

# Differenzierte Beatmungsmodi in der Anästhesie – Klinische Anwendung von PCV-VG

Differenzierte Beatmungsmodi werden seit langem erfolgreich im Rahmen der Intensivbeatmung eingesetzt. Es konnte gezeigt werden, dass in speziellen klinischen Situationen nicht nur die Beatmungszeit verkürzt, sondern auch die Oxygenierung verbessert wird [1-6]. Diese Beatmungsmodi stehen heutzutage auch dem Anästhesisten für die Anästhesiebeatmung zur Verfügung. In diesem Artikel wird anhand von klinischen Beispielen aufgezeigt, dass der neue Beatmungsmodus PCV-VG (druckkontrollierte Beatmung mit Volumengarantiefunktion) eine differenzierte, wertvolle Beatmungsform für die perioperative Umgebung ist und den Workflow positiv beeinflusst.

## Maß aller Dinge

Durch intensive, strukturelle und wissenschaftliche Aufarbeitung der Pathophysiologie der Lunge und der künstlichen Beatmung wurden Guidelines geschaffen, die das Outcome schwer lungenkranker Patienten mit ARDS verbessern sollen [1]. Nach einer im Jahre 2008 veröffentlichten Studie von Wolthuis et al. gibt es Grund zur Annahme, dass

lungenprotektive Beatmungsstrategien auch in der Anästhesieumgebung und bei lungengesunden Patienten inflammatorische Reaktionen verhindern können [7].

Zusammen mit den Medizinprodukteherstellern wurden Beatmungsformen entwickelt, die weitaus mehr Möglichkeiten als die volumenkontrollierte Beatmung bieten. Diese Entwicklungen haben in einer intensivmedizinischen Umgebung stattgefunden. Versucht man nun in der Literatur Hinweise zu finden, dass differenzierte Beatmungsmodi auch in der Anästhesiebeatmung Nutzen für den Patienten bringen, so mangelt es hier an klinischen Studien. Generell geht man heutzutage davon aus, dass das, was für einen Patienten in einer Intensivumgebung zutrifft, auch für den Operationssaal gilt.

Nun werden im Operationssaal im Vergleich zur Intensivstation auch lungengesunde Patienten beatmet. Aber auch hier gilt das Prinzip, dass das, was für eine kranke Lunge gut ist, prinzipiell einer gesunden Lunge nicht schaden kann.



Da sich in vielen Teilen der medizinischen Welt Intensivmediziner aus Anästhesisten rekrutieren, wurde die Expertise der Intensivbeatmung schnell in den OP getragen. Die Industrie hat darauf reagiert und die bewährten Beatmungsformen der Intensivmedizin in den modernen Anästhesiesystemen etabliert.

## Pathophysiologie der beatmungsassoziierten Lungenschädigungen

Die maschinelle Beatmung stellt für schwer lungenkranke Patienten eine überbrückende Therapieoption dar. Leider wird damit das kausale Problem nicht behandelt. Die Beatmung dient nur dazu, die funktionelle Organinsuffizienz zu überbrücken. Man weiß heute, dass die Beatmung selbst schädigende Wirkung auf das Organ Lunge hat und es wurde dafür eigens der Begriff der beatmungsassoziierten Lungenschädigung geschaffen. Ursächlich hierfür werden drei Mechanismen diskutiert [8].

**Volutrauma:** Schädigung durch Überdehnung des Lungengewebes durch zu hohe Tidalvolumina.  
**Barotrauma:** Schädigung durch zu hohen Beatmungsdruck. Der dritte Pathomechanismus wird als Atelektrauma bezeichnet. Darunter versteht man das zyklische Öffnen und Schließen der Alveolen. Alle drei Mechanismen führen über eine inflammatorische Reaktion des Lungenparenchyms (Biotrauma) zum beatmungsassoziierten Lungenschaden.

## Evidenz basierte Medizin

Auf dem Boden umfangreicher Studien gibt es im wesentlichen drei Empfehlungen des „The acute respiratory distress syndrome networks“ [1].

Diese sind: Vermeidung von exzessiven Beatmungsdrücken mit einem Plateaudruck von  $< 30$  mbar und einer

Begrenzung des Tidalvolumens auf  $6 \text{ ml/kg}$  Körpergewicht.

Das Atelektrauma soll durch einen ideal gewählten PEEP vermieden werden, der einen zyklischen Kollaps der Alveolen verhindern soll.

## Der adäquate Beatmungsmodus für die Anästhesie

Beleuchtet man anhand dieser Kenntnisse die etablierten Beatmungsmodi, so reduziert sich die Auswahl sogleich auf einige wenige. Die klassische volumenkontrollierte Beatmung (VCV) ohne Druckbegrenzung ist als nicht lungenschonende Beatmungsform abzulehnen, da sie durch den konstanten Flow schnelle Kompartimente überdehnen und schädigen kann. Bei einer Compliance-Verschlechterung können die Beatmungsdrücke in schädliche Bereiche steigen. Die klassische druckkontrollierte Beatmung (PCV) hat zum Nachteil, dass bei Complianceverbesserung Tidalvolumina generiert werden, die zur Überdehnung der Lunge und so zum Volutrauma führen können.

Bei der weiteren Suche nach einem Beatmungsmodus, der den Forderungen des ARDS-Networks entspricht [1], stößt man auf den Beatmungsmodus PCV-VG (druckkontrollierte Beatmung mit Volumengarantiefunktion). PCV-VG ist ein zeitgesteuerter, druckregulierter und volumenkonstanter Beatmungsmodus. Der Flow wird mit einem dezelerierenden Flowprofil appliziert. Somit handelt es sich hierbei um einen druckkontrollierten Beatmungsmodus, der ein voreingestelltes Tidalvolumen appliziert.

Durch den dezelerierenden Flow werden regionale Überdehnungen der schnellen Lungenkompartimente verhindert [9]. Ebenso wird der

Anstieg des Beatmungsdrucks in traumatisierende Bereiche durch die Druckkontrolle verhindert. Insgesamt wird durch den dezelerierenden Flow ein niedrigeres Druckniveau generiert, um ein definiertes Volumen zu applizieren, als bei volumenkontrollierter Beatmung [9]. Durch die Volumengarantiefunktion wird das eingestellte Tidalvolumen appliziert, wobei der Spitzendruck innerhalb vorgegebenen Grenzen an die Lungencompliance angepasst wird.

Somit können bei richtiger Einstellung der Beatmungsparameter mit dieser Beatmungsform zwei der drei Pfeiler der lungenschonenden Beatmungsstrategien berücksichtigt werden, nämlich das Barotrauma und das Volutrauma. Wählt der Arzt noch das adäquate PEEP-Niveau oberhalb des unteren Inflektionspunktes der Druck-Volumen-Kurve, so wird auch dem dritten und letzten Pfeiler der lungenprotektiven Beatmungsstrategie Rechnung getragen.

## Beatmungsprotokoll von PCV-VG

Compliance-Veränderungen der Lungen finden in einer OP-Umgebung häufiger statt als auf einer Intensivstation. Diese können zum einen endogene Ursachen haben, wie z.B. Entstehung und Öffnung von Atelektasen. Vor allem aber sind die exogenen Faktoren häufig, wie laparoskopische Eingriffe, direkter Druck auf das Zwerchfell oder den Thorax durch den Operateur oder operationsbedingt durch Lagerungsmaßnahmen und Volumengabe. Lungenprotektive Beatmungsmodi, wie die herkömmliche druckkontrollierte Beatmung, fordern ständige aktive Korrekturmaßnahmen in Form von Änderungen der Beatmungseinstellungen durch den Anästhesisten. Doch gerade die perioperative Umgebung ist ein Arbeitsumfeld, das die „Multi-Tasking“-Fähigkeiten des Anästhesisten

fortwährend austestet. Dank des speziellen, funktionell halbautomatisierten Beatmungsprotokolls von PCV-VG wird das Anästhesieteam entlastet.

TV ml	RR /min	I:E	PEEP cmH <sub>2</sub> O
170	12	1:2	5

Abb 1

### Grundeinstellung

Die Grundeinstellung unterscheidet sich nicht von einer volumenkontrollierten Beatmung. Einzustellen sind Tidalvolumen, Beatmungsfrequenz, I:E Ratio und PEEP (Abb.1):

### „Steady State“

Der erste Beatmungshub bei PCV-VG wird mit konstantem Flow appliziert. Auf dem Boden der errechneten Compliance wird das Druckniveau für die folgenden druckkontrollierten Beatmungshübe ermittelt. Dabei wird das applizierte Volumen über den im inspiratorische Schenkel platzierten Flowsensor gemessen. Bei gleichbleibender Compliance/Resistance stellt sich ein „Steady State“ ein (Abb.2-A).

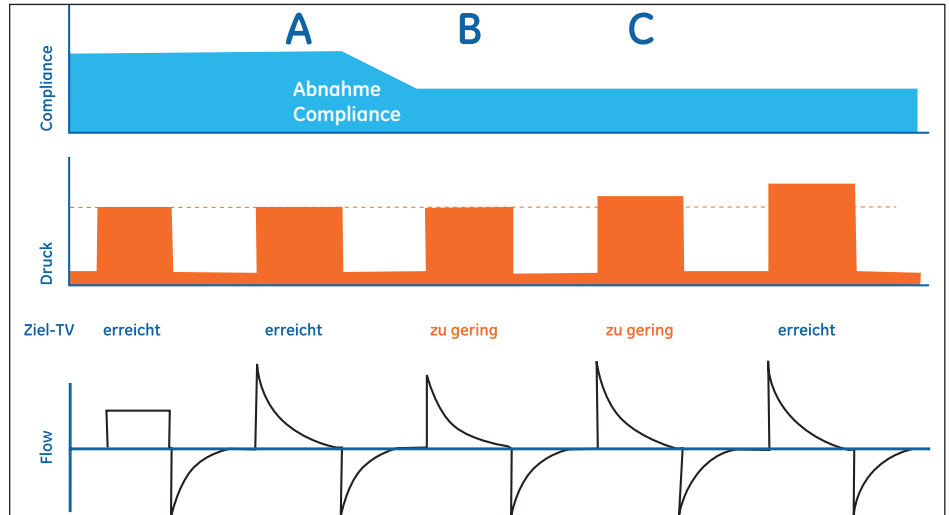


Abb 2

### Verschlechterung der Lungencompliance

Kommt es nun durch exogene oder endogene Faktoren zu einer Verschlechterung der Lungencompliance, so wird das Zieltidalvolumen nicht mehr erreicht (Abb.2-B).

Folglich wird das Druckniveau automatisch so weit angehoben, bis das Zielvolumen wieder erreicht wird (Abb.2-C). Dabei werden Anpassungsschritte von 3 mbar nicht überschritten. Um bei extremen Compliance-Veränderungen den Beatmungsdruck nicht in schädigende Bereiche ansteigen zu lassen, wird ein Drucklimit vom Anwender festgelegt, das nicht überschritten werden kann.

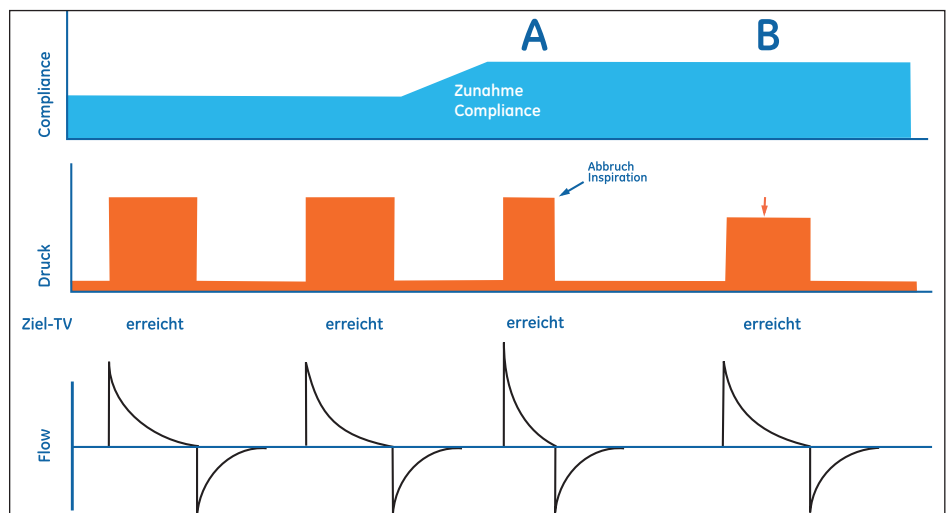


Abb 3

### Verbesserung der Lungencompliance

Bei plötzlicher Verbesserung der Lungencompliance würde bei konventioneller druckkontrollierter Beatmung das Tidalvolumen unkontrolliert steigen und könnte somit ein Volutrauma verursachen. Bei PCV-VG wurde hierfür ein Schutzmechanismus technisch realisiert: Der inspiratorische Flowsensor ist für die Kontrolle des verabreichten Tidalvolumens verantwortlich. Bei Erreichen des Zieltidalvolumens wird der Beatmungshub abgebrochen (Abb.3-A). Konsekutiv wird bei den folgenden Beatmungshüben das Druckniveau in maximal 3 cmH<sub>2</sub>O-

	VCV	PCV	PCV-VG
Tidalvolumen	vorgegeben	variabel	vorgegeben
Pinsp	variabel	vorgegeben	automatische Anpassung an Compliance/Resistance
Flow	konstant	decelerierend	decelerierend
Vorteil	volumenkonstant	niedrigeres Druckniveau (vs VCV)	volumenkonstant und niedrigeres Druckniveau
Nachteil	höheres Druckniveau (vs PCV)	volumenvariabel	—

Tabelle 1

Schritten gesenkt, bis das Zieltidalvolumen wieder im vorgesehenen Zeitintervall appliziert werden kann (Abb.3-B).

Durch diese schnelle Adaptationsfähigkeit wird der Beatmungsdruck immer so niedrig wie möglich gehalten. Somit bietet PCV-VG die lungenprotektiven Eigenschaften der druckkontrollierten Beatmung und die Volumenkonstanz der volumenkontrollierten Beatmung. In Tabelle 1 werden die Vor- und Nachteile gegenüber den konventionellen Beatmungsmodi aufgelistet:

Zusammenfassend kann man zwei Vorteile der PCV-VG Beatmung definieren. Erstens die Umsetzung der Prinzipien einer lungenprotektiven Beatmung bei sich häufig ändernder Lungencompliance. Zweitens eine Halbautomatisierung der Beatmung, bei der der behandelnde Arzt nicht ständig den Beatmungsdruck an das gemessene Tidalvolumen anpassen muss. PCV-VG stellt somit eine Arbeitsentlastung für den Arzt dar, erhöht die Sicherheit der Patienten und optimiert den Workflow in der perioperativen Umgebung.

Im Folgenden werden nun klinische Situationen beschrieben werden, in denen die Beatmung mit PCV-VG ganz spezielle Vorteile bietet und theoretisch das Outcome positiv beeinflussen kann. Klinische Studien hierzu stehen noch aus.

### Laparoskopische Chirurgie

Die Einhaltung eines definierten Atemzugvolumens mit der herk mlichen druckkontrollierten Beatmung ist bei

Operationen mit ständig wechselnden intraabdominellen Druckverhältnissen schwierig und erfordert sehr häufiges Anpassen der Beatmungseinstellung. PCV-VG hingegen ermöglicht eine druckkontrollierte Beatmung mit dezelerierendem Flow bei Operationen mit sich häufig ändernden intraabdominellen Druckverhältnissen, ohne dass durch zu niedrige Atemhubvolumina die Gefahr einer Hypoventilation besteht. Gleichzeitig wird ein Volutrauma durch zu hohe Atemzugvolumina in diesem Modus sicher vermieden. Diese Art der druckkontrollierten Beatmung bewirkt eine gute Oxygenierung und CO<sub>2</sub>-Elimination mit konstanten Tidalvolumina (Abb. 4) bei gleichzeitig niedrigeren Beatmungsdr cken (Abb.5) als bei der volumenkontrollierten Beatmung [10].

### Polytraumaversorgung

Die Polytraumaversorgung ist eine der komplexesten Aufgaben des Anästhesisten. Vor allem bei der Kombination aus Thoraxtrauma und Schädelhirntrauma (SHT) ist ein lückenloses Monitoring essentiell, da sich beide Pathologien gegenseitig negativ beeinflussen. So können in den ersten Stunden der Versorgung starke Veränderungen der Lungencompliance auftreten. Ursächlich hierfür sind akute pulmonale Blutungen, spezielle Lagerungsmanahmen, Notfall Eingriffe im Oberbauch (Milzextirpation und Leberteilresektion) etc. Es liegt nahe, dass der verantwortliche Arzt sich für einen lungenprotektiven Beatmungsmodus wie PCV entscheidet. Der Nachteil ist, dass unter den Compliance Änderungen

der arterielle Partialdruck von Kohlendioxid (pCO<sub>2</sub>) sehr inkonstant sein kann. Insbesondere können erhöhte pCO<sub>2</sub>-Werte, vermittelt über eine Dilatation der intrakranialen Gefäße, zu einer zusätzlichen intrakraniellen Druckerhöhung führen. Dabei kann es zum sekundären Hirnschaden kommen[11].

PCV-VG hat in dieser klinischen Situation drei Vorteile: Erstens sind es die lungenprotektiven Beatmungseigenschaften, zweitens die hirnprotektiven Eigenschaften, vermittelt über ein konstantes pCO<sub>2</sub> im unteren Normbereich und drittens die Freisetzung anästhesiologischer Personalressourcen für andere Aufgaben während einer Akutversorgung durch eine Halbautomatisierung der Ventilation.

### Versorgung von Verbrennungspatienten

Auch die Akutphase während der Versorgung von Verbrennungspatienten beeinflusst die Lungencompliance wesentlich. Durch exzessive Volumengaben in den ersten 24 Stunden zusammen mit der gesteigerten Permeabilität der Kapillarmembran entstehen extreme Flüssigkeitseinlagerungen. Dabei verschlechtert sich zunehmend die Lungencompliance. Massivverst rkt werden kann dies durch drittgradige Verbrennungen im Thoraxbereich. Da es sich bei der Flüssigkeitseinlagerung um einen fließenden progredienten Prozess handelt, kann PCV-VG das Atemminutenvolumen innerhalb der

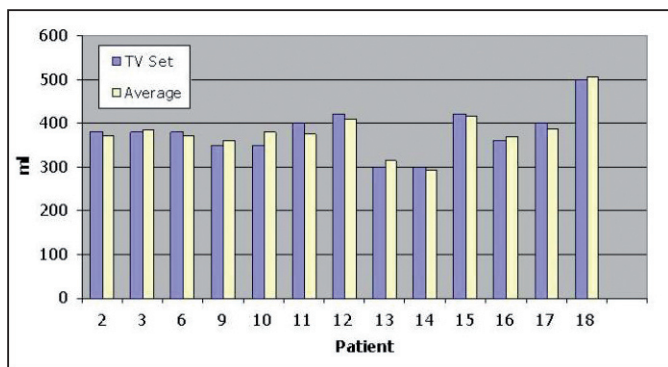


Abb 4

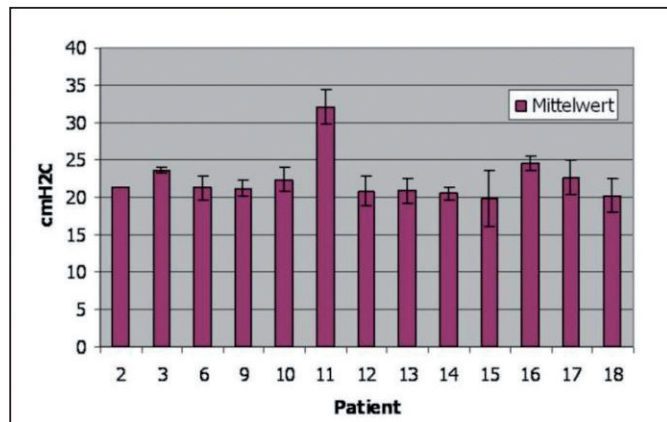


Abb 5

vorgegebenen Druckgrenzen konstant halten und dabei das Tidalvolumen mit einem lungenprotektiven, dezelerierenden Flow verabreichen.

## Herz- Thoraxchirurgie

Operationen im offenen Thorax gehen mit zum Teil plötzlichen Änderungen der Lungencompliance einher. Hier werden oft Patienten mit stark vorgeschädigten Lungen operiert. Gerade diese Patienten profitieren von einer Begrenzung des Tidalvolumens und des Beatmungsdrucks [9]. Möchte man beiden Ansprüchen gerecht werden, so ist PCV-VG einer der wenigen Beatmungsmodi, die diesen Anspruch erfüllen. Ein zweiter wichtiger Aspekt ist die Entlastung des Anästhesisten in einer Umgebung, in der heutzutage die transösophageale Echokardiographie und die Bronchoskopie zu den Kernaufgaben - neben der eigentlichen Narkoseführung - gehören.

## Pulmonale Hypertonie

Der Gefäßtonus des Lungenkreislaufs ist direkt abhängig vom Partialdruck des Kohlendioxids. Hypokapnie verringert und Hyperkapnie erhöht den pulmonal-arteriellen Vasotonus. Bei noch reagiblem Gefäßbett kann sich bei massiver Vasokonstriktion eine pulmonale Hypertonie entwickeln. Delitär ist diese Situation bei Patienten mit nicht- oder nur partiell korrigierten kongenitalen Herzvitien. So kann zum Beispiel bei einem Patienten mit links-rechts-Shunt unter einer akuten pulmonalen

Hypertonie eine Shuntumkehr mit lebensbedrohlicher Hypoxämie eintreten. Patienten mit kongenitalen Vitien werden bei Routineeingriffen in Spezialzentren betreut. Bei Notfallsituationen können diese Patienten prinzipiell in jeder anästhesiologischen Einrichtung eintreffen [12]. Da heutzutage immer mehr komplexe Vitien chirurgisch korrigiert werden, wie z.B. das hypoplastische Linksherzsyndrom, und damit die Lebenserwartung solcher Patienten gestiegen ist, werden immer häufiger Anästhesisten außerhalb von kardiochirurgischen Einrichtungen mit der Betreuung dieser Patienten konfrontiert sein. PCV-VG hat auch hier einen ganz besonderen Stellenwert. Durch die Volumengarantie kann das pCO<sub>2</sub> im Normbereich gehalten werden, ohne auf den dezelerierenden Flow verzichten zu müssen.

Unabhängig vom speziellen Einsatz von PCV-VG entlastet dieser Beatmungsmodus den Anästhesisten durch das halbautomatisierte Beatmungsprotokoll. Gerade in der heutigen Zeit, in der Kliniken dem Kostendruck im Gesundheitswesen ausgesetzt sind und Personalressourcen geringer werden, zugleich aber der Arbeitsaufwand im OP steigt, sind solche neuen Beatmungsmodi essentiell.

## Zusammenfassung:

Der Beatmungsmodus PCV-VG (volumenkontrollierte Beatmung mit Volumengarantiefunktion) ermöglicht eine druckkontrollierte Beatmung mit dezelerierendem Flow bei gleichzeitiger Konstanz der Atemvolumina, unabhängig von der Lungencompliance. Vor allem in speziellen anästhesiologischen Situationen hat sich dieser Beatmungsmodus besonders bewährt. Die signifikante Entlastung des Anästhesisten und der optimierte perioperative Workflow bedeutet eine erhöhte Sicherheit des Patienten.

**Dr. med. Horst Brünner DEAA**  
**Facharzt für Anästhesie**  
**Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin**  
**Klinikum Lippe-Detmold**  
**32756 Detmold**  
**Deutschland**

**Dr. med. Michael U. Fischer**  
**Facharzt für Anästhesie**  
**Freiburg**  
**Deutschland**

## Literatur

1. *The acute respiratory distress syndrome network; N Engl J Med* 2000; 342: 1301-8
2. Rappaport SH, Shpiner R, Yoshihara G, Wright J, Chang P, Abraham E. Randomized, prospective trial of pressure-limited versus volume-controlled ventilation in severe respiratory failure. *Crit Care Med* 1994; 22: 22-32
3. Balick-Weber C-C, Nicolas P, Hedreville-Montout M, Blanchet P and Stéphan F. Respiratory and haemodynamic effects of volume-controlled vs pressure-controlled ventilation during laparoscopy: a cross-over study with echocardiographic assessments. *Br J Anaesth* 2007; 99: 429-35
4. Kieh M, Schiele C, Stenzinger W, Kienast J. Volume-controlled versus biphasic positive airway pressure ventilation in leukopenic patients with severe respiratory failure. *Crit Care Med* 1996; 24: 780-84
5. Maura Prella, MD; François Feihl, MD and Guido Domenighetti, MD: Effects of Short-term Pressure-Controlled Ventilation on Gas Exchange, Airway Pressures, and Gas Distribution in Patients with Acute Lung Injury/ARDS. *Chest* 2002; 122:1382-88
6. Tugrul M, Camci E, Karadeniz H, Senturk M, Pembeci K, Akpir K. Comparison of volume controlled with pressure controlled ventilation during one-lung anaesthesia. *Br J Anaesth* 1997; 79: 306-10
7. Ricard JD, Dreyfuss D, Saumon G. Ventilator-induced lung injury. *Curr Opin Crit Care* 2002; 8: 12-20
8. Uhlig S; Frerichs I. Lung Protective Ventilation - Pathophysiology and Diagnostics. *AINS* 2008; 6: 438-45
9. Oczenski W, Andel H, Wenra A. *Atmen – Atemhilfen*. 2006 Georg Thieme Verlag
10. H. Brünner, D. Fischer, O. Stumpf, S. Grond: *Druckkontrollierte Beatmung mit Volumengarantie während der Anästhesie für laparoskopische Operationen*, *Anästh Intensivmed* 2008;49:216
11. Chesnut RM, Marshall SB, Piek J, et al. Early and late systemic hypotension as a frequent and fundamental source of cerebral ischemia following severe brain injury in the Traumatic Coma Data Bank. *Acta Neurochir* 1993; (Suppl.) 59: 121-25
12. Fischer MU, Priebe H.-J. Anaesthetic management for hip arthroplasty in a 46-year-old patient with uncorrected truncus arteriosus type IV. *Br J Anaesth* 2006; 97: 329-32



General Electric Company behält sich das Recht vor, Änderungen an den technischen Daten und Funktionen in diesem Dokument vorzunehmen oder die Produktion des beschriebenen Produkts jederzeit ohne vorherige Ankündigung oder rechtliche Verpflichtung einzustellen. Die aktuellsten Informationen erhalten Sie von Ihrer GE Niederlassung.

© 2008 General Electric Company

GE Healthcare ein Unternehmen der General Electric Company firmiert als GE Medical Systems Information Technologies GmbH.

**Deutschland**  
Munzinger Straße 3-5  
79111 Freiburg  
T ++49 761 4543 0  
F ++49 761 4543 233

GE Healthcare Service Center  
T: 0800 4343258  
T: 0800 GEHealthcare

Seit über 100 Jahren verlassen sich Gesundheitsdienstleister weltweit auf die Medizintechnik, die Dienstleistungen und die Produktivitätslösungen von GE Healthcare.

Welchen Herausforderungen sich Ihr Gesundheitssystem auch stellen muss – Sie können sich immer darauf verlassen, dass Ihnen GE dabei hilft, eine qualitativ hochwertige Patientenversorgung zu liefern.

Detaillierte Informationen erhalten Sie von Ihrer GE Niederlassung.

GE Healthcare  
GE Medical Systems Information  
Technologies GmbH  
Munzinger Str. 3-5  
79111 Freiburg  
T ++49 761 4543 0  
F ++49 761 4543 233  
[www.gehealthcare.com](http://www.gehealthcare.com)



GE imagination at work