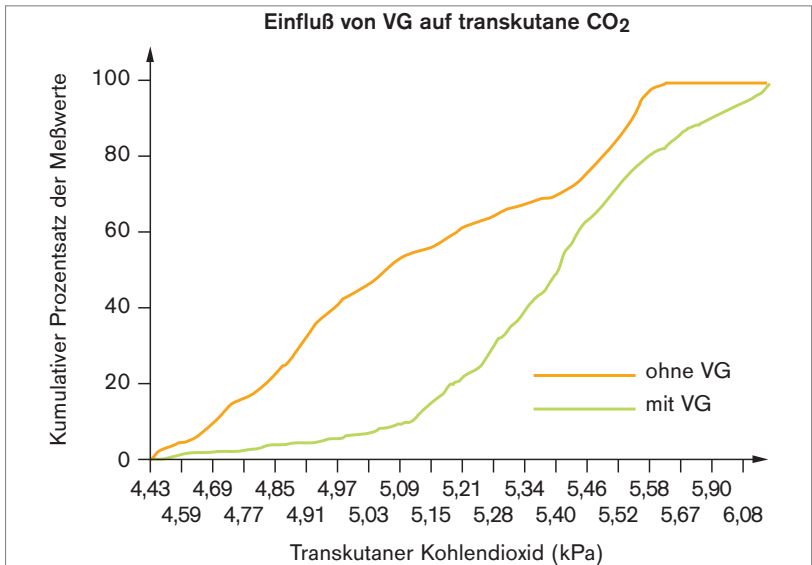
D-22212-2010

Graphik 4: Häufigkeitsverteilung des applizierten Tidalvolumens bei SIPPV und bei SIPPV + VG. Bei SIPPV gibt es mehr Atemzüge, die größer sind als das eingestellte V_T von 4,35 mL/kg als bei SIPPV + VG.



D-22215-2010

Graphik 5: Gleiche Daten, aber diesmal mit dem applizierten V_T auf der x-Achse und dem kumulativen Prozentsatz der Atemzüge auf der y-Achse. Bei V_T ein+10 % sowie bei V_T ein - 10 %, also bei 4,8 und 3,9 mL sind Referenzlinien eingezeichnet. Bei SIPPV + VG hat ein größerer Anteil der Atemzüge als bei SIPPV ein Tidalvolumen im Bereich von 10 % um das eingestellte V_T . Fast 80 % der Atemzüge bei SIPPV + VG liegen unterhalb der 110%-Marke; nur knapp über 40 % sind es bei SIPPV ohne VG. Das ist der primäre Zweck von VG: ein stabileres Tidalvolumen unter Berücksichtigung der variablen Eigenatmung des Patienten zu liefern.



D-22214-2010

Graphik 6: Einfluß von transkutanem CO₂ mit und ohne VG, in kumulativer Form dargestellt. Hier sehen wir eine breitere Streuung der CO₂-Werte bei SIPPV ohne VG als bei SIPPV mit VG. Daß die Unterschiede hierbei gering sind, ist lediglich darauf zurückzuführen, daß die SIPPV-Einstellungen bereits angepaßt waren. Andernfalls könnte man möglicherweise eine erheblich größere Schwankung der CO₂-Werte bei SIPPV ohne VG als bei SIPPV mit VG erwarten.

15 Literaturverzeichnis

- [1] Dreyfuss D, Saumon G.
Role of tidal volume, FRC, and end-expiratory volume in the development of pulmonary edema following mechanical ventilation.
Am Rev Respir Dis 1993; 1485(5): 1194 -1203
- [2] Dreyfuss D, Soler P, Saumon G.
Spontaneous resolution of pulmonary edema caused by short periods of cyclic overinflation.
J Appl Physiol 1992; 72(6): 2081-2089
- [3] Hernandez LA, Peevy KJ, Muise AA et al.
Chest wall restriction limits high airway pressure-induced injury in young rabbits.
J Appl Physiol 1989; 66: 2364
- [4] Bjorkland L, Curstedt T, et al.
Manual ventilation with a few large breaths at birth compromises the therapeutic effect of subsequent surfactant replacement in immature lambs.
Ped Res 1997; 42(3): 348-355
- [5] Avery M, Tooley WH, Keller JB et al.
Is chronic lung disease in low birth weight infants preventable? A survey of eight centers.
Pediatrics 1987; 79: 26-30
- [6] Kraybill EN, Runyan DK, Bose CL, Khan JH.
Risk factors for chronic lung disease in infants with birth weights of 750 to 1000 grams.
J Pediatr 1989; 115(1): 115-120

- [7] Reiterer F, Sivieri E, Abbasi S, Bhutani VK. Evaluation of Pulmonary Functions During Pressure-Limited Manual Ventilation in Preterm Neonates. *Pediatr Pulmonol* 1993; 15: 117-121
- [8] Veness-Meehan K, Richter S, Davis J. Pulmonary Function Testing Prior to Extubation in Infants With Respiratory Distress Syndrome. *Pediatr Pulmonol* 1990; 9: 2-6
- [9] Boynton, Carlo, Jobe. *New Therapies for Neonatal Respiratory Failure*. Cambridge University Press 1994; p135

HAUPTSITZ

Drägerwerk AG & Co. KGaA
Moislinger Allee 53–55
23558 Lübeck, Deutschland

www.draeger.com

Hersteller:

Drägerwerk AG & Co. KGaA
Moislinger Allee 53–55
23558 Lübeck, Deutschland

Ihren Ansprechpartner vor
Ort finden Sie unter:
www.draeger.com/kontakt



DEUTSCHLAND

Dräger Medical
Deutschland GmbH
Moislinger Allee 53–55
23558 Lübeck
Tel 0800 882 882 0
Fax 0451 882 720 02
dsc@draeger.com

ÖSTERREICH

Dräger Austria GmbH
Perfektastraße 67
1230 Wien
Tel +43 1 609 04 0
Fax +43 1 699 45 97
office.austria@draeger.com

SCHWEIZ

Dräger Schweiz AG
Waldeggstrasse 30
3097 Liebefeld
Tel +41 58 748 74 74
Fax +41 58 748 74 01
info.ch@draeger.com