

Volumetric Capnography User Guide

Benutzerhandbuch zur volumetrischen Kapnographie

Guide de l'utilisateur de la capnographie volumétrique

Guía de usuario de capnografía volumétrica

Guida utente della capnografia volumetrica

Guia do usuário Capnografia Volumétrica

ボルメトリックカプノグラフィユーザガイド

容积二氧化碳图用户指南

Руководство по выполнению волюметрической капнографии

10107270/00 | 2020-11-30

**ERC**

**HAMILTON**  
**MEDICAL**  
Intelligent Ventilation since 1983

---

English .....	3
Deutsch .....	11
Français .....	19
Español .....	27
Italiano.....	35
Português.....	43
日本語 .....	51
中文 .....	59
Русский .....	67

# User guide

## Volumetric capnography

2020-11-30

10107270/00

---

© 2020 Hamilton Medical AG. All rights reserved. Printed in Switzerland.

No part of this publication may be reproduced, stored in a database or retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, or by photocopying, recording, or otherwise, without prior written permission of Hamilton Medical AG.

This document may be revised, replaced, or made obsolete by other documents by Hamilton Medical AG at any time and without notice. Ensure that you have the most current applicable version of this document; if in doubt, contact the technical support department of Hamilton Medical AG, Switzerland. While the information set forth herein is believed to be accurate, it is not a substitute for the exercise of professional judgment.

Nothing in this document shall limit or restrict in any way Hamilton Medical AG's right to revise or otherwise change or modify the equipment (including its software) described herein, without notice. In the absence of an express, written agreement to the contrary, Hamilton Medical AG has no obligation to furnish any such revisions, changes, or modifications to the owner or user of the equipment (including software) described herein.

The equipment must be operated, serviced, or upgraded only by trained professionals. Hamilton Medical AG's sole responsibility with respect to the equipment and its use is as stated in the limited warranty provided in the device *Operator's Manual*.

Hamilton Medical AG shall not be liable for any loss, cost, expense, inconvenience, or damage that may arise out of misuse of the product, or if non-Hamilton Medical AG parts were used when replacing parts, or if serial numbers were amended, deleted, or removed.

If returning parts to Hamilton Medical AG, be sure to use the standard Hamilton Medical returned goods authorization (RGA) procedure. Disposal of parts shall follow all local, state, and federal regulation with respect to environmental protection.

For all proprietary as well as third-party trademarks used by Hamilton Medical AG, see [www.hamilton-medical.com/trademarks](http://www.hamilton-medical.com/trademarks). Product and/or company names marked with a <sup>§</sup> symbol may be the trademarks and/or registered trademarks of their respective owners, including but not limited to Aerogen<sup>§</sup>, Nihon Kohden<sup>§</sup>, Masimo<sup>§</sup>, Capnostat<sup>§</sup>, Bluetooth<sup>§</sup>, and Wi-Fi<sup>§</sup>.

#### **Manufacturer**

Hamilton Medical AG  
Via Crusch 8, CH-7402 Bonaduz  
Switzerland  
Phone: (+41) 58 610 10 20  
Fax: (+41) 58 610 00 20  
[info@hamilton-medical.com](mailto:info@hamilton-medical.com)  
[www.hamilton-medical.com](http://www.hamilton-medical.com)

1	Introduction .....	6
2	Three phases of the volumetric capnogram .....	6
3	CO <sub>2</sub> elimination (V'CO <sub>2</sub> ).....	7
4	End-tidal CO <sub>2</sub> (PetCO <sub>2</sub> and FetCO <sub>2</sub> ) .....	8
5	Airway dead space (VDaw).....	8
6	Alveolar minute ventilation (V'alv) .....	8
7	Capnogram shape (slopeCO <sub>2</sub> ).....	9
8	Formulas .....	9
9	References .....	10

## 1 Introduction

Volumetric capnography is an important tool to evaluate the quality and quantity of ventilation. CO<sub>2</sub> monitoring data is helpful for the assessment of a patient's airway integrity and to ensure proper endotracheal tube placement, among other applications.

Volumetric capnography measurements that are monitored by the ventilator include:

- CO<sub>2</sub> elimination ( $V'CO_2$ )
- End-tidal partial pressure CO<sub>2</sub> ( $P_{et}CO_2$ )
- End-tidal fraction of CO<sub>2</sub> ( $F_{et}CO_2$ )
- Airway dead space ( $V_{Daw}$ )
- Alveolar minute ventilation ( $V'_{alv}$ )
- Capnogram shape ( $slope_{CO_2}$ )

These parameters are described in further detail in this guide.

Additional information about volumetric capnography can be found on [www.hamilton-medical.com](http://www.hamilton-medical.com) at MyHamilton.

## 2 Three phases of the volumetric capnogram

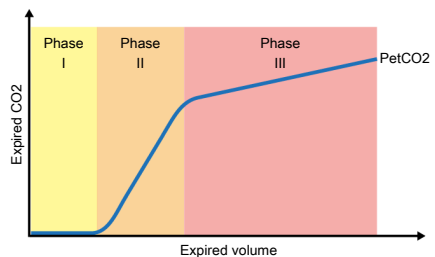
The alveolar concentration of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) is the result of metabolism, cardiac output, lung perfusion, and ventilation. Change in the concentration of CO<sub>2</sub> reflects perturbations in any or a combination of these factors.

Volumetric capnography provides continuous monitoring of CO<sub>2</sub> production, ventilation/perfusion (V/Q) status, and airway patency, as well as function of the ventilator breathing circuit itself.

Expired gas receives CO<sub>2</sub> from three sequential compartments of the airways, forming three recognizable phases on the expired capnogram. A single breath curve in volumetric capnography exhibits these three characteristic phases of changing gas mixtures – they refer to the airway region in which they originate:

- *Phase I:* Represents CO<sub>2</sub>-free gas from the apparatus and anatomical dead space
- *Phase II:* Represents gas coming from regions that are in the transition between anatomic and alveolar gas compartments; receives CO<sub>2</sub> from units with different perfusion and ventilatory rates
- *Phase III:* (Alveolar plateau) represents the CO<sub>2</sub>-rich gas from the alveoli

Figure 1. Phases of the volumetric capnogram



Using features from each phase, physiologic measurements can be calculated.

### 3 CO<sub>2</sub> elimination (V'CO<sub>2</sub>)

CO<sub>2</sub> elimination (V'CO<sub>2</sub>) is the net exhaled volume of CO<sub>2</sub> in milliliters per minute (ml/min). V'CO<sub>2</sub> measurements permit assessment of metabolic rate (for example, V'CO<sub>2</sub> is high with sepsis and fever) and treatment progress.

V'CO<sub>2</sub> is obtained by adding together VCO<sub>2</sub> measurements over several breaths and dividing the sum by the total time in minutes (Noe 1963). Steady-state conditions are essential to interpret the V'CO<sub>2</sub> values (Brandt 1999). V'CO<sub>2</sub> represents CO<sub>2</sub> elimination but not necessarily CO<sub>2</sub> production. *Normal* values for V'CO<sub>2</sub> are provided in Table 1.

To convert a time-based capnogram into a volumetric capnogram, CO<sub>2</sub> must be combined with flow.

By combining the FetCO<sub>2</sub>/Time graph (Figure 2) with the Flow/Time graph (Figure 3), you can derive the volume of CO<sub>2</sub> exhaled in one breath (Figure 4).

The area under the expiratory waveform minus the area under the inspiratory waveform is the net transfer of CO<sub>2</sub> out of the lungs per breath, or VCO<sub>2</sub>.

Figure 2. Typical capnogram of patient on pressure-controlled ventilation, showing FCO<sub>2</sub>/time<sup>1</sup>

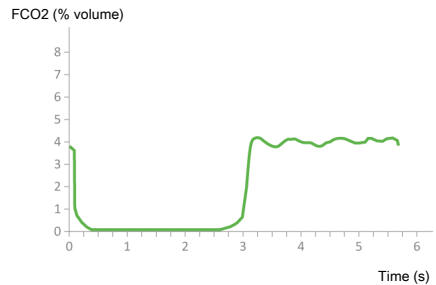


Figure 3. Typical spirogram, patient on pressure-controlled ventilation<sup>2</sup>

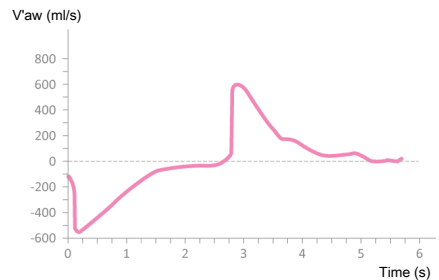
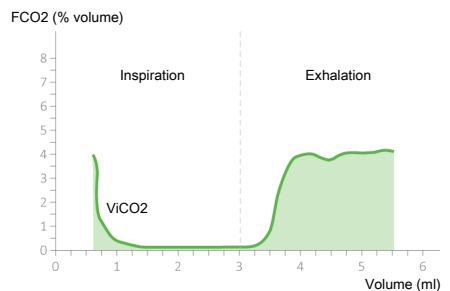


Figure 4. Combination of capnogram and spirogram (fractional end-tidal CO<sub>2</sub> concentration/volume)<sup>3</sup>



<sup>1</sup> Inspiration starts at time 0; exhalation starts at approximately 2.75 seconds. Note that inspiratory gas initially contains CO<sub>2</sub> (rebreathing) from artificial deadspace.

<sup>2</sup> The flow to the patient (inspiration) is negative, while the flow from the patient (exhalation) is positive. The expiratory flow waveform is an exponential decay curve. Note that in spontaneously breathing subjects, the flow waveforms may be different shapes.

<sup>3</sup> ViCO<sub>2</sub> is the volume of inspired CO<sub>2</sub>, while VeCO<sub>2</sub> is the volume of exhaled CO<sub>2</sub>. The net elimination of CO<sub>2</sub> is VeCO<sub>2</sub> – ViCO<sub>2</sub>. ViCO<sub>2</sub>, a negative volume indicating rebreathed CO<sub>2</sub>, is normally omitted.

## 4 End-tidal CO<sub>2</sub> (PetCO<sub>2</sub> and FetCO<sub>2</sub>)

End-tidal CO<sub>2</sub> is the maximum partial pressure of CO<sub>2</sub> exhaled during a tidal breath, measured just before the start of inspiration. It represents the final portion of air that was involved in the exchange of gases in the alveolar area, thus providing a reliable index of CO<sub>2</sub> partial pressure in the arterial blood under certain circumstances.

End-tidal CO<sub>2</sub> is either measured as a partial pressure (PetCO<sub>2</sub>) or as a fractional concentration of CO<sub>2</sub> in dry gas (FetCO<sub>2</sub>).

Normal values for PetCO<sub>2</sub> and FetCO<sub>2</sub> are provided in Table 1.

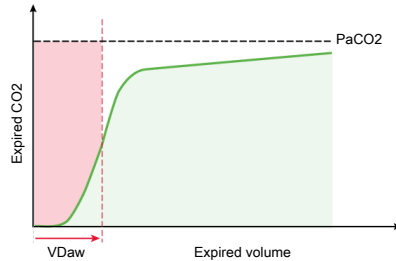
## 5 Airway dead space (VDaw)

The series, anatomical, or airway dead space measurement, VDaw, provides an effective in-vivo measure of volume lost in the conducting airways; this represents the CO<sub>2</sub>-free gas from the apparatus and the anatomical dead space.

A relative increase in dead space points to a rise in respiratory insufficiency and can be regarded as an indicator of the patient's current condition.

Using the Aström method<sup>4</sup>, VDaw can be calculated as the smallest measurable dead space. The calculation<sup>5</sup> comprises a number of computational steps that take the slope of the alveolar plateau into account.

Figure 5. VDaw



Normal values for VDaw are provided in Table 1.

## 6 Alveolar minute ventilation (V'alv)

Alveolar minute ventilation (V'alv) permits assessment of actual alveolar ventilation (as opposed to minute ventilation). V'alv is defined as the difference between minute ventilation and V'Daw (airway dead space).

Not all gas that enters the alveoli participates in gas exchange. Some gas ends up in non- or under-perfused lung spaces. To measure the efficiency of alveolar ventilation, PaCO<sub>2</sub> must be determined from an arterial blood gas sample. The ratio of mixed-to-ideal alveolar partial pressure is a measure of alveolar efficiency (Severinghaus 1957).

Normal values for V'alv are provided in Table 1.

<sup>4</sup> Aström 2000; see Section 9

<sup>5</sup> Wolff 1989, Aström 2000; see Section 9



## 7 Capnogram shape (slopeCO2)

The slope of the alveolar plateau (slopeCO2) is defined by the PetCO2 capnogram shape and can indicate the volume/flow status of the lungs.

Normal values for slopeCO2 are provided in Table 1.

Table 1. Examples of normal or expected values in mechanically ventilated patients<sup>6</sup>

Description	Unit <sup>7</sup>	Normal	Reference
VDaw	ml BTPS	2.2 ml/kg IBW	Radford 1954
slopeCO2	%CO2/l	31324 * Vt - 1.535	Aström 2000
V'CO2 <sup>8</sup>	ml/min STPD	2.6 to 2.9 ml/min/kg	Weissmann 1986, Wolff 1986
FetCO2 <sup>9</sup>	%	5.1 to 6.1%	Wolff 1986
PetCO2	mmHg	32 to 42 mmHg	www.oem.respironics.com
V'alv	l/min	0.052 to 0.070 l/min/kg	Kiiski, Takala 1994 <sup>8</sup>

## 8 Formulas

### Alveolar tidal ventilation (Vtalv)

$$V_{talv} = V_t - V_{Daw}$$

### Alveolar minute ventilation (V'alv)

$$V'_{alv} = f * V_{talv}$$

### Volume of CO2 eliminated in one breath (VCO2)

$$V_{CO2} = V_{eCO2} - V_{iCO2}$$

### Fractional concentration of CO2 in exhaled gas (FetCO2)

$$F_{etCO2} = V'_{CO2} / V_{MinVol}$$

### Partial pressure of CO2 in exhaled gas (PetCO2)

$$P_{etCO2} = F_{etCO2} * (P_b - P_{H2O})$$

<sup>6</sup> These values are for illustration purposes and do not replace physician-directed treatment.

<sup>7</sup> Bulk gas volumes, such as minute ventilation and tidal volume, are usually measured in BTPS. Specific gas volumes are expressed in STPD. Conversion factors can be found in physics textbooks.

<sup>8</sup>  $V'_{CO2} = V'_{alv} * F_{etCO2}$

<sup>9</sup>  $F_{etCO2} = P_{etCO2} / (P_b - P_{H2O})$

## 9 References

- Aström E, Niklason L, Drefeldt B, Bajc M, Jonson B. Partitioning of dead space – a method and reference values in the awake human. *Eur Respir J*. 2000 Oct; 16(4):659-664.1
- Brandi LS, Bertolini R, Santini L, Cavani S. Effects of ventilator resetting on indirect calorimetry measurement in the critically ill surgical patient. *Crit Care Med*. 1999 Mar; 27(3):531-539.
- Kiiski R, Takala J, Eissa NT. Measurement of alveolar ventilation and changes in deadspace by indirect calorimetry during mechanical ventilation: a laboratory and clinical validation. *Crit Care Med*. 1991 Oct; 19(10):1303-1309.
- Noe FE. Computer analysis of curves from an infrared CO<sub>2</sub> analyzer and screen-type airflow meter. *J Appl Physiol* 1963; 18:149-157.
- Radford EP. Ventilation standards for use in artificial respiration. *N Engl J Med* 1954; 251:877-883.
- Severinghaus JW, Stupfel M. Alveolar dead space as an index of distribution of blood flow in pulmonary capillaries. *J Appl Physiol* 1957; 10:335-348.
- Weissman C, Kemper M, Elwyn DH, Askanazi J, Hyman AI, Kinney JM. The energy expenditure of the mechanically ventilated critically ill patient. An analysis. *Chest*. 1986 Feb; 89(2):254-259.
- Wolff G, Brunner JX, Weibel W, et al. Anatomical and series dead space volume: concept and measurement in clinical practice. *Appl Cardiopul Pathophysiol* 1989; 2:299-307.
- Wolff G, Brunner JX, Grädel E. Gas exchange during mechanical ventilation and spontaneous breathing. Intermittent mandatory ventilation after open heart surgery. *Chest*. 1986 Jul; 90(1):11-17.

# Benutzerhandbuch

## Volumetrische Kapnographie

2020-11-30

10107270/00

---

© 2020 Hamilton Medical AG. Alle Rechte vorbehalten. Gedruckt in der Schweiz.

Diese Publikation darf ohne vorherige schriftliche Zustimmung der Hamilton Medical AG weder ganz noch teilweise vervielfältigt, in einer Datenbank oder einem Datensicherungssystem gespeichert, noch in irgendeiner Form elektronisch oder mechanisch übertragen, fotokopiert oder aufgezeichnet werden.

Dieses Dokument kann von der Hamilton Medical AG jederzeit ohne vorherige Ankündigung überarbeitet, ausgetauscht oder durch andere aktuellere Dokumente ersetzt werden. Stellen Sie sicher, dass Ihnen dieses Dokument in seiner aktuellsten Version vorliegt; für Fragen steht Ihnen die technische Support-Abteilung der Hamilton Medical AG, Schweiz, gerne zur Verfügung. Obwohl wir bei der Zusammenstellung der in diesem Handbuch enthaltenen Informationen größtmögliche Sorgfalt haben walten lassen, kann dies eine professionelle Beurteilung nicht ersetzen.

Die Hamilton Medical AG behält sich das Recht vor, unabhängig vom Inhalt dieses Handbuchs, ohne vorherige Ankündigung die beschriebenen Geräte (einschließlich der Software) zu ändern. Sofern nicht ausdrücklich schriftlich vereinbart, ist die Hamilton Medical AG nicht verpflichtet, dem Besitzer oder Bediener der im Handbuch beschriebenen Geräte (einschließlich der Software) Überarbeitungen, Aktualisierungen oder Änderungen mitzuteilen.

Die Geräte dürfen ausschließlich von entsprechend ausgebildeten Fachkräften bedient, gewartet und aufgerüstet werden. Die Hamilton Medical AG haftet in Bezug auf die Geräte lediglich im Rahmen der im *Bedienungshandbuch* zum Gerät aufgeführten eingeschränkten Garantiebedingungen.

Die Hamilton Medical AG haftet nicht für Verluste, Kosten, Auslagen, Unannehmlichkeiten oder Schäden, die möglicherweise durch den Missbrauch des Produktes oder die Verwendung nicht von der Hamilton Medical AG stammender Teile beim Austausch von Komponenten entstehen bzw. im Falle einer Änderung, Zerstörung oder Entfernung der Seriennummer.

Stellen Sie bei der Rücksendung an die Hamilton Medical AG sicher, dass Sie das Standardverfahren von Hamilton Medical für die Autorisierung der Rückgabe von Waren (Return Goods Authorization, RGA) einhalten. Bei der Entsorgung von Teilen sind alle gesetzlichen Bestimmungen hinsichtlich des Umweltschutzes zu befolgen.

Informationen zu von der Hamilton Medical AG verwendeten eigenen Warenzeichen und Warenzeichen von Dritten finden Sie unter: [www.hamilton-medical.com/trademarks](http://www.hamilton-medical.com/trademarks). Mit dem Symbol <sup>§</sup> gekennzeichnete Produkt- und/oder Firmennamen können Warenzeichen und/oder eingetragene Warenzeichen anderer Hersteller sein. Dazu gehören unter anderem: Aerogen<sup>§</sup>, Nihon Kohden<sup>§</sup>, Masimo<sup>§</sup>, Capnostat<sup>§</sup>, Bluetooth<sup>§</sup> und Wi-Fi<sup>§</sup>.

#### **Hersteller**

Hamilton Medical AG  
Via Crusch 8, CH-7402 Bonaduz,  
Schweiz  
Telefon: (+41) 58 610 10 20  
Fax: (+41) 58 610 00 20  
[info@hamilton-medical.com](mailto:info@hamilton-medical.com)  
[www.hamilton-medical.com](http://www.hamilton-medical.com)

1	Einleitung.....	14
2	Die drei Phasen des volumetrischen Kapnogramms .....	14
3	CO <sub>2</sub> -Eliminierung (V'CO <sub>2</sub> ) .....	15
4	Endtidales CO <sub>2</sub> („PetCO <sub>2</sub> “ und „FetCO <sub>2</sub> “).....	16
5	Atemwegstotraum (V <sub>d</sub> ) .....	16
6	Alveoläres Minutenvolumen (V <sub>Talv</sub> /min).....	16
7	Kapnogramm-Form (SlopeCO <sub>2</sub> ) .....	17
8	Formeln .....	17
9	Referenzliteratur .....	18

## 1 Einleitung

Die volumetrische Kapnographie ist ein wichtiges Hilfsmittel zur Bewertung der Qualität und Quantität der Beatmung. CO<sub>2</sub>-Monitoringdaten sind unter anderem hilfreich, um die Atemwegsintegrität eines Patienten zu beurteilen und die korrekte Platzierung des Endotrachealtubus sicherzustellen.

Das Beatmungsgerät überwacht u. a. die folgenden Messungen zur volumetrischen Kapnographie:

- CO<sub>2</sub>-Eliminierung ( $V'CO_2$ )
- Endtidaler CO<sub>2</sub>-Partialdruck (PetCO<sub>2</sub>)
- Endtidale CO<sub>2</sub>-Fraktion (FetCO<sub>2</sub>)
- Atemwegstotraum (V<sub>ds</sub>)
- Alveoläres Minutenvolumen (V<sub>Talv</sub>/min)
- Kapnogramm-Form (SlopeCO<sub>2</sub>)

Diese Parameter werden im vorliegenden Handbuch genauer beschrieben.

Zusätzliche Informationen zur volumetrischen Kapnographie sind auf der Website [www.hamilton-medical.com](http://www.hamilton-medical.com) unter MyHamilton verfügbar.

## 2 Die drei Phasen des volumetrischen Kapnogramms

Die Kohlendioxidkonzentration (CO<sub>2</sub>) in den Alveolen ergibt sich aus Stoffwechsel, Herzzeitvolumen, Lungenperfusion und Ventilation. Veränderungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration weisen auf Störungen in einem oder einer Kombination dieser Faktoren hin.

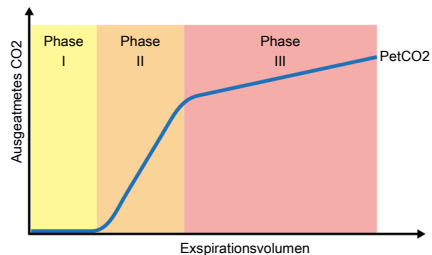
Die volumetrische Kapnographie überwacht kontinuierlich die CO<sub>2</sub>-Produktion, den V/Q-Status (das Ventilations-Perfusi-

ons-Verhältnis) und die Durchgängigkeit der Atemwege sowie die Funktion des Beatmungsschlauchsystems am Beatmungsgerät selbst.

Das ausgeatmete Gas wird in drei aufeinander folgenden Kompartimenten der Atemwege mit CO<sub>2</sub> angereichert, die als drei getrennte Phasen im Expirationskapnogramm zu erkennen sind. Die Kurve eines Atemhubs bei der volumetrischen Kapnographie weist diese drei charakteristischen Phasen mit sich ändernden Gasgemischen auf. Sie beziehen sich auf das Atemwegsareal, aus dem das Gasgemisch kommt:

- *Phase I:* repräsentiert das CO<sub>2</sub>-freie Gas aus dem Gerät und dem anatomischen Totraum
- *Phase II:* repräsentiert das Gas, das aus Lungenarealen im Übergang zwischen den anatomischen und alveolären Gas-kompartimenten stammt; es erhält CO<sub>2</sub> aus Regionen mit unterschiedlichen Ventilations-Perfusions-Verhältnissen
- *Phase III:* (alveoläres Plateau) repräsentiert das CO<sub>2</sub>-reiche Gas aus den Alveolen

Abbildung 1. Die Phasen des volumetrischen Kapnogramms



Anhand der Merkmale der jeweiligen Phase lassen sich physiologische Messwerte berechnen.

### 3 CO<sub>2</sub>-Eliminierung (V'CO<sub>2</sub>)

Unter CO<sub>2</sub>-Eliminierung (V'CO<sub>2</sub>) versteht man das expirierte CO<sub>2</sub>-Nettovolumen in Millilitern pro Minute (ml/min). V'CO<sub>2</sub>-Messungen ermöglichen die Beurteilung der metabolischen Rate (z. B. V'CO<sub>2</sub> ist erhöht bei Sepsis, Tetanus usw.) und des Behandlungsfortschritts.

V'CO<sub>2</sub> wird durch Addition von VCO<sub>2</sub>-Messungen über mehrere Atemzüge hinweg und durch Teilen der Summe durch die Gesamtzeit in Minuten erzielt (Noe 1963). Für die Auswertung der V'CO<sub>2</sub>-Werte sind gleich bleibende Konditionen unerlässlich (Brandt 1999). V'CO<sub>2</sub> spiegelt die CO<sub>2</sub>-Eliminierung, jedoch nicht notwendigerweise die CO<sub>2</sub>-Produktion wider. Die V'CO<sub>2</sub>-Normalwerte sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Zur Konvertierung eines zeitbasierten Kapnogramms in ein volumetrisches Kapnogramm muss das CO<sub>2</sub> mit dem Flow kombiniert werden.

Kombiniert man die FetCO<sub>2</sub>/Zeit-Kurve (Abbildung 2) mit der Flow/Zeit-Kurve (Abbildung 3), erhält man das CO<sub>2</sub>-Volumen, das in einem Atemzug ausgeatmet wird (Abbildung 4).

Der Bereich unterhalb der Expirationskurve abzüglich des Bereichs unterhalb der Inspirationskurve stellt den Nettotransfer des CO<sub>2</sub> aus den Lungen pro Atemzug dar (VCO<sub>2</sub>).

Abbildung 2. Typisches Kapnogramm eines Patienten mit druckkontrollierter Beatmung; Darstellung von FCO<sub>2</sub>/Zeit<sup>10</sup>

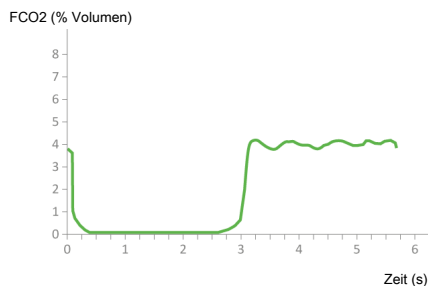


Abbildung 3. Typisches Spirogramm, Patient mit druckkontrollierter Beatmung<sup>11</sup>

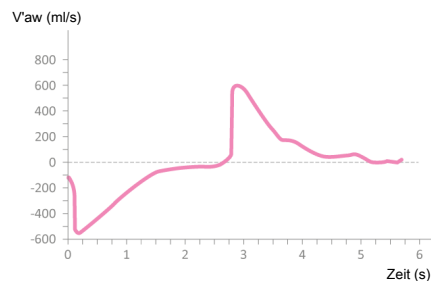
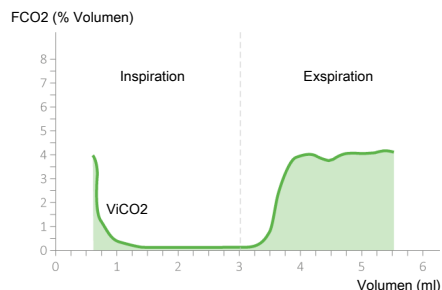


Abbildung 4. Kombination von Kapnogramm und Spirogramm (fraktionale, endtidale CO<sub>2</sub>-Konzentration/Volumen)<sup>12</sup>



<sup>10</sup> Die Inspiration beginnt bei 0 (Zeit), die Expiration bei ungefähr 2,75 s. Zu beachten ist, dass das inspiratorische Gas anfangs CO<sub>2</sub> aus dem künstlichen Totraum enthält (Rückatmung).

<sup>11</sup> Während der Flow zum Patienten (Inspiration) negativ ist, ist der Flow vom Patienten (Expiration) positiv. Bei der expiratorischen Flowkurve handelt es sich um eine exponentielle Zerfallskurve. Zu beachten ist, dass bei spontan atmenden Patienten die Flowkurve andere Formen aufweisen kann.

<sup>12</sup> „VICO<sub>2</sub>“ ist das Volumen des eingeatmeten CO<sub>2</sub>, während „VeCO<sub>2</sub>“ das Volumen des ausgeatmeten CO<sub>2</sub> angibt. Die Netto-CO<sub>2</sub>-Eliminierung entspricht VeCO<sub>2</sub> – VICO<sub>2</sub>. VICO<sub>2</sub>, das negative Volumen, das den rückgeatmeten CO<sub>2</sub>-Wert angibt, wird normalerweise ausgelassen.

## 4 Endtidales CO<sub>2</sub> („PetCO<sub>2</sub>“ und „FetCO<sub>2</sub>“)

Das endtidale CO<sub>2</sub> ist der maximale CO<sub>2</sub>-Partialdruck, der während eines Atemzuges expiriert wird, gemessen unmittelbar vor dem Beginn der Inspiration. Er repräsentiert den letzten Luftanteil, der am Gasaustausch im Alveolarbereich beteiligt war, und ist daher unter bestimmten Bedingungen ein zuverlässiger Index für den CO<sub>2</sub>-Partialdruck im arteriellen Blut.

Das endtidale CO<sub>2</sub> wird entweder als Partialdruck (PetCO<sub>2</sub>) oder als fraktionale CO<sub>2</sub>-Konzentration im Trockengas (FetCO<sub>2</sub>) gemessen.

Die *Normal*werte für PetCO<sub>2</sub> und FetCO<sub>2</sub> sind in Tabelle 1 aufgeführt.

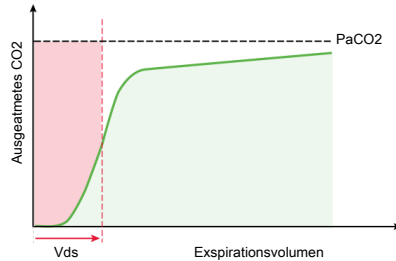
## 5 Atemwegstotraum (V<sub>ds</sub>)

Die serielle Messung des anatomischen oder Atemwegstotraums (V<sub>ds</sub>) bietet eine effektive In-vivo-Messung des Volumens, das in den Atemwegen verloren geht. Es repräsentiert das CO<sub>2</sub>-freie Gas aus dem Gerät und dem anatomischen Totraum.

Ein relativer Anstieg des Totraums verweist auf ein Anwachsen der respiratorischen Insuffizienz und kann als Indikator für den aktuellen Patientenzustand betrachtet werden.

Mit der Aström-Methode<sup>13</sup> kann V<sub>ds</sub> als der kleinste messbare Totraum berechnet werden. Die Berechnung<sup>14</sup> umfasst eine Reihe von Berechnungsschritten, bei denen der Anstieg des alveolären Plateaus berücksichtigt wird.

Abbildung 5. V<sub>ds</sub>



Die V<sub>ds</sub>-*Normal*werte sind in Tabelle 1 aufgeführt.

## 6 Alveoläres Minutenvolumen (V<sub>Talv</sub>/min)

Das alveoläre Minutenvolumen (V<sub>Talv</sub>/min) ermöglicht die Beurteilung des tatsächlichen Alveolarvolumens (im Gegensatz zum Minutenvolumen). V<sub>Talv</sub>/min ist definiert als die Differenz zwischen Minutenvolumen und V<sub>ds</sub> (Atemwegstotraum).

Nicht das gesamte Gas, das in die Alveolen eindringt, nimmt auch am Gasaustausch teil. Ein Teil des Gases gerät in die un- bzw. unterperfundierten Lungenräume. Um die Effizienz der alveolären Belüftung messen zu können, ist der PaCO<sub>2</sub>-Wert einer arteriellen Blutgasprobe zu bestimmen. Das Verhältnis von gemischtem zu idealem alveolärem Partialdruck wird durch die Messung der alveolären Effizienz (Severinghaus 1957) bestimmt.

Die V<sub>Talv</sub>/min-*Normal*werte sind in Tabelle 1 aufgeführt.

<sup>13</sup> Aström 2000; siehe Abschnitt 9

<sup>14</sup> Wolff 1989, Aström 2000; siehe Abschnitt 9



## 7 Kapnogramm-Form (SlopeCO2)

Der Anstieg des alveolären Plateaus (SlopeCO2) ist durch die PetCO2-Kapnogramm-Form definiert und kann den Volumen-/ Flow-Status der Lunge anzeigen.

Die SlopeCO2-Normalwerte sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1. Beispiele für normale bzw. erwartete Werte bei maschinell beatmeten Patienten<sup>15</sup>

Beschreibung	Einheit <sup>16</sup>	Normal	Referenz
Vds	ml BTPS	2,2 ml/kg IBW	Radford 1954
SlopeCO2	%CO2/l	31324 * Vt – 1,535	Aström 2000
V'CO2 <sup>17</sup>	ml/min STPD	2,6 bis 2,9 ml/min/kg	Weissmann 1986, Wolff 1986
FetCO2 <sup>18</sup>	%	5,1 bis 6,1 %	Wolff 1986
PetCO2	mmHg	32 bis 42 mmHg	www.oem.respironics.com
VTalv/min	l/min	0,052 bis 0,070 l/min/kg	Kiiski, Takala 1994 <sup>17</sup>

## 8 Formeln

### Tidales alveoläres Volumen (VTalv)

$$VTalv = Vt - Vds$$

### Alveoläres Minutenvolumen (VTalv/min)

$$VTalv/min = f * VTalv$$

### Volumen der CO2-Eliminierung pro Atemzug (VCO2)

$$VCO2 = VeCO2 - ViCO2$$

### Fraktionale CO2-Konzentration im ausgeatmeten Gas (FetCO2)

$$FetCO2 = V'CO2 / MinVol$$

### CO2-Partialdruck im ausgeatmeten Gas (PetCO2)

$$PetCO2 = FetCO2 * (Pb - PH2O)$$

<sup>15</sup> Diese Werte dienen nur zur Veranschaulichung und ersetzen nicht die Behandlung durch den Arzt.

<sup>16</sup> Große Gasvolumina wie Minutenvolumen und Tidalvolumen werden in der Regel unter BTPS-Bedingungen gemessen. Spezifische Gasvolumina werden in STPD ausgedrückt. Die Konvertierungsfaktoren können in Physikbüchern nachgeschlagen werden.

<sup>17</sup>  $V'CO2 = VTalv/min * FetCO2$

<sup>18</sup>  $FetCO2 = PetCO2 / (Pb - PH2O)$

## 9 Referenzliteratur

- Aström E, Niklason L, Drefeldt B, Bajc M, Jonson B. Partitioning of dead space – a method and reference values in the awake human. *Eur Respir J.* 2000 Oct; 16(4):659-664.1
- Brandi LS, Bertolini R, Santini L, Cavani S. Effects of ventilator resetting on indirect calorimetry measurement in the critically ill surgical patient. *Crit Care Med.* 1999 Mar; 27(3):531-539.
- Kiiski R, Takala J, Eissa NT. Measurement of alveolar ventilation and changes in deadspace by indirect calorimetry during mechanical ventilation: a laboratory and clinical validation. *Crit Care Med.* 1991 Oct; 19(10):1303-1309.
- Noe FE. Computer analysis of curves from an infrared CO<sub>2</sub> analyzer and screen-type airflow meter. *J Appl Physiol* 1963; 18:149-157.
- Radford EP. Ventilation standards for use in artificial respiration. *N Engl J Med* 1954; 251:877-883.
- Severinghaus JW, Stupfel M. Alveolar dead space as an index of distribution of blood flow in pulmonary capillaries. *J Appl Physiol* 1957; 10:335-348.
- Weissman C, Kemper M, Elwyn DH, Askanazi J, Hyman AI, Kinney JM. The energy expenditure of the mechanically ventilated critically ill patient. An analysis. *Chest.* 1986 Feb; 89(2):254-259.
- Wolff G, Brunner JX, Weibel W, et al. Anatomical and series dead space volume: concept and measurement in clinical practice. *Appl Cardiopul Pathophysiol* 1989; 2:299-307.
- Wolff G, Brunner JX, Grädel E. Gas exchange during mechanical ventilation and spontaneous breathing. Intermittent mandatory ventilation after open heart surgery. *Chest.* 1986 Jul; 90(1):11-17.

# Guide de l'utilisateur

## Capnographie volumétrique

2020-11-30

10107270/00

© 2020 Hamilton Medical AG. Tous droits réservés. Imprimé en Suisse.

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni stockée dans une base de données ou un système de recherche, ni transmise sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit – électronique, mécanique, par photocopie, enregistrement ou autre – sans l'accord écrit préalable de Hamilton Medical AG.

Hamilton Medical AG se réserve le droit de réviser, de remplacer ou de supprimer ce document à tout moment et sans préavis. Assurez-vous que vous disposez de la version la plus récente de ce document ; en cas de doute, contactez l'assistance technique de Hamilton Medical AG, Suisse. Même si les informations contenues dans ce manuel sont supposées exactes, elles ne sauraient en aucun cas se substituer à l'exercice d'un jugement professionnel.

Rien dans ce document ne saurait limiter ou restreindre de quelque façon que ce soit le droit qu'a Hamilton Medical AG de réviser, voire changer ou modifier sans préavis l'équipement (notamment le logiciel associé) décrit ici. En l'absence d'un accord exprès et écrit prévoyant le contraire, Hamilton Medical AG n'a aucune obligation de fournir ces changements, révisions ou modifications au propriétaire ou à l'utilisateur de l'équipement (y compris le logiciel) décrit ici.

L'équipement doit impérativement être utilisé, entretenu et mis à niveau par des professionnels qualifiés. L'unique responsabilité de Hamilton Medical AG concernant l'équipement et son utilisation se limite aux termes de la garantie limitée figurant dans le *Manuel de l'utilisateur* du dispositif.

Hamilton Medical AG ne saurait être tenu responsable pour toute perte, dépense, gêne ou tout coût, dommage susceptible de survenir à la suite d'une mauvaise utilisation du produit, ou si des pièces autres que celles fabriquées par Hamilton Medical AG étaient utilisées comme pièces de rechange ou si des numéros de série étaient modifiés, effacés ou supprimés.

Si vous retournez des pièces à Hamilton Medical AG, veuillez suivre la procédure Returned Goods Authorization (RGA) standard validée par Hamilton Medical. Respectez la réglementation locale et nationale sur la protection de l'environnement lors de la mise au rebut des pièces.

Pour toutes les marques propriétaires ainsi que les marques de fabricants tiers utilisées par Hamilton Medical AG, consultez le site [www.hamilton-medical.com/trademarks](http://www.hamilton-medical.com/trademarks). Les noms de produits et/ou de sociétés marqués du symbole <sup>§</sup> peuvent être les marques et/ou les marques déposées de leurs propriétaires respectifs, incluant sans toutefois s'y limiter, Aero-gen<sup>§</sup>, Nihon Kohden<sup>§</sup>, Masimo<sup>§</sup>, Capnostat<sup>§</sup>, Bluetooth<sup>§</sup> et Wi-Fi<sup>§</sup>.

#### **Fabricant**

Hamilton Medical AG  
Via Crusch 8, CH-7402 Bonaduz,  
Suisse  
Téléphone : (+41) 58 610 10 20  
Fax : (+41) 58 610 00 20  
[info@hamilton-medical.com](mailto:info@hamilton-medical.com)  
[www.hamilton-medical.com](http://www.hamilton-medical.com)

1	Introduction .....	22
2	Trois phases du capnogramme volumétrique .....	22
3	Élimination de CO <sub>2</sub> (V'CO <sub>2</sub> ) .....	23
4	CO <sub>2</sub> en fin d'expiration (PetCO <sub>2</sub> et FetCO <sub>2</sub> ) .....	24
5	Espace mort des voies aériennes (V <sub>ds</sub> ) .....	24
6	Ventilation alvéolaire minute (V' <sub>alv</sub> ) .....	24
7	Forme du capnogramme (penteCO <sub>2</sub> ) .....	25
8	Formules .....	25
9	Références .....	26

## 1 Introduction

La capnographie volumétrique est un outil important qui permet d'évaluer la qualité et la quantité de ventilation. Les données de monitoring de CO<sub>2</sub> sont utilisées dans plusieurs applications pour l'évaluation de l'intégrité des voies aériennes d'un patient et pour savoir si la sonde d'intubation est correctement positionnée.

Les mesures de capnographie volumétrique monitorées par le ventilateur incluent :

- Élimination CO<sub>2</sub> (V'CO<sub>2</sub>)
- Pression partielle de CO<sub>2</sub> en fin d'expiration (PetCO<sub>2</sub>)
- Fraction de CO<sub>2</sub> en fin d'expiration (FetCO<sub>2</sub>)
- Espace mort des voies aériennes (V<sub>ds</sub>)
- Ventilation alvéolaire minute (V'alv)
- Forme du capnogramme (penteCO<sub>2</sub>)

Ces paramètres sont décrits plus en détail dans le présent guide.

Vous pouvez trouver des informations supplémentaires sur la capnographie volumétrique sur MyHamilton à l'adresse [www.hamilton-medical.com](http://www.hamilton-medical.com).

## 2 Trois phases du capnogramme volumétrique

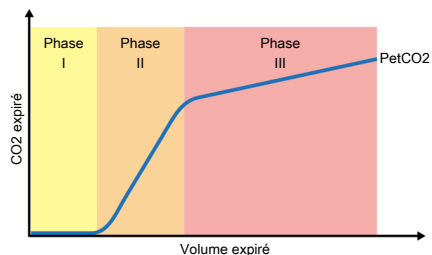
La concentration alvéolaire du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est le résultat du métabolisme, du débit cardiaque, de la perfusion pulmonaire et de la ventilation. Une modification de la concentration de CO<sub>2</sub> reflète des perturbations de l'un ou d'une combinaison de ces facteurs.

La capnographie volumétrique fournit un monitoring continu de la production de CO<sub>2</sub>, le statut de la ventilation/perfusion (V/Q) et la perméabilité des voies aériennes, ainsi que la fonction du circuit respiratoire du ventilateur lui-même.

Le gaz expiré reçoit du CO<sub>2</sub> de trois compartiments des voies aériennes, formant trois phases reconnaissables sur le capnogramme de la phase expiratoire. Une courbe de cycle unique de la capnographie volumétrique montre ces trois phases caractéristiques de changement de mélanges de gaz ; elles font référence à l'aire des voies aériennes dont elles proviennent :

- *Phase I* : représente le gaz dépourvu de CO<sub>2</sub> de l'appareil et l'espace mort anatomique
- *Phase II* : représente le gaz provenant de régions qui sont en transition entre les compartiments de gaz anatomique et alvéolaire ; reçoit le CO<sub>2</sub> des unités avec des perfusion et fréquences ventilatoires différentes
- *Phase III* : (plateau alvéolaire) représente le gaz riche en CO<sub>2</sub> provenant des alvéoles

Figure 1. Phases du capnogramme volumétrique



À l'aide des fonctionnalités de chaque phase, des mesures physiologiques peuvent être calculées.

### 3 Élimination de CO<sub>2</sub> (V'CO<sub>2</sub>)

L'élimination de CO<sub>2</sub> (V'CO<sub>2</sub>) correspond au volume net de CO<sub>2</sub> expiré en millilitres par minute (ml/min). Les mesures V'CO<sub>2</sub> permettent d'évaluer l'état métabolique (par exemple, V'CO<sub>2</sub> est élevé en cas de septicémie et de fièvre) et l'évolution du traitement.

La valeur V'CO<sub>2</sub> est obtenue en ajoutant les mesures de VCO<sub>2</sub> sur plusieurs cycles et en divisant cette somme par le temps total exprimé en minutes (Noe 1963). Des conditions stables sont essentielles pour interpréter les valeurs de V'CO<sub>2</sub> (Brandi 1999). V'CO<sub>2</sub> représente l'élimination du CO<sub>2</sub>, mais pas nécessairement la production de CO<sub>2</sub>. Des valeurs *normales* de V'CO<sub>2</sub> sont fournies dans le tableau 1.

Pour convertir un capnogramme en fonction du temps en un capnogramme volumétrique, le CO<sub>2</sub> doit être combiné au débit.

En combinant le graphique **F<sub>et</sub>CO<sub>2</sub>/Temps** (figure 2) au graphique **Débit/Temps** (figure 3), vous pouvez déduire le volume de CO<sub>2</sub> expiré sur un cycle (figure 4).

La zone sous la forme d'onde expiratoire moins la zone sous la forme d'onde inspiratoire représente le rejet net de CO<sub>2</sub> par cycle ou VCO<sub>2</sub>.

Figure 2. Capnogramme typique d'un patient sous ventilation à pression contrôlée, représentant la courbe FCO<sub>2</sub>/temps<sup>19</sup>

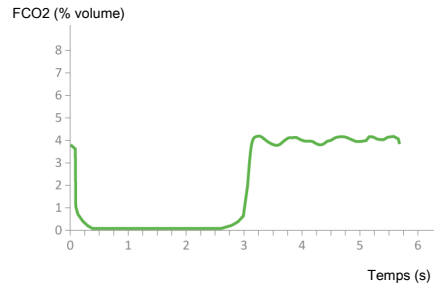


Figure 3. Spirogramme typique d'un patient sous ventilation à pression contrôlée<sup>20</sup>

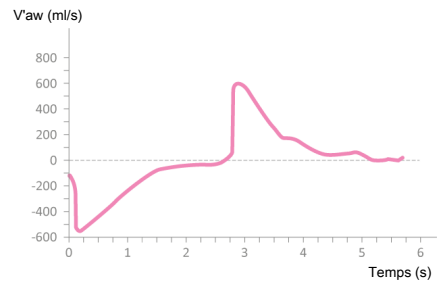
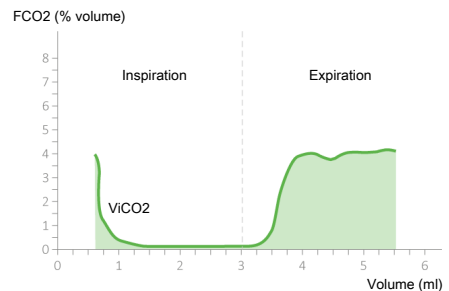


Figure 4. Combinaison de capnogramme et de spirogramme (concentration de la fraction de CO<sub>2</sub> en fin d'expiration/volume)<sup>21</sup>



<sup>19</sup> L'inspiration débute à l'instant 0, l'expiration à environ 2,75 secondes. Notez que le gaz inspiratoire contient au départ du CO<sub>2</sub> (réinhalation) qui est évacué de l'espace mort artificiel.

<sup>20</sup> Le débit entrant du patient (inspiration) est négatif, tandis que le débit sortant du patient (expiration) est positif. La forme d'ondes du débit expiratoire est une courbe de décroissance exponentielle. Notez que chez les sujets respirant spontanément, les formes d'ondes de débit peuvent afficher des formes différentes.

<sup>21</sup> ViCO<sub>2</sub> est le volume de CO<sub>2</sub> inspiré, tandis que VeCO<sub>2</sub> est le volume de CO<sub>2</sub> expiré. L'élimination nette de CO<sub>2</sub> correspond à VeCO<sub>2</sub> - ViCO<sub>2</sub>. Le ViCO<sub>2</sub>, volume négatif indiquant le CO<sub>2</sub> réinhalé, est généralement omis.

## 4 CO<sub>2</sub> en fin d'expiration (PetCO<sub>2</sub> et FetCO<sub>2</sub>)

Le CO<sub>2</sub> en fin d'expiration correspond à la pression partielle maximale de CO<sub>2</sub> expiré pendant un cycle courant, mesurée juste avant le début de l'inspiration. Elle représente la portion finale d'air impliqué dans les échanges gazeux alvéolaires, fournissant ainsi un indice fiable de pression partielle de CO<sub>2</sub> dans le sang artériel dans certaines circonstances.

Le CO<sub>2</sub> en fin d'expiration est mesuré soit comme pression partielle (PetCO<sub>2</sub>), soit comme fraction concentrationnelle de CO<sub>2</sub> de gaz sec (FetCO<sub>2</sub>).

Des valeurs *normales* de PetCO<sub>2</sub> et de FetCO<sub>2</sub> sont fournies dans le tableau 1.

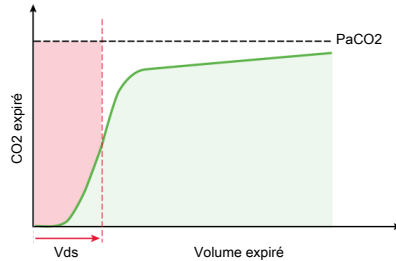
## 5 Espace mort des voies aériennes (V<sub>ds</sub>)

La mesure de l'espace mort en série, anatomique ou des voies aériennes, le V<sub>ds</sub>, fournit une mesure *in vivo* effective de la déperdition de volume dans les voies aériennes de conduction ; cela représente le gaz dépourvu de CO<sub>2</sub> de l'appareil et de l'espace mort anatomique.

Une augmentation relative de l'espace mort indique une aggravation de l'insuffisance respiratoire et peut être considérée comme un indicateur de l'état actuel du patient.

À l'aide de la méthode Aström<sup>22</sup>, le V<sub>ds</sub> peut être calculé comme le plus petit espace mort mesurable. Le calcul<sup>23</sup> consiste en une série d'étapes informatiques prenant en compte la pente du plateau alvéolaire.

Figure 5. V<sub>ds</sub>



Des valeurs *normales* de V<sub>ds</sub> sont fournies dans le tableau 1.

## 6 Ventilation alvéolaire minute (V'<sub>alv</sub>)

La ventilation alvéolaire minute (V'<sub>alv</sub>) permet l'évaluation de la ventilation alvéolaire réelle (par opposition à la ventilation minute). V'<sub>alv</sub> est défini comme la différence entre la ventilation minute et V<sub>ds</sub> (espace mort des voies aériennes).

L'intégralité du gaz pénétrant dans les alvéoles ne participe pas aux échanges gazeux. Une partie du gaz aboutit dans des espaces pulmonaires non perfusés ou sous-perfusés. Pour mesurer l'efficacité de la ventilation alvéolaire, PaCO<sub>2</sub> doit être déterminée à partir d'un échantillon de gaz du sang artériel. Le rapport entre le mélange et la pression partielle alvéolaire idéale procure une mesure de l'efficacité alvéolaire (Severinghaus 1957).

Des valeurs *normales* de V'<sub>alv</sub> sont fournies dans le tableau 1.

<sup>22</sup> Aström 2000 ; voir section 9

<sup>23</sup> Wolff 1989, Aström 2000 ; voir section 9



## 7 Forme du capnogramme (penteCO2)

La pente du plateau alvéolaire (penteCO2) est définie par la forme du capnogramme PetCO2 et peut indiquer le statut volume/débit des poumons.

Des valeurs *normales* de penteCO2 sont fournies dans le tableau 1.

Tableau 1. Exemples de valeurs normales ou attendues chez des patients en ventilation mécanique<sup>24</sup>

Description	Unité <sup>25</sup>	Normal	Référence
Vds	ml BTPS	2,2 ml/kg IBW	Radford 1954
penteCO2	%CO2/l	31324 * Vt – 1,535	Aström 2000
V'CO2 <sup>26</sup>	ml/min CNTP	2,6 à 2,9 ml/min/kg	Weissmann 1986, Wolff 1986
FetCO2 <sup>27</sup>	%	5,1 à 6,1 %	Wolff 1986
PetCO2	mmHg	32 à 42 mmHg	www.oem.respironics.com
V'alv	l/min	0,052 à 0,070 l/min/kg	Kiiski, Takala 1994 <sup>26</sup>

## 8 Formules

### Ventilation alvéolaire par volume courant (Valv)

$$\text{Valv} = \text{Vt} - \text{Vds}$$

### Ventilation alvéolaire minute (V'alv)

$$\text{V'alv} = f * \text{Valv}$$

### Volume de CO2 éliminé en un cycle (VCO2)

$$\text{VCO2} = \text{VeCO2} - \text{ViCO2}$$

### Fraction de concentration de CO2 dans le gaz expiré (FetCO2)

$$\text{FetCO2} = \text{V'CO2}/\text{VolMin}$$

### Pression partielle de CO2 dans le gaz expiré (PetCO2)

$$\text{PetCO2} = \text{FeCO2} * (\text{Pb} - \text{PH2O})$$

<sup>24</sup> Ces valeurs sont données uniquement à titre indicatif et ne remplacent pas une prescription médicale.

<sup>25</sup> L'essentiel des volumes gazeux, tels que la ventilation minute et le volume courant, sont généralement mesurés en BTPS. Les volumes gazeux spécifiques sont exprimés en CNTP. Les facteurs de conversion sont indiqués dans les manuels de physique.

<sup>26</sup>  $\text{V'CO2} = \text{V'alv} * \text{FetCO2}$

<sup>27</sup>  $\text{FetCO2} = \text{PetCO2}/(\text{Pb} - \text{PH2O})$

## 9 Références

- Aström E, Niklason L, Drefeldt B, Bajc M, Jonson B. Partitioning of dead space – a method and reference values in the awake human. *Eur Respir J.* 2000 Oct; 16(4):659-664.1
- Brandi LS, Bertolini R, Santini L, Cavani S. Effects of ventilator resetting on indirect calorimetry measurement in the critically ill surgical patient. *Crit Care Med.* 1999 Mar; 27(3):531-539.
- Kiiski R, Takala J, Eissa NT. Measurement of alveolar ventilation and changes in deadspace by indirect calorimetry during mechanical ventilation: a laboratory and clinical validation. *Crit Care Med.* 1991 Oct; 19(10):1303-1309.
- Noe FE. Computer analysis of curves from an infrared CO<sub>2</sub> analyzer and screen-type airflow meter. *J Appl Physiol* 1963; 18:149-157.
- Radford EP. Ventilation standards for use in artificial respiration. *N Engl J Med* 1954; 251:877-883.
- Severinghaus JW, Stupfel M. Alveolar dead space as an index of distribution of blood flow in pulmonary capillaries. *J Appl Physiol* 1957; 10:335-348.
- Weissman C, Kemper M, Elwyn DH, Askanazi J, Hyman AI, Kinney JM. The energy expenditure of the mechanically ventilated critically ill patient. An analysis. *Chest.* 1986 Feb; 89(2):254-259.
- Wolff G, Brunner JX, Weibel W, et al. Anatomical and series dead space volume: concept and measurement in clinical practice. *Appl Cardiopul Pathophysiol* 1989; 2:299-307.
- Wolff G, Brunner JX, Grädel E. Gas exchange during mechanical ventilation and spontaneous breathing. Intermittent mandatory ventilation after open heart surgery. *Chest.* 1986 Jul; 90(1):11-17.

# Guía de usuario

## Capnografía volumétrica

2020-11-30

10107270/00

---

© 2020 Hamilton Medical AG. Todos los derechos reservados. Impreso en Suiza.

Ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida ni almacenada en una base de datos o sistema de recuperación de datos, ni tampoco podrá ser transmitida por ningún medio, ya sea electrónico, mecánico, reprográfico ni de cualquier otro tipo, sin el consentimiento previo y por escrito de Hamilton Medical AG.

Hamilton Medical AG puede revisar, cambiar por otro o anular este documento en cualquier momento sin previo aviso. Asegúrese de que tiene la última versión aplicable de este documento; en caso de duda, póngase en contacto con el departamento de servicio técnico de Hamilton Medical AG, Suiza. Aunque se cree que la información que se incluye en el presente es precisa, no debe sustituir en ningún caso el criterio profesional.

Ninguna parte de este documento limitará o restringirá en modo alguno el derecho de Hamilton Medical AG a revisar, cambiar o modificar el equipo aquí descrito (incluido el software), ni a hacerlo sin previo aviso. Si no existe un acuerdo expreso y por escrito que indique lo contrario, Hamilton Medical AG no tiene obligación de proporcionar ninguna de dichas revisiones, cambios o modificaciones al propietario o usuario del equipo aquí descrito (incluido el software).

El equipo solo debe ser utilizado, reparado o actualizado por profesionales cualificados. La única responsabilidad de Hamilton Medical AG con respecto al equipo y a su utilización es la que se indica en la garantía limitada suministrada en el *manual del operador*.

Hamilton Medical AG se exime de responsabilidad respecto a pérdidas, costes, gastos, inconvenientes o daños que surjan del uso inadecuado del producto, si se usan piezas de recambio de terceros o en caso de modificación, borrado o eliminación de los números de serie.

Al devolver piezas a Hamilton Medical AG, siga siempre el procedimiento Returned Goods Authorization (RGA) estándar de Hamilton Medical. A la hora de eliminar componentes, observe todas las normativas locales, estatales y federales referentes a la protección medioambiental.

Para consultar todas las marcas comerciales patentadas y de terceros empleadas por Hamilton Medical AG, visite [www.hamilton-medical.com/trademarks](http://www.hamilton-medical.com/trademarks). Los nombres de productos y/o empresas marcados con el símbolo <sup>§</sup> pueden ser marcas comerciales o marcas comerciales registradas de sus respectivos propietarios, incluidos, entre otros, Aerogen<sup>§</sup>, Nihon Kohden<sup>§</sup>, Masimo<sup>§</sup>, Capnostat<sup>§</sup>, Bluetooth<sup>§</sup> y Wi-Fi<sup>§</sup>.

#### **Fabricante**

Hamilton Medical AG  
Via Crusch 8, CH-7402 Bonaduz,  
Suiza  
Teléfono: (+41) 58 610 10 20  
Fax: (+41) 58 610 00 20  
[info@hamilton-medical.com](mailto:info@hamilton-medical.com)  
[www.hamilton-medical.com](http://www.hamilton-medical.com)

1	Introducción.....	30
2	Tres fases del capnograma volumétrico .....	30
3	Eliminación de CO <sub>2</sub> (V'CO <sub>2</sub> ) .....	31
4	CO <sub>2</sub> al final del volumen tidal (PetCO <sub>2</sub> y FetCO <sub>2</sub> ) .....	32
5	Espacio muerto en la vía aérea (VDaw) .....	32
6	Ventilación minuto alveolar (V'alv).....	32
7	Forma de capnograma (pend.CO <sub>2</sub> ) .....	33
8	Fórmulas .....	33
9	Bibliografía.....	34

## 1 Introducción

La capnografía volumétrica es una herramienta importante para evaluar la calidad y cantidad de la ventilación. La monitorización de los datos de CO<sub>2</sub> es útil para evaluar la integridad de las vías aéreas de un paciente o garantizar la correcta colocación del tubo endotraqueal, entre otras aplicaciones.

Entre las mediciones de capnografía volumétrica que monitoriza el respirador se incluyen:

- Eliminación de CO<sub>2</sub> ( $V'CO_2$ )
- CO<sub>2</sub> de presión parcial al final del volumen tidal (PetCO<sub>2</sub>)
- Fracción al final del volumen tidal de CO<sub>2</sub> (FetCO<sub>2</sub>)
- Espacio muerto en la vía aérea (VDaw)
- Ventilación minuto alveolar ( $V'alv$ )
- Forma de capnograma (pend.CO<sub>2</sub>)

Estos parámetros se describen con mayor detalle en esta guía.

Para obtener información adicional sobre la capnografía volumétrica, visite [www.hamilton-medical.com](http://www.hamilton-medical.com) en MyHamilton.

## 2 Tres fases del capnograma volumétrico

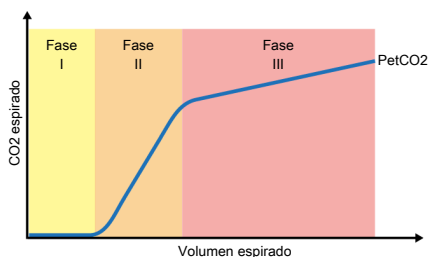
La concentración alveolar del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el resultado del metabolismo, el gasto cardíaco, la perfusión pulmonar y la ventilación. Los cambios de concentración del CO<sub>2</sub> reflejan la modificación de cualquiera o de todos estos factores.

La capnografía volumétrica da lugar a la monitorización continua de la producción de CO<sub>2</sub>, el estado de ventilación/perfusión (V/Q) y la permeabilidad de las vías aéreas, así como del funcionamiento del circuito respiratorio del propio respirador.

El gas espirado recibe el CO<sub>2</sub> desde tres porciones secuenciales de las vías aéreas, que dan lugar a tres fases bien delimitadas en cualquier capnograma de espiración. Cualquier curva respiratoria derivada de una capnografía volumétrica presenta estas tres fases características de modificación de las mezclas de gas, que hacen referencia a la zona de las vías aéreas en la que se inician:

- *Fase I:* representa el gas sin CO<sub>2</sub> del aparato y el espacio muerto anatómico
- *Fase II:* representa el gas que procede de regiones que se encuentran en la transición entre las porciones de gas alveolar y anatómica; recibe CO<sub>2</sub> de las unidades con diferentes índices de perfusión y de ventilación
- *Fase III:* (meseta alveolar) representa el gas con CO<sub>2</sub> de los alveolos

Figura 1. Fases del capnograma volumétrico



Para calcular las mediciones fisiológicas, pueden usarse características de todas las fases.

### 3 Eliminación de CO<sub>2</sub> (V'CO<sub>2</sub>)

La eliminación de CO<sub>2</sub> (V'CO<sub>2</sub>) es el volumen de CO<sub>2</sub> espirado neto en mililitros por minuto (ml/min). Las mediciones de V'CO<sub>2</sub> permiten evaluar la tasa metabólica (por ejemplo, V'CO<sub>2</sub> es alto en caso de septicemia y fiebre) y la evolución del tratamiento.

El V'CO<sub>2</sub> se obtiene sumando las mediciones de VCO<sub>2</sub> de varias respiraciones y dividiendo la suma por el total del tiempo en minutos (Noe 1963). Es necesario que existan condiciones de estado de equilibrio dinámico para interpretar los valores de V'CO<sub>2</sub> (Brandt 1999). El V'CO<sub>2</sub> representa la eliminación de CO<sub>2</sub>, pero no necesariamente la producción de CO<sub>2</sub>. Se facilitan los valores *normales* de V'CO<sub>2</sub> en la tabla 1.

Para convertir un capnograma basado en el tiempo en un capnograma volumétrico, el CO<sub>2</sub> se debe combinar con flujo.

Al combinar el gráfico de FetCO<sub>2</sub>/Tiempo (figura 2) con el gráfico de Flujo/Tiempo (figura 3), puede derivar el volumen de CO<sub>2</sub> espirado en una respiración (figura 4).

El área situada bajo la forma onda de espiración menos el área situada bajo la forma onda de inspiración es la transferencia neta de CO<sub>2</sub> desde los pulmones por cada respiración, o VCO<sub>2</sub>.

Figura 2. Capnograma típico del paciente en la ventilación controlada por presión, que muestra el FCO<sub>2</sub>/tiempo<sup>28</sup>

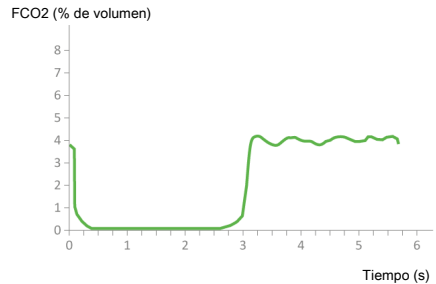


Figura 3. Espirograma típico de un paciente en ventilación controlada por presión<sup>29</sup>

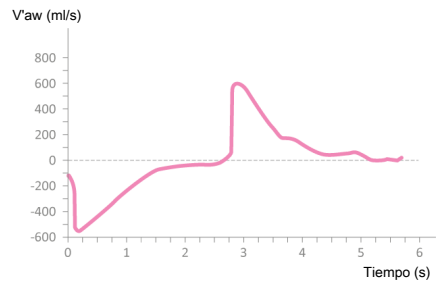


Figura 4. Combinación de capnograma y espirograma (la concentración de CO<sub>2</sub> fraccional al final del volumen tidal/volumen)<sup>30</sup>



<sup>28</sup> La inspiración empieza a la hora 0; la espiración empieza aproximadamente a los 2,75 segundos. Tenga en cuenta que el gas de inspiración contiene inicialmente CO<sub>2</sub> (reinhalmación) del espacio muerto artificial.

<sup>29</sup> El flujo hacia el paciente (inspiración) es negativo, mientras que el flujo que sale del paciente (espiración) es positivo. La forma onda del flujo espiratorio es una curva exponencial en declive. Tenga en cuenta que para los pacientes que respiran espontáneamente, las formas onda de flujo pueden tener formas diferentes.

<sup>30</sup> ViCO<sub>2</sub> es el volumen de CO<sub>2</sub> inspirado, mientras que VeCO<sub>2</sub> es el volumen de CO<sub>2</sub> espirado. La eliminación neta de CO<sub>2</sub> es VeCO<sub>2</sub> - ViCO<sub>2</sub>. ViCO<sub>2</sub> es un volumen negativo que indica el CO<sub>2</sub> que se vuelve a respirar y, normalmente, se omite.

## 4 CO<sub>2</sub> al final del volumen tidal (PetCO<sub>2</sub> y FetCO<sub>2</sub>)

El CO<sub>2</sub> al final del volumen tidal es la presión parcial máxima del CO<sub>2</sub> espirado durante una respiración tidal, medida justo antes del inicio de la inspiración. Representa la parte final de aire que se incluía en el intercambio de gases en el área alveolar, lo que normalmente es un índice fiable de presión parcial de CO<sub>2</sub> en la sangre arterial en ciertas circunstancias.

El CO<sub>2</sub> al final del volumen tidal se mide como presión parcial (PetCO<sub>2</sub>) o como concentración fraccional de CO<sub>2</sub> en gas seco (FetCO<sub>2</sub>).

Se facilitan los valores *normales* de PetCO<sub>2</sub> y FetCO<sub>2</sub> en la tabla 1.

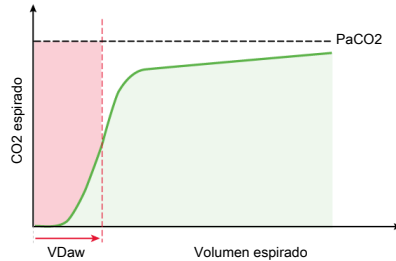
## 5 Espacio muerto en la vía aérea (VDaw)

La medición del espacio muerto en la vía aérea, anatómico o en serie, VDaw, proporciona una medición efectiva en directo del volumen perdido en los conductos de aire; esto representa el gas sin CO<sub>2</sub> del aparato y el espacio muerto anatómico.

Un aumento relativo en los puntos de espacio muerto indica un aumento de la insuficiencia respiratoria y puede interpretarse como un indicador del estado actual del paciente.

Con el método de Aström<sup>31</sup>, VDaw se puede calcular como el mínimo espacio muerto mensurable. El cálculo<sup>32</sup> consta de varios pasos de cálculo que tienen en cuenta la pendiente de la meseta alveolar.

Figura 5. VDaw



Se facilitan los valores *normales* de VDaw en la tabla 1.

## 6 Ventilación minuto alveolar (V'alv)

La ventilación minuto alveolar (V'alv) permite evaluar la ventilación alveolar real (en contraposición a la ventilación minuto). V'alv se define como la diferencia entre la ventilación minuto y VDaw (espacio muerto en la vía aérea).

No todo el gas que entra en los alveolos participa en el intercambio de gas. Una parte del gas acaba acumulándose en espacios pulmonares sin perfusión o con una perfusión mínima. Para medir la eficacia de la ventilación alveolar, PaCO<sub>2</sub> se debe determinar mediante un muestreo de gas en sangre arterial. La relación de presión parcial alveolar mixta con la presión ideal parcial es una medición de la eficacia alveolar (Severinghaus 1957).

Se facilitan los valores *normales* de V'alv en la tabla 1.

<sup>31</sup> Aström 2000; consulte el apartado 9

<sup>32</sup> Wolff 1989, Aström 2000; consulte el apartado 9



## 7 Forma de capnograma (pend.CO2)

La pendiente de la meseta alveolar (pend.CO2) se define mediante la forma del capnograma de PetCO2 y puede indicar el estado de la relación volumen/flujo de los pulmones.

Se facilitan los valores *normales* de pend.CO2 en la tabla 1.

Tabla 1. Ejemplos de valores normales o previstos en pacientes con ventilación mecánica<sup>33</sup>

Descripción	Unidad <sup>34</sup>	Normal	Referencia
VDaw	ml BTPS	2,2 ml/kg PCI	Radford 1954
pend.CO2	%CO2/l	31 324 * Vt - 1,535	Aström 2000
V'CO2 <sup>35</sup>	ml/min STPD	De 2,6 a 2,9 ml/min/kg	Weissmann 1986, Wolff 1986
FetCO2 <sup>36</sup>	%	Del 5,1 al 6,1 %	Wolff 1986
PetCO2	mmHg	De 32 a 42 mmHg	www.oem.respironics.com
V'alv	l/min	De 0,052 a 0,070 l/min/kg	Kiiski, Takala 1994 <sup>35</sup>

## 8 Fórmulas

### Ventilación tidal alveolar (Vtalv)

$$V_{talv} = V_t - V_{Daw}$$

### Ventilación minuto alveolar (V'alv)

$$V'_{alv} = f * V_{talv}$$

### Volumen de CO2 eliminado en una respiración (VCO2)

$$V_{CO2} = V_{eCO2} - V_{iCO2}$$

### Concentración fraccional de CO2 en el gas espirado (FetCO2)

$$F_{etCO2} = V'_{CO2} / \text{MinVol}$$

### Presión parcial de CO2 en el gas espirado (PetCO2)

$$P_{etCO2} = F_{etCO2} * (P_b - P_{H2O})$$

<sup>33</sup> Estos valores solo tienen fines ilustrativos y no pueden sustituir en ningún caso al tratamiento supervisado por un médico.

<sup>34</sup> Los volúmenes de gas masivos como la ventilación por minuto y el volumen tidal se suelen medir en BTPS. Los volúmenes de gas específicos se expresan en STPD. Los factores de conversión se pueden encontrar en cualquier libro de texto de física.

<sup>35</sup>  $V'_{CO2} = V'_{alv} * F_{etCO2}$

<sup>36</sup>  $F_{etCO2} = P_{etCO2} / (P_b - P_{H2O})$

## 9 Bibliografía

- Aström E, Niklason L, Drefeldt B, Bajc M, Jonson B. Partitioning of dead space – a method and reference values in the awake human. *Eur Respir J.* 2000 Oct; 16(4):659-664.1
- Brandi LS, Bertolini R, Santini L, Cavani S. Effects of ventilator resetting on indirect calorimetry measurement in the critically ill surgical patient. *Crit Care Med.* 1999 Mar; 27(3):531-539.
- Kiiski R, Takala J, Eissa NT. Measurement of alveolar ventilation and changes in deadspace by indirect calorimetry during mechanical ventilation: a laboratory and clinical validation. *Crit Care Med.* 1991 Oct;19(10):1303-1309.
- Noe FE. Computer analysis of curves from an infrared CO<sub>2</sub> analyzer and screen-type airflow meter. *J Appl Physiol* 1963; 18:149-157.
- Radford EP. Ventilation standards for use in artificial respiration. *N Engl J Med* 1954; 251:877-883.
- Severinghaus JW, Stupfel M. Alveolar dead space as an index of distribution of blood flow in pulmonary capillaries. *J Appl Physiol* 1957; 10:335-348.
- Weissman C, Kemper M, Elwyn DH, Askanazi J, Hyman AI, Kinney JM. The energy expenditure of the mechanically ventilated critically ill patient. An analysis. *Chest.* 1986 Feb; 89(2):254-259.
- Wolff G, Brunner JX, Weibel W, et al. Anatomical and series dead space volume: concept and measurement in clinical practice. *Appl Cardiopul Pathophysiol* 1989; 2:299-307.
- Wolff G, Brunner JX, Grädel E. Gas exchange during mechanical ventilation and spontaneous breathing. Intermittent mandatory ventilation after open heart surgery. *Chest.* 1986 Jul; 90(1):11-17.

# Guida utente

## Capnografia volumetrica

2020-11-30

10107270/00

© 2020 Hamilton Medical AG. Tutti i diritti riservati. Stampato in Svizzera.

Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta, memorizzata in un database o sistema di recupero dati, trasmessa in qualsiasi forma o con qualsiasi mezzo, elettronico, meccanico, tramite fotocopie, registrazione o altro, senza previa autorizzazione scritta da parte di Hamilton Medical AG.

Il presente documento può essere modificato, sostituito o reso obsoleto da altri documenti di Hamilton Medical AG in qualsiasi momento e senza preavviso. Assicurarsi che la copia del documento in uso sia quella più aggiornata. In caso di dubbio, contattare il supporto tecnico Hamilton Medical AG, in Svizzera. Le informazioni ivi contenute sono da considerarsi precise, ma non possono prescindere da una valutazione professionale.

Le informazioni contenute nel presente documento non limitano né riducono il diritto di Hamilton Medical AG di aggiornare, modificare o cambiare le apparecchiature (compreso il relativo software) qui descritte, senza preavviso. In assenza di un accordo scritto in tal senso, Hamilton Medical AG non ha alcun obbligo di fornire tali aggiornamenti, cambiamenti o modifiche al proprietario o all'utilizzatore delle apparecchiature (compreso il software) qui descritte.

L'utilizzo e la manutenzione o l'aggiornamento dell'apparecchiatura devono essere eseguiti solo da personale qualificato. L'unica responsabilità di Hamilton Medical AG relativamente all'apparecchiatura e al suo utilizzo è quella indicata dalla garanzia limitata fornita con il *Manuale operatore*.

Hamilton Medical AG non sarà responsabile per eventuali perdite, costi, spese, inconvenienti o danni che possono derivare dall'utilizzo improprio del prodotto o dalla sostituzione di componenti di Hamilton Medical AG con componenti di altri produttori oppure dalla modifica, eliminazione o rimozione dei numeri di serie.

Per la restituzione dei componenti a Hamilton Medical AG, assicurarsi di utilizzare la procedura Hamilton Medical standard Returned Goods Authorization (RGA, autorizzazione alla restituzione delle merci). Per lo smaltimento dei componenti, si dovranno osservare tutte le regolamentazioni di carattere locale, regionale e nazionale in materia di tutela ambientale.

Per tutti i marchi proprietari e di terze parti utilizzati da Hamilton Medical AG, vedere la pagina Web [www.hamilton-medical.com/trademarks](http://www.hamilton-medical.com/trademarks). I nomi dei prodotti e/o delle aziende contrassegnati dal simbolo <sup>§</sup> possono essere marchi e/o marchi registrati dei rispettivi proprietari, inclusi ma non in via esclusiva, Aero-gen<sup>§</sup>, Nihon Kohden<sup>§</sup>, Masimo<sup>§</sup>, Capnostat<sup>§</sup>, Bluetooth<sup>§</sup> e Wi-Fi<sup>§</sup>.

#### **Produttore**

Hamilton Medical AG  
Via Crusch 8, CH-7402 Bonaduz  
Svizzera  
Telefono: (+41) 58 610 10 20  
Fax: (+41) 58 610 00 20  
[info@hamilton-medical.com](mailto:info@hamilton-medical.com)  
[www.hamilton-medical.com](http://www.hamilton-medical.com)

1	Introduzione .....	38
2	Le tre fasi del capnogramma volumetrico .....	38
3	Eliminazione della CO <sub>2</sub> (V'CO <sub>2</sub> ) .....	39
4	End-tidal CO <sub>2</sub> (PetCO <sub>2</sub> e FetCO <sub>2</sub> ) .....	40
5	Spazio morto delle vie aeree (V <sub>ds</sub> ) .....	40
6	Ventilazione minuto alveolare (Valv) .....	40
7	Forma del capnogramma (slopeCO <sub>2</sub> ) .....	41
8	Formule .....	41
9	Bibliografia.....	42

## 1 Introduzione

La capnografia volumetrica è uno strumento importante per valutare la qualità e la quantità della ventilazione. I dati di monitoraggio della CO<sub>2</sub> sono utili per la valutazione dell'integrità delle vie aeree di un paziente e per assicurarsi che il tubo endotracheale sia posizionato correttamente, tra le altre applicazioni.

Le misurazioni della capnografia volumetrica monitorizzate dal ventilatore comprendono:

- Eliminazione della CO<sub>2</sub> ( $V'CO_2$ )
- Pressione parziale dell'end-tidal CO<sub>2</sub> (PetCO<sub>2</sub>)
- Frazione dell'end-tidal CO<sub>2</sub> (FetCO<sub>2</sub>)
- Spazio morto delle vie aeree (V<sub>ds</sub>)
- Ventilazione minuto alveolare (Valv)
- Forma del capnogramma (slopeCO<sub>2</sub>)

Questi parametri sono descritti più dettagliatamente in questa guida.

Informazioni aggiuntive sulla capnografia volumetrica si possono trovare nella pagina [www.hamilton-medical.com](http://www.hamilton-medical.com) nell'area MyHamilton.

## 2 Le tre fasi del capnogramma volumetrico

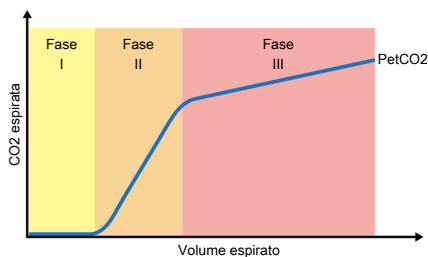
La concentrazione alveolare di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) è determinata da metabolismo, gittata cardiaca, perfusione polmonare e ventilazione. Una variazione della concentrazione della CO<sub>2</sub> è la conseguenza di perturbazioni in uno o più di questi fattori.

La capnografia volumetrica fornisce il monitoraggio continuo della produzione della CO<sub>2</sub>, dello stato di ventilazione/perfusione (V/Q) e della pervietà delle vie aeree, così come del funzionamento del circuito paziente del ventilatore.

Il gas espirato contiene la CO<sub>2</sub> proveniente da tre successive zone delle vie aeree, che identificano tre fasi ben riconoscibili del capnogramma dell'espirazione. Nella curva di un singolo respiro, nella capnografia volumetrica, sono visibili queste tre fasi caratteristiche evidenziate da variazioni della miscela di gas: corrispondono alle regioni delle vie aeree in cui hanno origine.

- *Fase I:* rappresenta il gas privo di CO<sub>2</sub> proveniente dallo spazio morto anatomico e dell'apparato
- *Fase II:* rappresenta il gas proveniente dalle regioni di transizione tra i compartimenti del gas alveolare e anatomico, riceve la CO<sub>2</sub> proveniente da unità con tassi di perfusione e frequenze respiratorie diversi
- *Fase III:* (plateau alveolare) rappresenta il gas ricco di CO<sub>2</sub> proveniente dagli alveoli

Figura 1. Fasi del capnogramma volumetrico



Basandosi sulle caratteristiche di ogni fase, è possibile calcolare alcuni parametri fisiologici.

### 3 Eliminazione della CO<sub>2</sub> (V'CO<sub>2</sub>)

L'eliminazione della CO<sub>2</sub> (V'CO<sub>2</sub>) è il volume espirato netto della CO<sub>2</sub> in millilitri al minuto (ml/min). Le misurazioni della V'CO<sub>2</sub> permettono la valutazione della frequenza metabolica (per esempio, il valore di V'CO<sub>2</sub> è alto nei casi di sepsi e febbre) e dell'andamento del trattamento.

La V'CO<sub>2</sub> è ottenuta sommando le misurazioni della VCO<sub>2</sub> ad ogni respiro e dividendo la somma per il tempo totale in minuti (Noe 1963). Per interpretare i valori della V'CO<sub>2</sub> è essenziale che vi siano condizioni di stabilità clinica (Brandt 1999). La V'CO<sub>2</sub> rappresenta l'eliminazione della CO<sub>2</sub>, ma non necessariamente la produzione della CO<sub>2</sub>. I valori *normali* della V'CO<sub>2</sub> sono forniti nella Tabella 1.

Per convertire un capnogramma basato sul tempo in un capnogramma volumetrico, la CO<sub>2</sub> deve essere combinata con il flusso.

Combinando il grafico FetCO<sub>2</sub>/tempo (Figura 2) con il grafico flusso/tempo (Figura 3), è possibile ottenere il volume della CO<sub>2</sub> espirata in un respiro (Figura 4).

L'area sotto la curva espiratoria meno l'area sotto la curva inspiratoria rappresenta il trasferimento netto della CO<sub>2</sub> fuori dai polmoni per respiro o la VCO<sub>2</sub>.

Figura 2. Tipico capnogramma di paziente sottoposto a ventilazione a pressione controllata, che mostra il grafico FCO<sub>2</sub>/tempo<sup>37</sup>

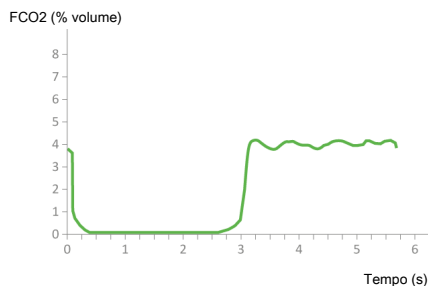


Figura 3. Tipico spirogramma di paziente sottoposto a ventilazione a pressione controllata<sup>38</sup>

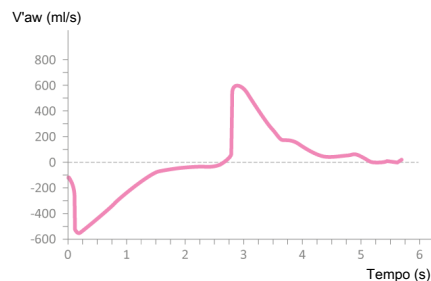
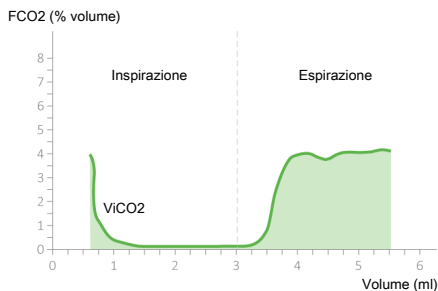


Figura 4. Combinazione di capnogramma e spirogramma (ovvero concentrazione frazionale dell'end-tidal CO<sub>2</sub>/volume)<sup>39</sup>



<sup>37</sup> L'inspirazione inizia al tempo 0, mentre l'espirazione inizia a 2,75 secondi circa. Notare che il gas inspiratorio, inizialmente, contiene CO<sub>2</sub> (ri-respirazione) dallo spazio morto artificiale.

<sup>38</sup> Il flusso al paziente (inspirazione) è negativo, mentre il flusso dal paziente (espirazione) è positivo. La curva del flusso espiratorio è una curva di decadimento esponenziale. Notare che nei pazienti che respirano spontaneamente, le curve di flusso possono avere forme diverse.

<sup>39</sup> ViCO<sub>2</sub> è il volume della CO<sub>2</sub> inspirata, mentre VeCO<sub>2</sub> è il volume della CO<sub>2</sub> espirata. L'eliminazione netta della CO<sub>2</sub> è VeCO<sub>2</sub> - ViCO<sub>2</sub>. ViCO<sub>2</sub>, un volume negativo che indica la CO<sub>2</sub> ri-respirata, normalmente viene omissa.

## 4 End-tidal CO<sub>2</sub> (PetCO<sub>2</sub> e FetCO<sub>2</sub>)

L'end-tidal CO<sub>2</sub> è la pressione parziale massima di CO<sub>2</sub> espirata durante una respirazione corrente, misurata appena prima dell'inizio dell'inspirazione. Rappresenta la porzione finale di aria che è stata coinvolta nello scambio di gas nell'area alveolare, fornendo quindi un indice affidabile della pressione parziale di CO<sub>2</sub> nel sangue arterioso in determinate circostanze.

L'end-tidal CO<sub>2</sub> viene misurata come pressione parziale (PetCO<sub>2</sub>) o come concentrazione frazionale di CO<sub>2</sub> nel gas secco (FetCO<sub>2</sub>).

I valori *normali* della PetCO<sub>2</sub> e della FetCO<sub>2</sub> sono forniti nella Tabella 1.

## 5 Spazio morto delle vie aeree (V<sub>ds</sub>)

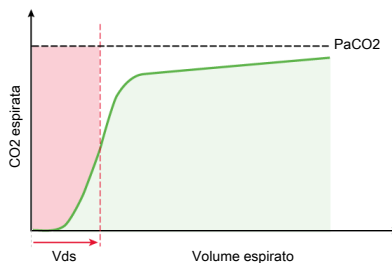
V<sub>ds</sub>, la misura dello spazio morto delle vie aeree o anatomico o seriale, fornisce una misura in vivo efficace del volume perso nelle vie aeree attraversate dal gas; rappresenta quindi il gas privo di CO<sub>2</sub> proveniente dallo spazio morto anatomico e dell'apparato.

Un aumento relativo dello spazio morto indica un aumento dell'insufficienza respiratoria e può essere considerato come un indicatore delle condizioni correnti del paziente.

Utilizzando il metodo di Aström<sup>40</sup>, è possibile calcolare V<sub>ds</sub> come il più piccolo spazio morto misurabile. Il calcolo<sup>41</sup> com-

prende un numero di passaggi computazionali che tengono conto della pendenza del plateau alveolare.

Figura 5. V<sub>ds</sub>



I valori *normali* di V<sub>ds</sub> sono forniti nella Tabella 1.

## 6 Ventilazione minuto alveolare (Valv)

La ventilazione minuto alveolare (Valv) permette la valutazione della ventilazione alveolare effettiva (rispetto alla ventilazione minuto). Valv è definita come la differenza tra ventilazione minuto e V'Daw (spazio morto delle vie aeree).

Non tutto il gas che entra negli alveoli partecipa allo scambio di gas. Parte del gas finisce nei distretti polmonari non perfusi o ipoperfusi. Per misurare l'efficienza della ventilazione alveolare, la PaCO<sub>2</sub> deve essere determinata tramite emogasanalisi arteriosa. Il rapporto della pressione parziale alveolare da mista a ideale rappresenta una misura dell'efficienza alveolare (Severinghaus 1957).

I valori *normali* di Valv sono forniti nella Tabella 1.

<sup>40</sup> Aström 2000; vedere la Sezione 9

<sup>41</sup> Wolff 1989, Aström 2000; vedere la Sezione 9



## 7 Forma del capnogramma (slopeCO2)

La pendenza del plateau alveolare (slopeCO2) è definita dalla forma del capnogramma PetCO2 e può indicare lo stato di volume/flusso dei polmoni.

I valori *normali* di slopeCO2 sono forniti nella Tabella 1.

Tabella 1. Esempi di valori normali o attesi in pazienti ventilati meccanicamente<sup>42</sup>

Descrizione	Unità <sup>43</sup>	Normale	Riferimento
Vds	ml BTPS	2,2 ml/kg PCI	Radford 1954
slopeCO2	%CO2/l	31324 * Vt - 1,535	Aström 2000
V'CO2 <sup>44</sup>	ml/min STPD	da 2,6 a 2,9 ml/min/kg	Weissmann 1986, Wolff 1986
FetCO2 <sup>45</sup>	%	5,1 - 6,1%	Wolff 1986
PetCO2	mmHg	da 32 a 42 mmHg	www.oem.respironics.com
Valv	l/min	da 0,052 a 0,070 l/min/kg	Kiiski, Takala 1994 <sup>44</sup>

## 8 Formule

### Ventilazione corrente alveolare (Vtalv)

$$Vtalv = Vt - Vds$$

### Ventilazione minuto alveolare (Valv)

$$Valv = f * Vtalv$$

### Volume di CO2 eliminata in un respiro (VCO2)

$$VCO2 = VeCO2 - ViCO2$$

### Concentrazione frazionale di CO2 nel gas espirato (FetCO2)

$$FetCO2 = V'CO2/VoMin$$

### Pressione parziale di CO2 nel gas espirato (PetCO2)

$$PetCO2 = FetCO2 * (Pb - PH2O)$$

<sup>42</sup> Questi valori sono a scopo illustrativo e non sostituiscono il trattamento indicato dal medico.

<sup>43</sup> Volumi di gas come la ventilazione minuto e il volume corrente sono solitamente misurati in BTPS. Volumi di gas specifici sono espressi in STPD. I fattori di conversione si possono trovare nei libri di testo di fisica.

<sup>44</sup>  $V'CO2 = Valv * FetCO2$

<sup>45</sup>  $FetCO2 = PetCO2 / (Pb - PH2O)$

## 9 Bibliografia

- Aström E, Niklason L, Drefeldt B, Bajc M, Jonson B. Partitioning of dead space – a method and reference values in the awake human. *Eur Respir J.* 2000 Oct; 16(4):659-664.1
- Brandi LS, Bertolini R, Santini L, Cavani S. Effects of ventilator resetting on indirect calorimetry measurement in the critically ill surgical patient. *Crit Care Med.* 1999 Mar; 27(3):531-539.
- Kiiski R, Takala J, Eissa NT. Measurement of alveolar ventilation and changes in deadspace by indirect calorimetry during mechanical ventilation: a laboratory and clinical validation. *Crit Care Med.* 1991 Oct; 19(10):1303-1309.
- Noe FE. Computer analysis of curves from an infrared CO<sub>2</sub> analyzer and screen-type airflow meter. *J Appl Physiol* 1963; 18:149-157.
- Radford EP. Ventilation standards for use in artificial respiration. *N Engl J Med* 1954; 251:877-883.
- Severinghaus JW, Stupfel M. Alveolar dead space as an index of distribution of blood flow in pulmonary capillaries. *J Appl Physiol* 1957; 10:335-348.
- Weissman C, Kemper M, Elwyn DH, Askanazi J, Hyman AI, Kinney JM. The energy expenditure of the mechanically ventilated critically ill patient. An analysis. *Chest.* 1986 Feb; 89(2):254-259.
- Wolff G, Brunner JX, Weibel W, et al. Anatomical and series dead space volume: concept and measurement in clinical practice. *Appl Cardiopul Pathophysiol* 1989; 2:299-307.
- Wolff G, Brunner JX, Grädel E. Gas exchange during mechanical ventilation and spontaneous breathing. Intermittent mandatory ventilation after open heart surgery. *Chest.* 1986 Jul; 90(1):11-17.

# Guia do usuário

## Capnografia volumétrica

2020-11-30

10107270/00

© 2020 Hamilton Medical AG. Todos os direitos reservados. Impresso na Suíça.

Este documento não pode ser reproduzido ou armazenado em bancos de dados ou sistemas de recuperação, nem transmitido, de qualquer forma ou por qualquer meio, seja eletrônico, mecânico, fotocópia, gravação ou qualquer outro, sem permissão prévia por escrito da Hamilton Medical AG.

A Hamilton Medical AG reserva-se o direito de revisar, substituir ou tornar este documento obsoleto, com a publicação de um novo documento, a qualquer altura e sem aviso prévio. Verifique se você possui a versão mais atualizada deste documento. Em caso de dúvida, contate o Departamento de Assistência Técnica da Hamilton Medical AG, Suíça. As informações aqui apresentadas são consideradas precisas, mas não substituem o exercício de avaliações profissionais.

Nenhuma disposição deste documento deverá limitar ou restringir, de nenhuma maneira, o direito da Hamilton Medical AG de revisar, modificar ou alterar o equipamento aqui descrito, inclusive o respectivo software, sem aviso prévio. Se não houver um contrato expresso e por escrito estipulando o contrário, a Hamilton Medical AG não será obrigada a fornecer tais revisões, modificações ou alterações ao proprietário ou ao usuário do equipamento aqui descrito, inclusive o respectivo software.

O equipamento deverá ser utilizado, mantido ou atualizado exclusivamente por profissionais treinados. Todas as responsabilidades da Hamilton Medical AG para com o equipamento e sua utilização estão descritas na garantia limitada, fornecida no *Manual do Operador* do dispositivo.

A Hamilton Medical AG não poderá ser responsabilizada por quaisquer perdas, custos, gastos, inconveniências ou danos que poderão surgir devido ao uso incorreto do produto. O mesmo se aplica se tiverem sido utilizadas peças de reposição não originais da Hamilton Medical AG, ou se os números de série tiverem sido alterados, apagados ou removidos.

Em caso de devolução de peças à Hamilton Medical AG, certifique-se de que segue o procedimento padrão de Autorização de Devolução de Mercadoria (ADM) da Hamilton Medical. O descarte de peças deverá ser efetuado em conformidade com todos os regulamentos locais, estaduais e federais, e respeitando a proteção ambiental.

Pode consultar todas as marcas próprias e de terceiros usadas pela Hamilton Medical AG em [www.hamilton-medical.com/trademarks](http://www.hamilton-medical.com/trademarks). Os nomes de produtos e/ou de empresas assinalados com um símbolo <sup>§</sup> podem ser marcas e/ou marcas registradas de seus respectivos proprietários, incluindo, entre outros, Aerogen<sup>§</sup>, Nihon Kohden<sup>§</sup>, Masimo<sup>§</sup>, Capnostat<sup>§</sup>, Bluetooth<sup>§</sup> e Wi-Fi<sup>§</sup>.

#### **Fabricante**

Hamilton Medical AG  
Via Crusch 8, CH-7402 Bonaduz,  
Suíça  
Telefone: (+41) 58 610 10 20  
Fax: (+41) 58 610 00 20  
[info@hamilton-medical.com](mailto:info@hamilton-medical.com)  
[www.hamilton-medical.com](http://www.hamilton-medical.com)

---

1	Introdução .....	46
2	Três fases do capnograma volumétrico .....	46
3	Remoção de CO <sub>2</sub> (V'CO <sub>2</sub> ).....	47
4	CO <sub>2</sub> ao final da expiração (PetCO <sub>2</sub> e FetCO <sub>2</sub> ).....	48
5	Espaço morto das vias aéreas (VDaw) .....	48
6	Ventilação alveolar por minuto (V'alv) .....	48
7	Formato do capnograma (rampaCO <sub>2</sub> ) .....	49
8	Fórmulas .....	49
9	Referências .....	50

## 1 Introdução

A capnografia volumétrica é uma ferramenta importante para verificar a qualidade e quantidade da ventilação. Os dados de monitoração de CO<sub>2</sub> são úteis para avaliar a integridade das vias aéreas de um paciente ou garantir o posicionamento correto do tubo endotraqueal, entre outras aplicações.

As medições da capnografia volumétrica monitoradas pelo respirador incluem:

- Remoção de CO<sub>2</sub> ( $V'CO_2$ )
- Pressão parcial de CO<sub>2</sub> ao final da expiração (PetCO<sub>2</sub>)
- Fração de CO<sub>2</sub> ao final da expiração (FetCO<sub>2</sub>)
- Espaço morto das vias aéreas (VDaw)
- Ventilação alveolar por minuto ( $V'alv$ )
- Formato do capnograma (rampaCO<sub>2</sub>)

Estes parâmetros são descritos mais detalhadamente neste guia.

Estão disponíveis informações adicionais sobre a capnografia volumétrica em [www.hamilton-medical.com](http://www.hamilton-medical.com), em MyHamilton.

## 2 Três fases do capnograma volumétrico

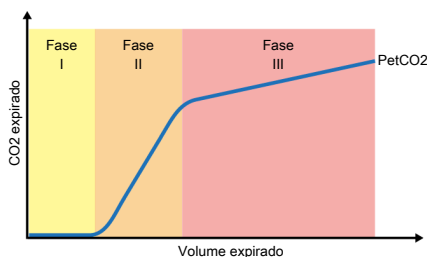
A concentração alveolar de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é o resultado do metabolismo, débito cardíaco, perfusão pulmonar e ventilação. Uma alteração na concentração de CO<sub>2</sub> reflete perturbações em qualquer um destes fatores ou em uma combinação dos mesmos.

A capnografia volumétrica fornece monitorização contínua da produção de CO<sub>2</sub>, do estado de ventilação/perfusão (V/Q), patência das vias aéreas, bem como o funcionamento do próprio circuito de respiração do respirador.

O gás expirado recebe CO<sub>2</sub> de três compartimentos sequenciais das vias aéreas, formando três fases que podem ser reconhecidas no capnograma de CO<sub>2</sub> expirado. Uma única curva de respiração na capnografia volumétrica exibe estas três fases características de alteração de mistura de gases — elas se referem à região das vias aéreas, na qual elas se originam:

- *Fase I:* representa o gás livre de CO<sub>2</sub> do dispositivo e o espaço morto anatômico
- *Fase II:* representa o gás proveniente de regiões que estão na transição entre os compartimentos de gás alveolar e anatômico; recebe CO<sub>2</sub> de unidades com diferentes frequências de perfusão e ventilação
- *Fase III:* (platô alveolar) representa o gás rico em CO<sub>2</sub> dos alvéolos

Figura 1. Fases do capnograma volumétrico



Usando características de cada fase, é possível calcular medidas fisiológicas.

### 3 Remoção de CO<sub>2</sub> (V'CO<sub>2</sub>)

A remoção de CO<sub>2</sub> (V'CO<sub>2</sub>) é o volume médio de CO<sub>2</sub> exalado em milímetros por minuto (ml/min). As medições de V'CO<sub>2</sub> permitem avaliar a intensidade do metabolismo (por exemplo, V'CO<sub>2</sub> é elevada na sepse e febre) e a evolução do tratamento.

A V'CO<sub>2</sub> é calculada somando-se as medições de VCO<sub>2</sub> de vários ciclos respiratórios e dividindo a soma pelo tempo total em minutos (Noe 1963). A interpretação dos valores de V'CO<sub>2</sub> requer condições de equilíbrio (Brandi, 1999). A V'CO<sub>2</sub> representa a remoção de CO<sub>2</sub>, e não necessariamente a produção de CO<sub>2</sub>. Os valores *normais* para V'CO<sub>2</sub> estão disponíveis na Tabela 1.

Para converter um capnograma temporal em um capnograma volumétrico, deve-se combinar as medidas do nível de CO<sub>2</sub> e do fluxo.

Combinando o gráfico de FetCO<sub>2</sub>/Tempo (Figura 2) com o gráfico de Fluxo/Tempo (Figura 3), você pode obter o volume de CO<sub>2</sub> exalado em um ciclo (Figura 4).

A diferença entre as áreas sob a forma de onda expiratória e a forma de onda inspiratória corresponde à transferência líquida de CO<sub>2</sub> para fora dos pulmões a cada ciclo respiratório, também denominada VCO<sub>2</sub>.

Figura 2. Capnograma típico de paciente em ventilação de pressão controlada mostrando o FCO<sub>2</sub>/tempo<sup>46</sup>

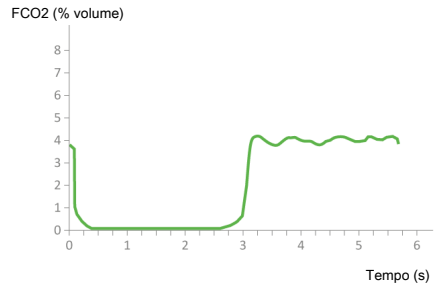


Figura 3. Espirograma típico, paciente em ventilação de pressão controlada<sup>47</sup>

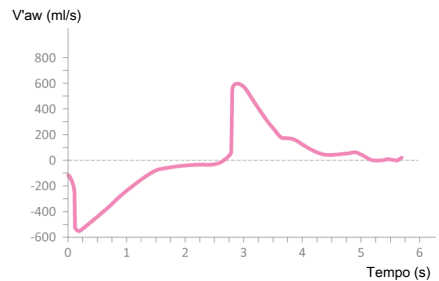
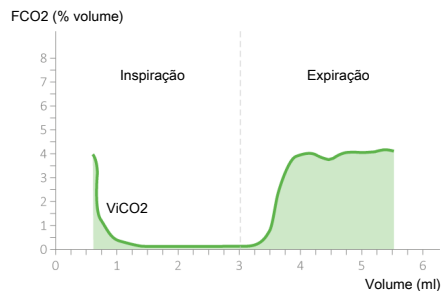


Figura 4. Combinação de capnograma e espirograma (concentração fracionária de CO<sub>2</sub> ao final da expiração versus volume)<sup>48</sup>



<sup>46</sup> A inspiração começa no tempo 0 e a expiração após 2,75 segundos. O gás inspirado contém inicialmente CO<sub>2</sub> (reinalação) proveniente do espaço morto artificial.

<sup>47</sup> A inspiração é negativa, a expiração positiva, e a forma de onda de fluxo expiratório é uma curva de decaimento exponencial. Em pacientes que respiram espontaneamente, as formas de onda de fluxo podem ter outros formatos.

<sup>48</sup> VICO<sub>2</sub> é o volume de CO<sub>2</sub> inspirado, e VeCO<sub>2</sub> é o volume de CO<sub>2</sub> exalado. A eliminação média de CO<sub>2</sub> é dada por VeCO<sub>2</sub> – VICO<sub>2</sub>, sendo que VICO<sub>2</sub> é um volume negativo que indica CO<sub>2</sub> reinalado e normalmente é omitido.

## 4 CO<sub>2</sub> ao final da expiração (PetCO<sub>2</sub> e FetCO<sub>2</sub>)

A pressão de CO<sub>2</sub> ao final da expiração é a pressão parcial máxima de CO<sub>2</sub> no ar exalado medida ao final da expiração, mesmo antes do início da inspiração. Representa a última porção de ar que participou da troca de gases alveolar e, por conseguinte, é um bom indicador de pressão parcial de CO<sub>2</sub> no sangue arterial em certas circunstâncias.

A pressão de CO<sub>2</sub> ao final da expiração é medida como pressão parcial (PetCO<sub>2</sub>) ou como fração da concentração de CO<sub>2</sub> no gás seco (FetCO<sub>2</sub>).

Os valores *normais* de PetCO<sub>2</sub> e FetCO<sub>2</sub> estão disponíveis na Tabela 1.

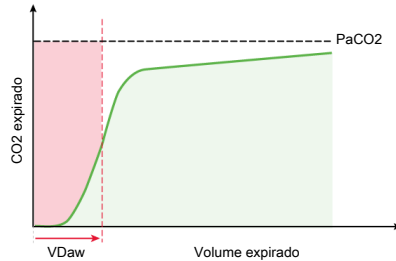
## 5 Espaço morto das vias aéreas (VDaw)

A medição do espaço morto em série, anatômico ou das vias aéreas, VDaw, fornece uma medida eficaz e *in vivo* do volume perdido nas vias aéreas condutoras; isso representa o gás livre de CO<sub>2</sub> do dispositivo e espaço morto anatômico.

Um aumento relativo do espaço morto indica insuficiência respiratória e pode ser considerado um indicador da condição atual do paciente.

Usando o método de Aström<sup>49</sup>, é possível calcular o VDaw, que pode ser calculado como o menor espaço morto mensurável. O cálculo<sup>50</sup> é realizado em várias etapas, que consideram a inclinação do platô alveolar.

Figura 5. VDaw



Os valores *normais* para VDaw estão disponíveis na Tabela 1.

## 6 Ventilação alveolar por minuto (V'alv)

A ventilação alveolar por minuto (V'alv) permite medir a ventilação alveolar real em vez da ventilação por minuto. A V'alv é definida como a diferença entre a ventilação por minuto e o V'Daw (espaço morto das vias aéreas).

Nem todo o gás que entra nos alvéolos participa de troca gasosa. Parte dele vai para espaços pulmonares com pouca ou nenhuma perfusão. Para medir a eficácia da ventilação alveolar, a PaCO<sub>2</sub> deve ser dosada em uma amostra de sangue arterial. A relação entre as pressões parciais alveolares mista e ideal é uma medida da eficácia alveolar (Severinghaus 1957).

Os valores *normais* para V'alv estão disponíveis na Tabela 1.

<sup>49</sup> Aström 2000; consulte a Seção 9

<sup>50</sup> Wolff 1989, Aström 2000; consulte a Seção 9



## 7 Formato do capnograma (rampaCO2)

A inclinação do platô alveolar (rampaCO2) é definida pelo formato do capnograma PetCO2 e pode indicar o estado do volume/fluxo pulmonar.

Os valores *normais* para rampaCO2 estão disponíveis na Tabela 1.

Tabela 1. Exemplos de valores “normais” ou esperados em pacientes em ventilação mecânica<sup>51</sup>

Descrição	Unidade <sup>52</sup>	Normal	Referência
VDaw	ml BTPS	2,2 ml/kg de IBW	Radford 1954
rampaCO2	%CO2/l	31 324 * Vcorr - 1,535	Aström 2000
V'CO2 <sup>53</sup>	ml/min STPD	2,6 a 2,9 ml/min/kg	Weissmann 1986, Wolff 1986
FetCO2 <sup>54</sup>	%	5,1 a 6,1 %	Wolff 1986
PetCO2	mmHg	32 a 42 mmHg	www.oem.respironics.com
V'alv	l/min	0,052 a 0,070 l/min/kg	Kiiski, Takala 1994 <sup>53</sup>

## 8 Fórmulas

### Ventilação alveolar corrente (Vtalv)

$$Vtalv = Vcorr - VDaw$$

### Ventilação alveolar por minuto (V'alv)

$$V'alv = f * Vtalv$$

### Volume de CO2 eliminado por ciclo (VCO2)

$$VCO2 = VeCO2 - VICO2$$

### Fração da concentração de CO2 no gás exalado (FetCO2)

$$FetCO2 = V'CO2 / VolMin$$

### Pressão parcial de CO2 no gás exalado (PetCO2)

$$PetCO2 = FetCO2 * (Pb - PH2O)$$

<sup>51</sup> Estes valores são mostrados para fins meramente ilustrativos e não substituem o tratamento orientado por um médico.

<sup>52</sup> Os volumes de gás (como volume minuto e volume corrente) geralmente são medidos em condições BTPS, e os volumes de gás específicos são mostrados em STPD. Os fatores de conversão podem ser encontrados em livros de física.

<sup>53</sup>  $V'CO2 = V'alv * FetCO2$

<sup>54</sup>  $FetCO2 = PetCO2 / (Pb - PH2O)$

## 9 Referências

- Aström E, Niklason L, Drefeldt B, Bajc M, Jonson B. Partitioning of dead space – a method and reference values in the awake human. *Eur Respir J.* 2000 Oct; 16(4):659-664.1
- Brandi LS, Bertolini R, Santini L, Cavani S. Effects of ventilator resetting on indirect calorimetry measurement in the critically ill surgical patient. *Crit Care Med.* 1999 Mar; 27(3):531-539.
- Kiiski R, Takala J, Eissa NT. Measurement of alveolar ventilation and changes in deadspace by indirect calorimetry during mechanical ventilation: a laboratory and clinical validation. *Crit Care Med.* 1991 Oct; 19(10):1303-1309.
- Noe FE. Computer analysis of curves from an infrared CO<sub>2</sub> analyzer and screen-type airflow meter. *J Appl Physiol* 1963; 18:149-157.
- Radford EP. Ventilation standards for use in artificial respiration. *N Engl J Med* 1954; 251:877-883.
- Severinghaus JW, Stupfel M. Alveolar dead space as an index of distribution of blood flow in pulmonary capillaries. *J Appl Physiol* 1957; 10:335-348.
- Weissman C, Kemper M, Elwyn DH, Askanazi J, Hyman AI, Kinney JM. The energy expenditure of the mechanically ventilated critically ill patient. An analysis. *Chest.* 1986 Feb; 89(2):254-259.
- Wolff G, Brunner JX, Weibel W, et al. Anatomical and series dead space volume: concept and measurement in clinical practice. *Appl Cardiopul Pathophysiol* 1989; 2:299-307.
- Wolff G, Brunner JX, Grädel E. Gas exchange during mechanical ventilation and spontaneous breathing. Intermittent mandatory ventilation after open heart surgery. *Chest.* 1986 Jul; 90(1):11-17.

# ユーザガイド

## ボルメトリックカップノグラフィ

2020-11-30

10107270/00

© 2020 Hamilton Medical AG.複製転載禁止。  
印刷、スイス。

本書のどの部分も、Hamilton Medical AGの事前の書面による許可なく、複製、データベース、検索システムへの保管、また、電子的、機械的、コピー機の使用、録音その他いかなる形態、手段でも頒布することはできません。

本書はHamilton Medical AGにより予告なしに改定または交換されたり、他の文書によって旧版になる場合があります。本書の最新版をご利用いただきますよう、ご注意願います。最新版かどうか不確かな場合は、スイスのHamilton Medical AGの技術サポート部門までお問い合わせください。本書の情報には正確を期しておりますが、専門家の判断の行使に替わるものではありません。

本書の如何なる部分も、ここに述べるHamilton Medical AGの機器（ソフトウェアを含む）を予告なく更新、または変更する権利を制限、制約するものではありません。これに反する書面による契約がない限り、Hamilton Medical AGはここに述べる機器（ソフトウェアを含む）の所有者、使用者に対し、機器の更新、変更、改良の義務を負いません。

機器の操作、保守、アップグレードは、訓練を受けた専門家が行う必要があります。本機器およびその使用に関するHamilton Medical AGの責任は、装置の取扱説明書の限定品質保証に記載されています。

Hamilton Medical AGは製品が誤用されたり、Hamilton Medical AG製以外の部品を使用して部品交換が行われたり、シリアル番号が改変、削除、除去されたりした場合、それらに起因して発生するいかなる損失、コスト、費用、不都合、損害に対しても責任を負いません。

Hamilton Medical AGに部品を返品する際は、Hamilton Medicalの標準返品認証（RGA）手続きに従ってください。部品の廃棄については、各地域、州、連邦のあらゆる環境規制に従ってください。

Hamilton Medical AGによって使用されているすべての自社商標および第三者商標については、[www.hamilton-medical.com/trademarks](http://www.hamilton-medical.com/trademarks)を参照してください。<sup>§</sup>記号が付いている製品または会社名は、それぞれの所有者の商標または登録商標である場合があります。これにはAerogen<sup>§</sup>、Nihon Kohden（日本光電）<sup>§</sup>、Masimo<sup>§</sup>、Capnostat<sup>§</sup>、Bluetooth<sup>§</sup>、Wi-Fi<sup>§</sup>などが含まれます。

#### 製造業者

Hamilton Medical AG  
Via Crusch 8, CH-7402 Bonaduz,  
Switzerland  
電話：(+41) 58 610 10 20  
ファックス：(+41) 58 610 00 20  
[info@hamilton-medical.com](mailto:info@hamilton-medical.com)  
[www.hamilton-medical.com](http://www.hamilton-medical.com)

---

1	はじめに .....	54
2	ボルメトリックカプノグラムの3つの相.....	54
3	換気能力 ( $V'CO_2$ ) .....	55
4	呼気終末CO <sub>2</sub> (ETCO <sub>2</sub> およびFetCO <sub>2</sub> ) .....	56
5	気道死腔 (VDaw) .....	56
6	肺胞分時換気量 (Valv/min) .....	56
7	カプノグラム形状 (slopeCO <sub>2</sub> ) .....	57
8	数式.....	57
9	参考資料 .....	58

## 1 はじめに

ボルメトリックカプノグラフィは、換気の質と量を評価するための重要なツールです。CO<sub>2</sub>モニタリングデータは患者の気道の完全性を評価するために使用できます。また、特に気管内チューブを適切に配置するためにも役立ちます。

ボルメトリックカプノグラフィ測定により、以下のものが人工呼吸器でモニタリングされます。

- 換気能力 ( $V' \text{CO}_2$ )
- 呼気終末CO<sub>2</sub>分圧 (ETC0<sub>2</sub>)
- 呼気終末CO<sub>2</sub>分画 (FetCO<sub>2</sub>)
- 気道死腔 (VDaw)
- 肺胞分時換気量 (Valv/min)
- カプノグラム形状 (slopeCO<sub>2</sub>)

これらのパラメータについて、このガイドで詳しく説明します。

ボルメトリックカプノグラフィに関する追加情報については、[www.hamilton-medical.com](http://www.hamilton-medical.com)にあるMyHamiltonをご覧ください。

## 2 ボルメトリックカプノグラムの3つの相

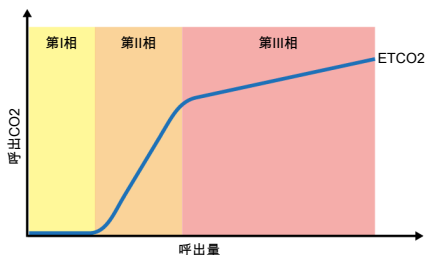
二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) の肺胞内濃度は、代謝、心拍出量、肺灌流、および換気の結果です。CO<sub>2</sub>濃度の変化は、これらの要因のいずれかまたはその組み合わせの変動を表します。

ボルメトリックカプノグラフィを使用することで、CO<sub>2</sub>生成量、換気/灌流 (V/Q) 状態、気道開存性、人工呼吸器の呼吸回路自体の機能を継続的にモニタリングできます。

呼気は気道の連続する3つのコンパートメントからCO<sub>2</sub>を受け取ります。その結果、呼気カプノグラム上で3つの明確な相が形成されます。ボルメトリックカプノグラフィの単一の呼吸曲線は、これら3つの変化する混合ガスの特徴的な相を示し、各相はそれぞれのガスが由来する気道領域を表します。

- 第I相：機械的死腔と解剖学的死腔からのCO<sub>2</sub>を含まないガスを表します。
- 第II相：解剖学的死腔から肺胞ガスコンパートメントへの移行部に由来するガスを表します。灌流量と換気量の異なる単位からCO<sub>2</sub>を受け取ります。
- 第III相：(肺胞プラトー) 肺胞からのCO<sub>2</sub>が豊富なガスを表します。

図 1. ボルメトリックカプノグラムの相



各相の特徴を使用して生理学的測定値を計算できます。

### 3 換気能力 (V'CO2)

換気能力 (V' CO2) は、1分あたりのCO2の正味呼出量 (mL/min) です。V' CO2の測定値から代謝速度 (たとえば、敗血症や発熱時にはV' CO2が高い) や治療の進行状況を評価できます。

V' CO2は、呼吸数回分のVC02測定値を加算し、それを合計時間 (分単位) で除算することによって算出されます (Noe 1963)。V' CO2値を解釈するためには定常状態であることが重要です (Brandi 1999)。V' CO2は換気能力 (CO2排出量) を表しますが、必ずしもCO2の生成量を表すわけではありません。V' CO2の標準値を表1に示します。

時間ベースのカプノグラムをボルメトリックカプノグラムに変換するには、CO2をフローと組み合わせる必要があります。

FetCO2/時間グラフ (図2) をフロー/時間グラフ (図3) と組み合わせることで、1回の呼吸で吐出されたCO2の量を導き出すことができます (図4)。

呼吸波形より下の領域から吸気波形より下の領域を引いた面積が、1回の呼吸で肺から呼出されたCO2の正味排出量 (VC02) となります。

図2. プレッシャーコントロール換気を受けている患者の一般的なカプノグラム (FCO2/時間) <sup>55</sup>

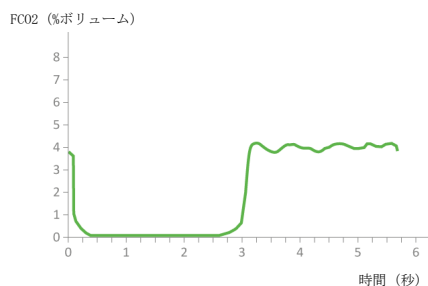


図3. プレッシャーコントロール換気を受けている患者の一般的なスパイログラム <sup>56</sup>

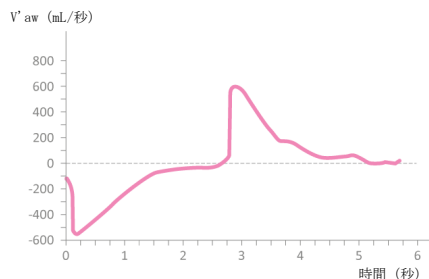
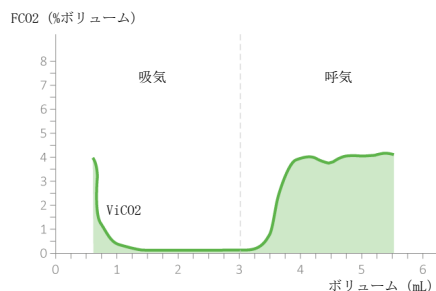


図4. カプノグラムとスパイログラムの組み合わせ (呼気終末CO2分画濃度/ボリューム) <sup>57</sup>



<sup>55</sup> 吸気は時間0から始まり、呼気は約2.75秒から始まります。吸気ガスには人工的死腔からのCO2 (再呼吸) が最初から含まれていることに注意してください。

<sup>56</sup> 患者に流入するフロー (吸気) は負の値で、患者から呼出されるフロー (呼気) は正の値で示されます。呼気フロー波形は指数関数的減衰曲線です。自発呼吸患者では、フロー波形の形状はこれとは異なる場合があることに注意してください。

<sup>57</sup> ViCO2は吸気CO2の量であり、VeCO2は呼気CO2の量を表します。CO2の正味排出量はVeCO2 - ViCO2です。ViCO2は再呼吸されたCO2を示す負の量ですが、通常は省略されます。

## 4 呼吸終末CO<sub>2</sub> (ETCO<sub>2</sub>およびFetCO<sub>2</sub>)

呼吸終末CO<sub>2</sub>は1回の呼吸中に吐き出されたCO<sub>2</sub>の最大分圧であり、吸気が始まる直前に測定されます。これは肺泡領域でのガス交換に関与した空気最後の部分を表すため、特定の状況下で動脈血のCO<sub>2</sub>分圧を示す信頼性の高い指標となります。

呼吸終末CO<sub>2</sub>は分圧として測定されるか (ETCO<sub>2</sub>)、乾燥ガス中のCO<sub>2</sub>の分画濃度として測定されます (FetCO<sub>2</sub>)。

ETCO<sub>2</sub>とFetCO<sub>2</sub>の標準値を表1に示します。

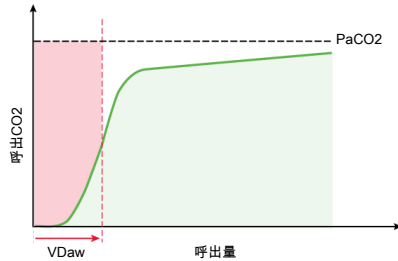
## 5 気道死腔 (VDaw)

連続する解剖学的 (気道) 死腔の測定値を表すVDawは、誘導気道で失われた量を示す効果的なin-vivo指標となります。これは、機械的死腔と解剖学的死腔からのCO<sub>2</sub>を含まないガスを表します。

死腔の相対的な増加は呼吸機能不全が増していることを示し、患者の現在の状態を示す指標と見なすことができます。

Astrom法<sup>58</sup>を使用して、VDawを測定可能な最小の死腔として計算できます。この計算方法<sup>59</sup>は、肺泡プラトーの勾配を考慮に入れたいくつかの計算ステップから成ります。

図 5. VDaw



VDawの標準値を表1に示します。

## 6 肺泡分時換気量 (Valv/min)

肺泡分時換気量 (Valv/min) の測定値から (分時換気量ではなく) 実際の肺泡換気を評価できます。Valv/minは分時換気量とV'Daw (気道死腔) の差と定義されています。

肺泡に流入するすべてのガスが、ガス交換に関与しているわけではありません。ガスの一部は、未灌流または灌流不十分の肺領域にとどまります。肺泡換気の効率性を測定するには、動脈血液ガスサンプルに基づきPaCO<sub>2</sub>を定義する必要があります。混合肺泡分圧と理想的な肺泡分圧の比率は肺泡効率の指標となります (Severinghaus 1957)。

Valv/minの標準値を表1に示します。

<sup>58</sup> Aström 2000。セクション9を参照

<sup>59</sup> Wolff 1989, Aström 2000。セクション9を参照



## 7 カプノグラム形状 (slopeCO2)

肺泡プラトーの勾配 (slopeCO2) は ETCO2カプノグラム形状によって定義され、肺のボリューム/フローの状態を示します。

slopeCO2の標準値を表1に示します。

表 1. 人工呼吸患者の標準値 (期待値) の例<sup>60</sup>

説明	単位 <sup>61</sup>	標準	参照
VDaw	mL BTPS	2.2 mL/kg (IBW)	Radford 1954
slopeCO2	%CO2/L	31324 * 一回換気量 - 1.535	Aström 2000
V'CO2 <sup>62</sup>	mL/min STPD	2.6~2.9 mL/min/kg	Weissmann 1986、Wolff 1986
FetCO2 <sup>63</sup>	%	5.1~6.1%	Wolff 1986
ETCO2	mmHg	32~42 mmHg	www.oem.respironics.com
Valv/min	L/min	0.052~0.070 L/min/kg	Kiiski、Takala 1994 <sup>62</sup>

## 8 数式

呼吸ガス内のCO2分画濃度 (FetCO2)

$$FetCO2 = V' CO2 / \text{換気量}$$

一回肺胞換気量 (Vtalv)

$$Vtalv = \text{一回換気量} - VDaw$$

呼吸ガス内のCO2分圧 (ETCO2)

$$ETCO2 = FetCO2 * (Pb - PH2O)$$

肺胞分時換気量 (Valv/min)

$$Valv/min = \text{呼吸回数} * Vtalv$$

1回の呼吸で排出されるCO2量 (VCO2)

$$VCO2 = VeCO2 - ViCO2$$

<sup>60</sup> これらの値は説明用であり、医師の指導による治療に置き換わるものではありません。

<sup>61</sup> 分時換気量、一回換気量などのバルクガス量は、通常はBTPS単位で測定されます。個別のガス量はSTPD単位で表されます。換算係数については、物理学の教本を参照してください。

<sup>62</sup>  $V' CO2 = Valv/min * FetCO2$

<sup>63</sup>  $FetCO2 = ETCO2 / (Pb - PH2O)$

## 9 参考資料

- Aström E, Niklason L, Drefeldt B, Bajc M, Jonson B. Partitioning of dead space – a method and reference values in the awake human. *Eur Respir J.* 2000 Oct; 16(4):659-664.1
- Brandi LS, Bertolini R, Santini L, Cavani S. Effects of ventilator resetting on indirect calorimetry measurement in the critically ill surgical patient. *Crit Care Med.* 1999 Mar; 27(3):531-539.
- Kiiski R, Takala J, Eissa NT. Measurement of alveolar ventilation and changes in deadspace by indirect calorimetry during mechanical ventilation: a laboratory and clinical validation. *Critical Care Medicine* 1991 Oct; 19(10):1303-1309.
- Noe FE. Computer analysis of curves from an infrared CO2 analyzer and screen-type airflow meter. *J Appl Physiol* 1963; 18:149-157.
- Radford EP. Ventilation standards for use in artificial respiration. *N Engl J Med* 1954; 251:877-883.
- Severinghaus JW, Stupfel M. Alveolar dead space as an index of distribution of blood flow in pulmonary capillaries. *J Appl Physiol* 1957; 10:335-348.
- Weissman C, Kemper M, Elwyn DH, Askanazi J, Hyman AI, Kinney JM. The energy expenditure of the mechanically ventilated critically ill patient. An analysis. *CHEST Journal* 1986 Feb; 89(2):254-259.
- Wolff G, Brunner JX, Weibel W, et al. Anatomical and series dead space volume: concept and measurement in clinical practice. *Appl Cardiopul Pathophysiol* 1989; 2:299-307.
- Wolff G, Brunner JX, Grädel E. Gas exchange during mechanical ventilation and spontaneous breathing. Intermittent mandatory ventilation after open heart surgery. *CHEST Journal* 1986 Jul; 90(1):11-17.

# 用户指南

## 容积二氧化碳图

2020-11-30

10107270/00

© 2020 Hamilton Medical 哈美顿医疗公司。版权所有。印刷于瑞士。

未经 Hamilton Medical 哈美顿医疗股份公司事先书面许可，不得以任何形式或通过任何手段（电子、机械、复印、录制或其他方式）复制本出版物的任何部分或将其存储到数据库或检索系统中或进行传播。

Hamilton Medical 哈美顿医疗股份公司可以在不另行通知的情况下随时修订、更换本文档，或将本文档作废。确保您具有本文档的最新适用版本；如有任何疑问，请与瑞士 Hamilton Medical 哈美顿医疗股份公司的技术支持部门联系。虽然此处提供的信息是准确的，但是这并不能替代专业的判断。

本文档不以任何方式限制或约束 Hamilton Medical 哈美顿医疗股份公司不另行通知即修改或以其他方式更改或改装此处所述设备（包括设备软件）的权利。除非有明确书面协议，否则 Hamilton Medical 哈美顿医疗股份公司无义务向此处所述设备（包括软件）的所有者或用户告知任何此类修改、更改或改装。

本设备必须仅由经过培训的专业人员操作、维修或升级。对于该设备及其使用，Hamilton Medical 哈美顿医疗股份公司仅承担设备操作手册提供的“有限保修”中规定的责任。

对于以下情况，Hamilton Medical 哈美顿医疗股份公司概不负责：因误用产品造成的任何损失、费用、开支、不便或损害；更换零件时使用了非 Hamilton Medical 哈美顿医疗股份公司的零件；修改、抹掉或撕掉序列号。

如果要将零件退回至 Hamilton Medical 哈美顿医疗股份公司，请确保使用标准的 Hamilton Medical 退货授权 (RGA) 手续。处置零件时应遵守当地、省/市/自治区及国家对于环境保护的所有相关规定。

有关全部所有权和 Hamilton Medical 哈美顿医疗公司使用的第三方商标，请参阅 [www.hamilton-medical.com/trademarks](http://www.hamilton-medical.com/trademarks)。标有<sup>§</sup>符号的产品和/或公司名称可能是其相关所有者的商标和/或注册商标，包括但不限于 Aerogen<sup>§</sup>、Nihon Kohden<sup>§</sup>、Masimo<sup>§</sup>、Capnostat<sup>§</sup>、Bluetooth<sup>§</sup> 和 Wi-Fi<sup>§</sup>。

## 制造商

Hamilton Medical 哈美顿医疗公司  
Via Crusch 8, CH-7402 Bonaduz,  
瑞士  
电话: (+41) 58 610 10 20  
传真: (+41) 58 610 00 20  
info@hamilton-medical.com  
www.hamilton-medical.com

---

1	介绍.....	62
2	容积二氧化碳描记图的三个时相 .....	62
3	CO <sub>2</sub> 清除状态 (V'CO <sub>2</sub> ) .....	63
4	呼气末二氧化碳 (PetCO <sub>2</sub> 和 FetCO <sub>2</sub> ) .....	64
5	气道死腔 (VDaw) .....	64
6	肺泡分钟通气量 (V'alv) .....	64
7	二氧化碳描记图形状 (slopeCO <sub>2</sub> ) .....	64
8	公式.....	65
9	参考文献 .....	66

## 1 介绍

容积二氧化碳图是一个评估通气质量和数量的重要工具。二氧化碳监测数据有助于其他应用评估病人的气道完整性，并确保气管插管的合理放置。

通过呼吸机监测的容积二氧化碳图测量包括：

- CO<sub>2</sub> 清除状态 ( $V'CO_2$ )
- 呼气末二氧化碳分压 (PetCO<sub>2</sub>)
- 呼气末部分二氧化碳浓度 (FetCO<sub>2</sub>)
- 气道死腔 (V<sub>Daw</sub>)
- 肺泡分钟通气量 (V'<sub>alv</sub>)
- 二氧化碳描记图形状 (slopeCO<sub>2</sub>)

本用户指南对这些参数进行了进一步详细描述。

有关容积二氧化碳图的其他信息可在 [www.hamilton-medical.com](http://www.hamilton-medical.com) 网站的 MyHamilton 上找到。

## 2 容积二氧化碳描记图的三个时相

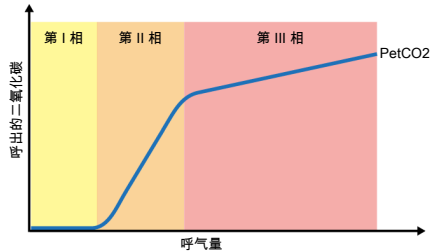
二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 的肺泡浓度是代谢、心输出量、肺灌注和通气的结果。CO<sub>2</sub> 浓度的改变反应了其中任一因素或多因素组合的波动。

容积二氧化碳图持续监测 CO<sub>2</sub> 产生率、通气/灌注 (V/Q) 状态、气道通畅性以及呼吸机呼吸管路本身的功能。

呼出气体中的 CO<sub>2</sub> 来自气道的三个连续部分，形成呼出二氧化碳描记图的三个可识别时相。容积二氧化碳图中的单次呼吸曲线显示了变化的混合气体的这三个独特时相，指代其在气道中的起始区域：

- **第 I 相：**表示设备死腔和解剖死腔的不含二氧化碳的气体
- **第 II 相：**表示解剖室和肺泡气室之间过渡区域的气体；从不同灌注和通气率的单位接收二氧化碳
- **第 III 相：**(肺泡平台) 表示肺泡中富含二氧化碳的气体

图 1. 容积二氧化碳描记图的时相



利用每个时相的特点，可计算生理测量数据。

### 3 CO<sub>2</sub> 清除状态 (V'CO<sub>2</sub>)

CO<sub>2</sub> 清除状态 (V' CO<sub>2</sub>) 是指每分钟二氧化碳净呼出量，单位为毫升/分钟 (ml/min)。V'CO<sub>2</sub> 测量用来评估代谢率（如败血症和发烧病人的 V' CO<sub>2</sub> 较高）和治疗进展。

可通过以下方式算出 V' CO<sub>2</sub>：将几次呼吸的 VVCO<sub>2</sub> 测量相加，然后使用总和除以总时间（以分钟为单位）(Noe 1963)。稳定状况对于解释 V' CO<sub>2</sub> 值至关重要 (Brandt 1999)。V' CO<sub>2</sub> 表示 CO<sub>2</sub> 清除状态，但不一定表示二氧化碳产生率。V' CO<sub>2</sub> 的正常值见表 1。

要将以时间为基线的二氧化碳描记图转化为容量型二氧化碳描记图，二氧化碳必须与流量相结合。

将 FetCO<sub>2</sub>/时间图 (图 2) 与流量/时间图 (图 3) 相结合，可以获得一次呼吸呼出的二氧化碳容量 (图 4)。

呼气波形下的面积减去吸气波形下的面积为每次呼吸的净二氧化碳排出量，即 VCO<sub>2</sub>。

图 2. 压力控制通气病人的典型二氧化碳描记图，显示 FCO<sub>2</sub>/时间<sup>64</sup>

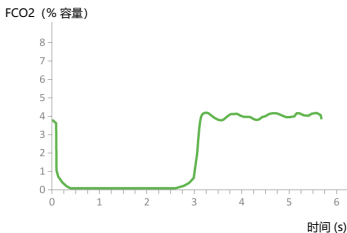


图 3. 压力控制通气病人的典型呼吸波形<sup>65</sup>

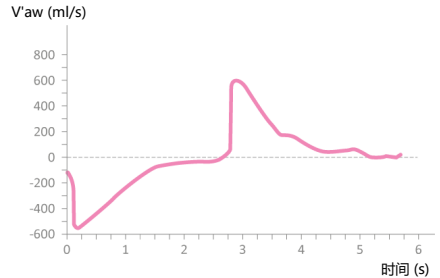
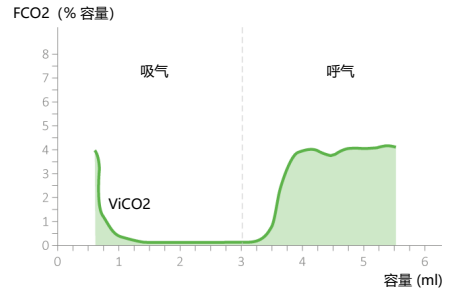


图 4. 二氧化碳描记图和呼吸波形结合 (部分呼气末二氧化碳浓度/容量波形)<sup>66</sup>



<sup>64</sup> 从 0 点时间开始吸气；呼气大约在 2.75 秒开始。请注意，吸入气体最初含有人工死腔中的二氧化碳（重复呼吸）。

<sup>65</sup> 朝向病人的流量（吸气）为负，远离病人的（呼气）为正。呼气流量波形是指指数递减波。请注意，在自主呼吸情况下，流量波形可能为不同的形状。

<sup>66</sup> ViCO<sub>2</sub> 为吸入的二氧化碳容量，而 VeCO<sub>2</sub> 为呼出的二氧化碳容量。CO<sub>2</sub> 净排除量为 VeCO<sub>2</sub> 减去 ViCO<sub>2</sub>。由于 ViCO<sub>2</sub> 是重复呼吸 CO<sub>2</sub> 的负容量，经常被忽略不计。

## 4 呼气末二氧化碳 (PetCO<sub>2</sub> 和 FetCO<sub>2</sub>)

呼气末二氧化碳是指进行潮气呼吸期间（吸气开始之前测量）呼出的二氧化碳的最大分压。其代表在肺泡区域中参与气体交换的最后一部分空气，因此在某些情况下是动脉血中二氧化碳分压的可靠指数。

呼气末二氧化碳可以以分压 (PetCO<sub>2</sub>) 或干燥气体中的部分二氧化碳浓度 (FetCO<sub>2</sub>) 形式测量。

PetCO<sub>2</sub> 和 FetCO<sub>2</sub> 的正常值见表 1。

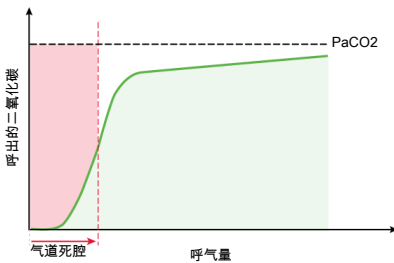
## 5 气道死腔 (VDaw)

系列、解剖或气道死腔测量，VDaw 可以对传导性气道中的容积损失进行有效的体内测量；其表示设备和解剖死腔中不含二氧化碳的气体。

死腔的相对增加表示呼吸不足的状况加剧，可以将其视为病人当前状况的一个指标。

使用 Aström 法<sup>67</sup>，气道死腔可以计算得出最小的可测量死腔。该计算<sup>68</sup>包括许多计算步骤，这些步骤已将肺泡平台斜率考虑在内。

图 5. 气道死腔



气道死腔的正常值见表 1。

## 6 肺泡分钟通气量 (V'alv)

肺泡分钟通气量 (V'alv) 用来评估实际肺泡通气量（与分钟通气量对应）。V'alv 定义为分钟通气量与 V'Daw（气道死腔）之间的差。

并不是所有进入肺泡的气体都参与气体交换。有些气体在未灌注或低灌注的肺空间内结束交换。为了测量肺泡通气的有效性，必须从动脉血气样本中确定 PaCO<sub>2</sub> 值。混合肺泡分压和理想肺泡分压的比是肺泡有效性的一种测量方法 (Severinghaus 1957)。

V' alv 的正常值见表 1。

## 7 二氧化碳描记图形状 (slopeCO<sub>2</sub>)

肺泡平台斜率 (slopeCO<sub>2</sub>) 通过 PetCO<sub>2</sub> 二氧化碳描记图形状定义，可表示肺的容量/流量状态。

slopeCO<sub>2</sub> 的正常值见表 1。

<sup>67</sup> Aström 2000; 请参阅章节 9

<sup>68</sup> Wolff 1989, Aström 2000; 请参阅章节 9



表 1. 机械通气病人的正常或预期值举例<sup>69</sup>

说明	单位 <sup>70</sup>	正常	参考文献
气道死腔	ml BTPS	2.2 ml/kg IBW	Radford 1954
slopeCO2	%CO2/l	31324 * 潮气量 - 1.535	Aström 2000
V'CO2 <sup>71</sup>	ml/min STPD	2.6 至 2.9 ml/min/kg	Weissmann 1986, Wolff 1986
FetCO2 <sup>72</sup>	%	5.1 至 6.1%	Wolff 1986
PetCO2	mmHg	32 至 42 mmHg	www.oem.respironics.com
V'alv	l/min	0.052 至 0.070 l/min/kg	Kiiski, Takala 1994 <sup>71</sup>

## 8 公式

### 肺泡通气量 (Vtalv)

$$V_{talv} = V_t - V_{Daw}$$

### 肺泡分钟通气量 (V'alv)

$$V'_{alv} = f * V_{talv}$$

### 一次呼吸中的二氧化碳清除量 (V'CO2)

$$VCO_2 = V_{eCO_2} - V_{iCO_2}$$

### 呼出气体中的部分二氧化碳浓度 (FetCO2)

$$F_{etCO_2} = V'_{CO_2} / \text{MinVol}$$

### 呼出气体中的二氧化碳分压 (PetCO2)

$$P_{etCO_2} = F_{eCO_2} * (P_b - P_{H_2O})$$

<sup>69</sup> 这些值只是为了说明，不能取代医师指定的治疗方案。

<sup>70</sup> 大批气体容积如分钟通气量和潮气量一样在 BTPS 下测量。特殊气体容积则在 STPD 中表示。在物理教科书上可查到转换系数。

<sup>71</sup>  $V'_{CO_2} = V'_{alv} * F_{etCO_2}$

<sup>72</sup>  $F_{etCO_2} = P_{etCO_2} / (P_b - P_{H_2O})$

## 9 参考文献

- Aström E, Niklason L, Drefeldt B, Bajc M, Jonson B. Partitioning of dead space – a method and reference values in the awake human. *Eur Respir J*. 2000 Oct; 16(4):659-664.1
- Brandi LS, Bertolini R, Santini L, Cavani S. Effects of ventilator resetting on indirect calorimetry measurement in the critically ill surgical patient. *Crit Care Med*. 1999 Mar; 27(3):531-539.
- Kiiski R, Takala J, Eissa NT. Measurement of alveolar ventilation and changes in deadspace by indirect calorimetry during mechanical ventilation: a laboratory and clinical validation. *Crit Care Med*. 1991 Oct; 19(10):1303-1309.
- Noe FE. Computer analysis of curves from an infrared CO<sub>2</sub> analyzer and screen-type airflow meter. *J Appl Physiol* 1963; 18:149-157.
- Radford EP. Ventilation standards for use in artificial respiration. *N Engl J Med* 1954; 251:877-883.
- Severinghaus JW, Stupfel M. Alveolar dead space as an index of distribution of blood flow in pulmonary capillaries. *J Appl Physiol* 1957; 10:335-348.
- Weissman C, Kemper M, Elwyn DH, Askanazi J, Hyman AI, Kinney JM. The energy expenditure of the mechanically ventilated critically ill patient. An analysis. *Chest*. 1986 Feb; 89(2):254-259.
- Wolff G, Brunner JX, Weibel W, et al. Anatomical and series dead space volume: concept and measurement in clinical practice. *Appl Cardiopul Pathophysiol* 1989; 2:299-307.
- Wolff G, Brunner JX, Grädel E. Gas exchange during mechanical ventilation and spontaneous breathing. Intermittent mandatory ventilation after open heart surgery. *Chest*. 1986 Jul; 90(1):11-17.

# Руководство по эксплуатации

## Волюметрическая капнография

2020-11-30

10107270/00

© Hamilton Medical AG, 2020 г. Все права защищены. Отпечатано в Швейцарии.

Ни одна часть данной публикации не может быть воспроизведена либо сохранена в базе данных или системе поиска информации, а также передана в любой форме или любым способом – электронным, механическим, путем фотокопирования, записи или иным образом – без предварительного письменного разрешения компании Hamilton Medical AG.

Компания Hamilton Medical AG сохраняет за собой право редактировать, заменять или аннулировать данный документ в любое время без предварительного уведомления. Убедитесь, что используете последнюю версию документа. В противном случае обратитесь в отдел технической поддержки компании Hamilton Medical AG (Швейцария). Несмотря на то что приведенная в данном документе информация считается правильной, она не может заменить профессиональную оценку специалиста.

Никакие сведения в данном документе никоим образом не ограничивают права компании Hamilton Medical AG на модификацию описанного здесь оборудования или внесение в него любых других изменений (включая программное обеспечение) без предварительного уведомления. Если иное явно не оговорено в соглашении письменно, компания Hamilton Medical AG не несет перед владельцем или пользователем описанного в данном документе оборудования (включая программное обеспечение) обязательств о модификации оборудования, внесении в него каких-либо исправлений или любого другого типа изменений.

К эксплуатации, обслуживанию и модернизации оборудования допускаются только квалифицированные специалисты. Ответственность компании Hamilton Medical AG относительно оборудования и его использования определена положениями ограниченной гарантии, приведенными в *Руководстве пользователя* аппарата ИВЛ.

Компания Hamilton Medical AG не несет ответственности за любые потери, убытки, издержки, затруднения или повреждения, которые могут возникать вследствие нарушения правил эксплуатации продукта, использования для замены комплектующих стороннего производителя (не Hamilton Medical AG), а также в случаях изменения, удаления либо снятия серийных номеров.

Возвращая какие-либо компоненты в компанию Hamilton Medical AG, придерживайтесь стандартной процедуры санкционирования возвращенных товаров (RGA). При утилизации деталей соблюдайте все региональные, государственные и федеральные нормы по защите окружающей среды.

Обо всех собственных и сторонних товарных знаках, которые использует компания Hamilton Medical AG, читайте на странице [www.hamilton-medical.com/trademarks](http://www.hamilton-medical.com/trademarks). Названия продуктов и/или компаний, отмеченные знаком <sup>§</sup>, могут являться товарными знаками и/или зарегистрированными товарными знаками соответствующих владельцев, включая Aerogen<sup>§</sup>, Nihon Kohden<sup>§</sup>, Masimo<sup>§</sup>, Capnostat<sup>§</sup>, Bluetooth<sup>§</sup> и Wi-Fi<sup>§</sup>.

#### Производитель

Hamilton Medical AG  
Via Crusch 8, CH-7402 Bonaduz  
Switzerland (Швейцария)  
Тел.: (+41) 58 610 10 20  
Факс: (+41) 58 610 00 20  
[info@hamilton-medical.com](mailto:info@hamilton-medical.com)  
[www.hamilton-medical.com](http://www.hamilton-medical.com)

1	Введение .....	70
2	Три фазы волюметрической капнограммы .....	70
3	Выведение CO <sub>2</sub> («V'CO <sub>2</sub> »).....	71
4	CO <sub>2</sub> в конце выдоха («PetCO <sub>2</sub> » и «FetCO <sub>2</sub> »).....	72
5	Мертвое пространство дыхательных путей («VDдп»).....	72
6	Альвеолярная минутная вентиляция («V'альв») .....	73
7	Форма капнограммы («нарастCO <sub>2</sub> »).....	73
8	Формулы .....	74
9	Список литературы .....	75

## 1 Введение

Волюметрическая капнография позволяет оценить качество и объем вентиляции. Данные мониторинга CO<sub>2</sub> используются для получения разного рода информации (например, на их основе можно определить цельность дыхательного контура пациента и размещение эндотрахеальной трубки).

В системе аппарата ИВЛ отслеживаются следующие показатели волюметрической капнографии:

- Выведение CO<sub>2</sub> («V'CO<sub>2</sub>»)
- Парциальное давление CO<sub>2</sub> в конце выдоха («PetCO<sub>2</sub>»)
- Парциальная концентрация CO<sub>2</sub> в конце выдоха («FetCO<sub>2</sub>»)
- Мертвое пространство дыхательных путей («VD<sub>дп</sub>»)
- Альвеолярная минутная вентиляция («V'альв»)
- Форма капнограммы («нарастCO<sub>2</sub>»)

В данном руководстве приводится более подробное описание этих параметров.

Дополнительная информация о волюметрической капнографии приведена на веб-сайте [www.hamilton-medical.com](http://www.hamilton-medical.com) в разделе MyHamilton.

## 2 Три фазы волюметрической капнограммы

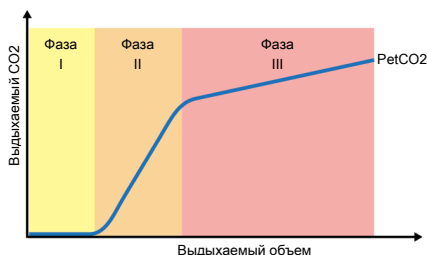
Альвеолярная концентрация углекислого газа (CO<sub>2</sub>) — это результат метаболизма, сердечного выброса, перфузии легких и вентиляции. Изменение концентрации CO<sub>2</sub> отражает нарушения любого из этих факторов или их комбинации.

Волюметрическая капнография обеспечивает непрерывный мониторинг вырабатываемого CO<sub>2</sub>, состояния вентиляции / перфузии (V/Q) и проходимости дыхательных путей, а также работы дыхательного контура аппарата ИВЛ.

CO<sub>2</sub> поступает в выдыхаемую смесь газов из трех последовательных отделений дыхательных путей, образуя на капнограмме выдоха три распознаваемые фазы. Одна кривая дыхания в волюметрической капнографии демонстрирует эти три характерные фазы изменения газовых смесей. Они относятся к той области дыхательных путей, в которой возникают.

- *Фаза I:* Газ из мертвого пространства аппарата и анатомического мертвого пространства, не содержащий CO<sub>2</sub>
- *Фаза II:* Газ, поступающий из областей, которые находятся на переходе между анатомическим и альвеолярным газовыми пространствами; получает CO<sub>2</sub> от устройств с разной скоростью перфузии и вентиляции
- *Фаза III:* (Альвеолярное плато) газ из альвеол, насыщенный CO<sub>2</sub>

Рисунок 1. Фазы волюметрической капнограммы



На основе особенностей каждой фазы можно рассчитать физиологические параметры.

### 3 Выведение CO<sub>2</sub> («V'CO<sub>2</sub>»)

Показатель выведения CO<sub>2</sub> («V'CO<sub>2</sub>») – это общий выдыхаемый объем CO<sub>2</sub>, измеряемый в миллилитрах в минуту (мл/мин). На основе измерения «V'CO<sub>2</sub>» определяется скорость метаболизма (например, высокий показатель свидетельствует о сепсисе и лихорадке), а также отслеживается эффективность лечения.

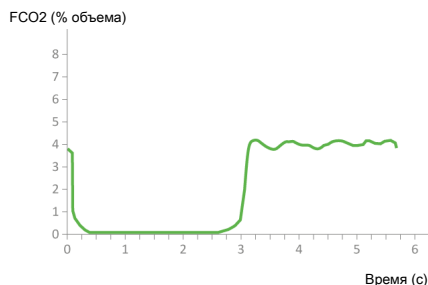
Показатель «V'CO<sub>2</sub>» высчитывается по следующей формуле: число сложенных значений «VCO<sub>2</sub>», измеренных для нескольких дыхательных циклов, делится на сумму общего времени в минутах (Noe 1963). Надлежащий анализ значений «V'CO<sub>2</sub>» возможен при условии стабильного дыхания пациента (Brandt 1999). «V'CO<sub>2</sub>» является показателем выведения CO<sub>2</sub>, однако не обязательно указывает на вырабатываемый объем «CO<sub>2</sub>». *Допустимые* значения «V'CO<sub>2</sub>» см. в таблице 1.

Чтобы преобразовать контролируруемую по времени капнограмму в объемную, показатель «CO<sub>2</sub>» необходимо совместить с потоком.

Наложив графики FetCO<sub>2</sub>/времени (рисунок 2) и потока/времени (рисунок 3), можно определить объем CO<sub>2</sub>, выдыхаемый за один цикл (рисунок 4).

Область под кривой выдоха с вычетом области под кривой вдоха является чистым объемом CO<sub>2</sub>, который выводится из легких за один дыхательный цикл («VCO<sub>2</sub>»).

Рисунок 2. Типичная капнограмма пациента при вентиляции с управлением по давлению с отображением значений FCO<sub>2</sub> по отношению к временной шкале <sup>73</sup>



<sup>73</sup> Вдох начинается при показателе времени 0, выдох – приблизительно при 2,75 сек. Обратите внимание, что выдыхаемая газовая смесь изначально содержит CO<sub>2</sub> (повторное вдыхание) из искусственного мертвого пространства.

Рисунок 3. Типичная спирограмма пациента при вентилиции с управлением по давлению<sup>74</sup>

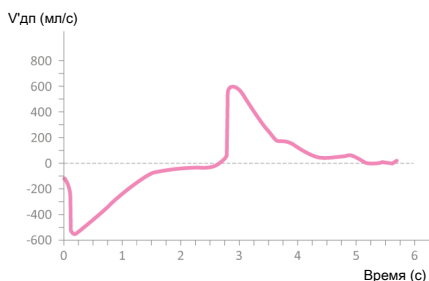
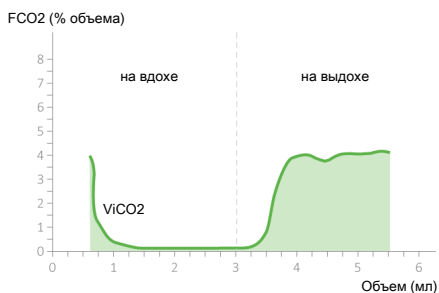


Рисунок 4. Комбинация капнограммы и спирограммы (парциальная концентрация CO<sub>2</sub> в конце выдоха по отношению к объему)<sup>75</sup>



## 4 CO<sub>2</sub> в конце выдоха («PetCO<sub>2</sub>» и «FetCO<sub>2</sub>»)

«CO<sub>2</sub>» в конце выдоха – максимальное парциальное давление «CO<sub>2</sub>» на этапе выдоха, измеренное непосредственно перед началом вдоха. Значение этого параметра представляет конечную порцию воздуха, которая была задействована в газообмене в альвеолярной зоне, и в некоторых случаях коррелирует с парциальным давлением «CO<sub>2</sub>» в артериальной крови.

«CO<sub>2</sub>» в конце выдоха измеряется как парциальное давление («PetCO<sub>2</sub>») или парциальная концентрация CO<sub>2</sub> в сухой газовой смеси («FetCO<sub>2</sub>»).

*Допустимые значения «PetCO<sub>2</sub>» и «FetCO<sub>2</sub>» см. в таблице 1.*

## 5 Мертвое пространство дыхательных путей («VDдп»)

Последовательное измерение анатомического мертвого пространства или мертвого пространства дыхательных путей («VDдп») является эффективным клиническим методом определения объема, утраченного в дыхательных путях. Это газ из мертвого пространства аппарата и анатомического мертвого пространства, не содержащий CO<sub>2</sub>.

<sup>74</sup> Поток к пациенту (вдох) имеет отрицательные значения на графике, поток от пациента (выдох) проходит в области положительных значений. Кривая потока на выдохе является экспоненциальной кривой спада. Обратите внимание, что у пациентов со спонтанным дыханием кривые потока могут иметь другую форму.

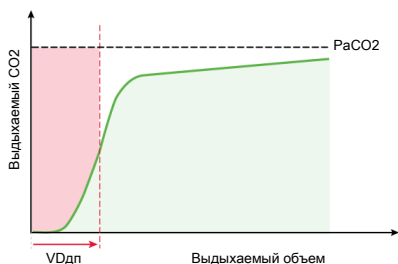
<sup>75</sup> ViCO<sub>2</sub> – объем вдыхаемого CO<sub>2</sub>, VeCO<sub>2</sub> – объем выдыхаемого CO<sub>2</sub>. Общий показатель выведения CO<sub>2</sub> определяется по формуле: VeCO<sub>2</sub> – ViCO<sub>2</sub>. ViCO<sub>2</sub> с отрицательным объемом, который указывает на повторное вдыхание CO<sub>2</sub>, не учитывается.



Относительное увеличение объема мертвого пространства указывает на развитие дыхательной недостаточности и учитывается при оценке текущего состояния пациента.

Используя метод Aström<sup>76</sup>, значение «VDдп» можно рассчитать как наименьшее измеряемое мертвое пространство. В исследовательских работах<sup>77</sup> приведен ряд вычислений с учетом подъема альвеолярного плато.

Рисунок 5. VDдп



Допустимые значения «VDдп» см. в таблице 1.

## 6 Альвеолярная минутная вентиляция («V'альв»)

Альвеолярная минутная вентиляция («V'альв») позволяет установить фактическую альвеолярную вентиляцию (в противоположность минутной). Значение «V'альв» – это разница между показателем минутной вентиляции и «VDдп» (мертвое пространство дыхательных путей).

Не все газы, которые поступают к альвеолам, участвуют в газообмене.

Поступление некоторых газов происходит в неперфузируемые или недостаточно перфузируемые участки легких. Чтобы оценить эффективность альвеолярной вентиляции, необходимо определить значение «PaCO<sub>2</sub>» в артериальной крови. Коэффициент идеального соотношения альвеолярного парциального давления является критерием эффективности альвеолярной вентиляции (Severinghaus 1957).

Допустимые значения «V'альв» см. в таблице 1.

## 7 Форма капнограммы («нарастCO<sub>2</sub>»)

Подъем альвеолярного плато («нарастCO<sub>2</sub>») определяется по форме капнограммы «PetCO<sub>2</sub>» и указывает на показатели объема/потока в легких.

Допустимые значения «нарастCO<sub>2</sub>» см. в таблице 1.

<sup>76</sup> Aström 2000; см. раздел 9

<sup>77</sup> Wolff 1989, Aström 2000; см. раздел 9

Таблица 1. Примеры допустимых (ожидаемых) значений у пациентов при механической вентиляции легких <sup>78</sup>

Описание	Единица измерения <sup>79</sup>	Допустимое значение	Источник
VDдп	мл ВTPS	2,2 мл/кг (ИдВес)	Radford 1954
нарастCO2	%CO2/л	31324*Vt – 1,535	Aström 2000
V'CO2 <sup>80</sup>	мл/мин STPD	2,6–2,9 мл/мин/кг	Weissmann 1986, Wolff 1986
FetCO2 <sup>81</sup>	%	5,1–6,1 %	Wolff 1986
PetCO2	ммРтСт	32–42 ммРтСт	www.oem.respironics.com
V'альв	л/мин	0,052–0,070 л/мин/кг	Kiiski, Takala 1994 <sup>80</sup>

## 8 Формулы

### Альвеолярный дыхательный объем («V<sub>тальв</sub>»)

$$V_{\text{тальв}} = V_t - VD_{\text{дп}}$$

### Альвеолярная минутная вентиляция («V'альв»)

$$V'_{\text{альв}} = ЧД * V_{\text{тальв}}$$

### Объем выведения CO<sub>2</sub> в одном цикле («VCO<sub>2</sub>»)

$$VCO_2 = V_e CO_2 - V_i CO_2$$

### Парциальная концентрация CO<sub>2</sub> в выдыхаемой газовой смеси («FeCO<sub>2</sub>»)

$$F_{eCO_2} = V'CO_2 / \text{Минобъ}$$

### Парциальное давление CO<sub>2</sub> в выдыхаемой газовой смеси («PeCO<sub>2</sub>»)

$$P_{eCO_2} = F_{eCO_2} * (P_b - PH_2O)$$

<sup>78</sup> Эти значения приведены исключительно для наглядности и не могут заменять предписанный врачом курс лечения.

<sup>79</sup> Суммарные объемы газовой смеси, например объем минутной вентиляции и дыхательный объем, обычно измеряются в условиях ВTPS. Некоторые газовые объемы представлены при стандартных условиях. Коэффициенты пересчета можно найти в учебной литературе по физике.

<sup>80</sup>  $V'CO_2 = V'_{\text{альв}} * F_{eCO_2}$

<sup>81</sup>  $F_{eCO_2} = P_{eCO_2} / (P_b - PH_2O)$

## 9 Список литературы

- Aström E, Niklason L, Drefeldt B, Bajc M, Jonson B. Partitioning of dead space – a method and reference values in the awake human. *Eur Respir J.* 2000 Oct; 16(4):659-664.1
- Brandi LS, Bertolini R, Santini L, Cavani S. Effects of ventilator resetting on indirect calorimetry measurement in the critically ill surgical patient. *Crit Care Med.* 1999 Mar; 27(3):531-539.
- Kiiski R, Takala J, Eissa NT. Measurement of alveolar ventilation and changes in deadspace by indirect calorimetry during mechanical ventilation: a laboratory and clinical validation. *Crit Care Med.* 1991 Oct; 19(10):1303-1309.
- Noe FE. Computer analysis of curves from an infrared CO<sub>2</sub> analyzer and screen-type airflow meter. *J Appl Physiol* 1963; 18:149-157.
- Radford EP. Ventilation standards for use in artificial respiration. *N Engl J Med* 1954; 251:877-883.
- Severinghaus JW, Stupfel M. Alveolar dead space as an index of distribution of blood flow in pulmonary capillaries. *J Appl Physiol* 1957; 10:335-348.
- Weissman C, Kemper M, Elwyn DH, Askanazi J, Hyman AI, Kinney JM. The energy expenditure of the mechanically ventilated critically ill patient. An analysis. *Chest.* 1986 Feb; 89(2):254-259.
- Wolff G, Brunner JX, Weibel W, et al. Anatomical and series dead space volume: concept and measurement in clinical practice. *Appl Cardiopul Pathophysiol* 1989; 2:299-307.
- Wolff G, Brunner JX, Grädel E. Gas exchange during mechanical ventilation and spontaneous breathing. Intermittent mandatory ventilation after open heart surgery. *Chest.* 1986 Jul; 90(1):11-17.











For more information:  
[www.hamilton-medical.com](http://www.hamilton-medical.com)



# **HAMILTON** **MEDICAL**

Intelligent Ventilation since 1983

Hamilton Medical AG

Via Crusch 8, 7402 Bonaduz, Switzerland

☎ +41 (0)58 610 10 20

info@hamilton-medical.com

**[www.hamilton-medical.com](http://www.hamilton-medical.com)**