

¿Sabías qué?

Número 2. Febrero 2021

Capnografía

Introducción

La capnografía es la representación gráfica de los patrones de eliminación de CO₂ en relación con el tiempo. Es un tipo de monitoreo no invasivo que permite la medición continua del CO₂ en la vía aérea durante la inspiración y la espiración¹. Es una herramienta fundamental en el monitoreo de los pacientes con afecciones respiratorias o sometidos a algún tipo de agente anestésico. El capnograma contiene información que ayuda al profesional a guiar la terapéutica, ver Figura 1.

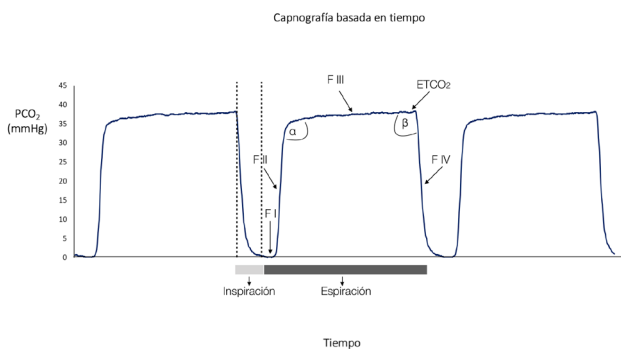


Figura 1: Capnografía basada en tiempo de un paciente sin patología pulmonar. F I: fase 1, representa el inicio de la espiración, una porción de la exhalación libre de CO₂ proveniente de la vía aérea y del instrumental; F II: fase 2, se conoce como etapa de transición entre el vaciado de la vía aérea y el inicio del vaciado de unidades con distintos grados de ventilación y perfusión; F III: fase 3, gas alveolar puro; F IV: fase 4, representa el inicio de la inspiración; α: es el ángulo de intersección entre F II y F III; β: es el ángulo entre F III y F IV, no contiene información relevante. **Fuente:** Elaboración propia.

La medición del CO₂ exhalado aporta información fisiológica sobre cambios en el metabolismo, la circulación, y la ventilación. Su correcta interpretación resulta imprescindible para tomar las conductas adecuadas y sacar el máximo provecho a la medición. Para comprender mejor la información que aporta, es de suma importancia tener clara la cinética del CO₂ en el organismo.

¿Cómo se mueve el CO₂ en el organismo?

El CO₂ es un producto del metabolismo celular, se vuelca en la sangre y es transportado por el torrente sanguíneo hacia su vía de eliminación final, mediante la ventilación en los pulmones².

Es por esto que la capnografía brinda información sobre ver (Figura 2)

- Cambios en el metabolismo: producción de CO₂ a nivel celular.
- Cambios en la circulación: la sangre es el

“transportador” del CO₂ que se produce en los tejidos.

- Cambios en la ventilación: la ventilación alveolar constituye la vía de eliminación final del CO₂ generado a nivel celular.

Todo el CO₂ producido en el organismo es eliminado mediante la ventilación alveolar, la producción de CO₂ se puede calcular como:

$$VCO_2 = FACO_2 \times V\dot{E}$$

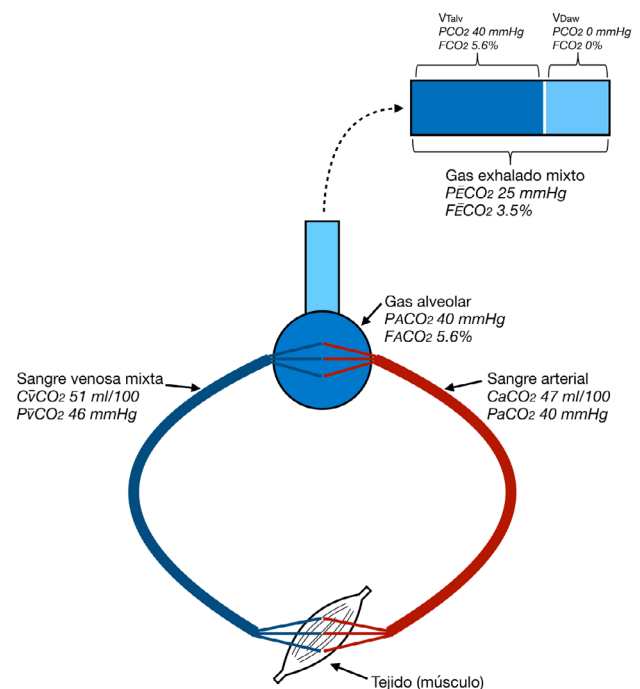


Figura 2: Representación esquemática de cómo llega el CO₂ a los pulmones, los valores son ejemplos de lo que sería un individuo normal. El CO₂ se produce en los tejidos, se vuelca en la sangre, y llega a través de la arteria pulmonar a los pulmones. Una vez en los capilares pulmonares, el CO₂ mediante difusión simple atraviesa la membrana alvéolo capilar y es eliminado mediante la espiración. La diferencia entre el CO₂ venoso mixto y el CO₂ arterial representa la VCO₂ (producción de CO₂). La diferencia entre el CO₂ alveolar y el CO₂ exhalado (gas exhalado mixto) es producto del efecto dilucional generado por el espacio muerto (para simplificar la comprensión, solo se graficó el espacio muerto de la vía aérea). CvCO₂: contenido venoso mixto de CO₂, PvCO₂: presión venosa mixta de CO₂, CaCO₂: contenido arterial de CO₂, PaCO₂: presión arterial de CO₂, PAO₂: presión alveolar de CO₂, FAO₂: fracción alveolar de CO₂, PECO₂: presión espirada mixta de CO₂, FECO₂: fracción espirada mixta de CO₂, VTalv: volumen corriente alveolar, VDaw: espacio muerto de la vía aérea. **Fuente:** Elaboración propia.

donde VCO₂ es producción de CO₂, FACO₂ es la fracción alveolar de CO₂, y VE es la ventilación minuto alveolar. Se desprende de la ecuación

anterior que

$$FACO_2 = VCO_2 / VE$$

Por último

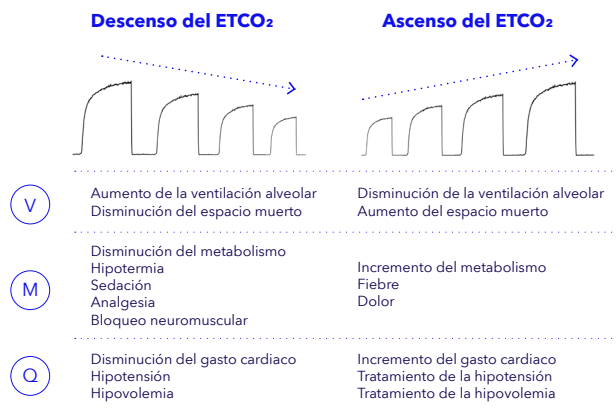
$$PACO_2 = (PB - 47 \text{ mmHg}) \cdot FACO_2$$

donde $PACO_2$ es la presión alveolar de CO_2 , PB es la presión barométrica, y 47 mmHg es la presión de vapor de agua.

Una herramienta de monitoreo dinámica

En estado estacionario la cantidad de CO_2 excretado por los pulmones es exactamente igual a la cantidad de CO_2 producida en los tejidos periféricos. Debido a que tanto cambios en el metabolismo, como cambios en el gasto cardíaco o en la ventilación alveolar afectan la eliminación de CO_2 , el estado estacionario se pierde continuamente en el paciente crítico.

Esta característica constituye uno de los mayores desafíos a la hora de la interpretación correcta de la capnografía, y una de las claves de su alto valor como herramienta de monitoreo. (Ver esquema 1)



Esquema 1: Variaciones en el $EtCO_2$ como consecuencia de cambios en la ventilación (V), el metabolismo (M), o, la perfusión pulmonar/gasto cardíaco (Q). **Fuente:** Elaboración propia.

Una vez que el CO_2 llega a los pulmones, se transfiere por difusión pasiva hacia el compartimento alveolar, donde la concentración del gas es menor. Esta transferencia se va a dar en todas aquellas unidades alveolares que estén ventiladas (V) y perfundidas (Q). La relación V/Q de cada unidad alveolar es el principal determinante de la cantidad de moléculas de CO_2 que difunden la membrana alvéolo-capilar.

Una vez que el CO_2 llega al compartimento alveolar, se genera un nuevo gradiente de presión de CO_2 , esta vez entre el gas del compartimento alveolar y el gas de las vías aéreas. La ventilación se encarga de mantener este gradiente removiendo continuamente gas del compartimento alveolar.

El gradiente entre $PaCO_2$ y $EtCO_2$

El monitoreo de los cambios en la presión de CO_2 de fin de espiración, conocida como $EtCO_2$ por sus siglas en inglés, es un estándar de cuidado durante la anestesia.

En pulmones normales, la brecha entre la presión arterial de CO_2 ($PaCO_2$), y el $EtCO_2$ es mínima, generalmente menor a 4 mmHg. Es por esto que habitualmente se utiliza el $EtCO_2$ como un subrogado de la $PaCO_2$. Pero, esta brecha $Pa-EtCO_2$ aumenta con la edad, y, fundamentalmente, con la enfermedad pulmonar. De manera similar al conocido índice A-a, que se utiliza habitualmente para conocer la diferencia alvéolo-arterial de O_2 , la diferencia arterio- $EtCO_2$, conocida como el índice $Pa-EtCO_2$, es sensible al shunt y a la admisión venosa.

De esta manera, aquellas situaciones o enfermedades que cursen con colapso u ocupación alveolar, se caracterizan por tener un índice $Pa-EtCO_2$ aumentado, pudiendo llegar a 20 mmHg en un paciente en ventilación mecánica con síndrome de distress respiratorio agudo severo (SDRA)^{3,4}. Es por esto que terapéuticas o maniobras tendientes a revertir el colapso pulmonar y mejorar la aireación del mismo, van a disminuir esta diferencia $Pa-EtCO_2$ previamente aumentada⁵. La brecha $Pa-EtCO_2$ también es sensible a cambios en el espacio muerto, como ocurre por ejemplo en situaciones de caída del gasto cardíaco, o como consecuencia de una excesiva presión alveolar con compresión de capilares, típico de un paciente con SDRA

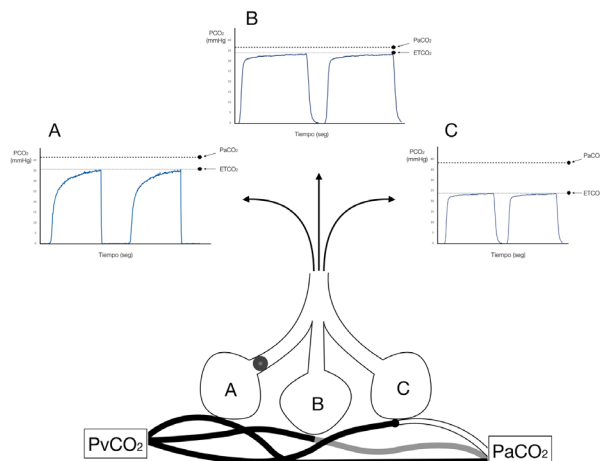


Figura 4: capnogramas y relación entre $PaCO_2$ y $EtCO_2$ de acuerdo a cuál es el mecanismo de alteración de V/Q predominante. El clásico modelo de tres compartimentos propuesto por Riley muestra 3 unidades con diferentes relación V/Q, A) unidad de shunt, B) unidad normal, y C) unidad de espacio muerto. En la parte de arriba de la figura se muestran los 3 capnogramas teóricos resultantes derivados de pulmones en los que predominan unidades de shunt (A), pulmones sin patología pulmonar en los que predominan unidades con V/Q normal (B), y, por último pulmones en los que predominan unidades de espacio muerto (C). La morfología del capnograma, como la brecha $Pa-EtCO_2$, de los ejemplos A y C, son claramente diferentes al ejemplo B. **Fuente:** Elaboración propia.

en ventilación mecánica^{6,7}.

En la Figura 4 vemos la relación entre PaCO₂ y EtCO₂ con sus respectivos capnogramas teóricos, de acuerdo a cuál es el mecanismo de alteración V/Q que predomina.

Obtención de la señal y equipamiento

De acuerdo con la tecnología mediante la cuál se obtiene la señal, encontramos dos tipos de capnógrafos de infrarrojos, los capnógrafos de flujo central conocidos como "mainstream", y los capnógrafos de flujo lateral conocidos como "sidestream".

- Tecnología mainstream: el sensor o capnostato se encuentra en el mismo lugar en el que se obtiene la muestra de gas. La celda por donde pasa la muestra, conocida como "cubeta", sirve como adaptador para la vía aérea y está ubicada en línea con la corriente de gas ventilatorio. La cubeta se conecta directamente a la fuente de infrarrojos conocida como capnostato.
- Tecnología sidestream: los analizadores de gas de corriente lateral utilizan un tubo plástico de muestreo, llamado línea de muestreo, conectado a un adaptador en el circuito paciente del ventilador, o a un catéter nasal en los pacientes no intubados. El gas de muestreo se aspira continuamente a través de la línea de muestreo y es llevado a la celda de muestra dentro del monitor, a tasas de flujo que varían entre 50 a 250 ml/min (dependiendo de la marca del equipo principalmente).

Las diferencias entre los capnógrafos mainstream y sidestream se detallan en la Tabla 1.

La principal ventaja de los sensores de flujo lateral o "sidestream", es que permiten el monitoreo de pacientes que no están intubados⁸. Esto es debido a que sólo utilizan una pequeña muestra del gas

Característica	Mainstream	Sidestream
Localización del sensor	Conector directo en la vía aérea	En el monitor
Componentes requeridos para tomar la muestra	Cubeta o celda	Adaptador a vía aérea, tubo de muestreo, trampa de agua, filtro.
Volumen de muestreo extraído	No aplica	Entre 50 y 250 ml/min*
Tamaño del conector	Adulto, pediátrico, neonatal**	Adulto, pediátrico, neonatal**
Demora para la gráfica	No tiene	Menor a 300 milisegundos
Precisión de la gráfica	Excelente	Variable
Cambios en la presión de vapor de agua	No lo afectan	Afectado por la condensación
Manejo de la humedad	El sensor es calentado para evitar la condensación	Varias formas, depende del fabricante: trampas de agua al ingreso al monitor, tubo de muestra permeable al vapor de agua, filtros hidrofóbicos

Tabla 1: Principales diferencias entre capnógrafos mainstream y sidestream. * Depende del fabricante, los únicos que podrían ser utilizados en pacientes neonatos son los que toman una muestra de 50 ml/min. ** El volumen interno de los conectores depende también del fabricante, existen conectores con un volumen tan pequeño como 1 ml. **Fuente:** Elaboración propia.



exhalado, que es succionada continuamente por una diminuta bomba que lleva la muestra hacia el analizador, generalmente ubicado en el monitor.

Los equipos más modernos aspiran gas a tasas mínimas (50 ml/min), por esto se los conoce como "microstream". Esta baja tasa de flujo permite su utilización en pacientes neonatos (ver Figura 5).

Este tipo de tecnología es de extrema utilidad en aquellos procedimientos anestésicos en los que el paciente no está intubado. Debido a que permite un monitoreo preciso y en tiempo real del patrón y la regularidad de la ventilación, así como también del EtCO₂, sirviendo de alerta temprana ante una situación de hipoventilación o, interrupción de la ventilación.

Esta herramienta de monitoreo ha sido incluida en las recomendaciones de la ASA⁹ sobre el monitoreo durante la sedación moderada o profunda, así como en las guías de la ASGE¹⁰ para sedación y anestesia en procedimientos endoscópicos gastrointestinales.



Figura 5: Capnostream™ 35 Portable Respiratory Monitor. Con tecnología Microstream

Tutorial interactivo
Soluciones habituales en la práctica clínica



Emiliano Gogniat

- Senior Clinical Specialist Respiratory & Monitoring Solutions, Medtronic
- Lic. en Kinesiología y Fisiatría. Universidad de Buenos Aires.
- Especialista en Kinefisiatría Respiratoria Crítica. Universidad Nacional de San Martín.
- Subdirector del Comité de Neumología Crítica de la Sociedad Argentina de Terapia Intensiva
- Director del Curso Superior de Kinesiología en Cuidados Intensivos de la Sociedad Argentina de Terapia Intensiva
- Miembro del Capítulo de Kinesiología Intensivista de la Sociedad Argentina de Terapia Intensiva.

Referencias

1. Siobal M. Monitoring Exhaled Carbon Dioxide. *Respir Care* 2016; 61(10): 1397-1416.
2. Kreimeier P, Böhm S, Tusman G. Clinical use of volumetric capnography in mechanically ventilated patients. *J Clin Monit Comput.* 2020 Feb; 34 (1): 7-16.
3. Gogniat E, Ducrey M, Dianti J, et al. Dead space analyst at different levels of positive end-expiratory pressure in acute respiratory distress syndrome *Crit Care.* 2018 Jun; 45:231-238.
4. Doorduyn J, Nollet J, Vugts M, et al. Assessment of dead-space ventilation in patients with acute respiratory distress syndrome: a prospective observational patients. *J study. Crit Care.* 2016 May 5; 20 (1): 121.
5. Tusman G, Suarez-Sipmann F, Böhm S, et al. Capnography reflects ventilation / perfusion distribution in a model of acute lung injury. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2011 May; 55(5): 597-606.
6. Tusman G, Gogniat E, Madorno M, et al. Effect of PEEP on Dead Space in an Experimental Model of ARDS. *Respir Care.* 2020 Jan; 65(1): 11-20.
7. Tusman G, Suarez-Sipmann F, Paez G, et al. States of low pulmonary blood flow can be detected non-invasively at the bedside measuring alveolar dead space. *Clin Monit Comput.* 2012 Jun; 26(3): 183-90.
8. Krauss B, Hess DR. Capnography for procedural sedation and analgesia in the emergency department. *Ann Emerg Med* 2007; 50(2):172-81.
9. Weaver J. The latest ASA mandate: CO₂ monitoring for moderate and deep sedation. *Anesth Prog.* Fall 2011; 58(3): 111-2.
10. Early D, Lightdale J, Vargo J. Guidelines for sedation and anesthesia in GI endoscopy. *Gastrointest Endosc.* 2018 Feb; 87 (2):327-337.

Contenido sólo para profesionales de la salud.

© 2022 Medtronic. Reservados todos los derechos. Medtronic, el logo de Medtronic y Otros, son en conjunto, marcas registradas de Medtronic. Todas las demás marcas son marcas registradas de una compañía Medtronic. Covidien es una compañía que forma parte del grupo Medtronic.

Medtronic