

Monitoreo respiratorio. Capnografía

Dr. Jaime Pablo A Ortega-García*

* Centro Médico ABC.

Los anestesiólogos somos pioneros en implementar herramientas y estándares de seguridad en la comunidad médica. En Estados Unidos, desde 1985 a la fecha, han disminuido drásticamente las demandas por mala praxis de anestesiólogos; tal disminución no ha sido vista en ninguna otra especialidad médica o quirúrgica en este mismo lapso de tiempo; gracias a muchas asociaciones de anestesiólogos, la capnografía fue incorporada al estándar de monitoreo durante la anestesia, para mejorar así la seguridad del paciente.

La capnografía ha llegado a ser parte integral de los cuidados de anestesia en sala de operaciones por más de 25 años; este valor se limita a estas situaciones y todavía no se eleva más allá de este confinamiento. No es raro en nuestra práctica, observar un paciente que estuvo intubado y con ventilación mecánica, originalmente monitoreado con capnografía, ser trasladado a la UTI sin capnógrafo.

Muchas UTIS no tienen capnografía para confirmar la correcta intubación endotraqueal y continuar el monitoreo de la ventilación. En muchos casos no se usa para la sedación porque no hay una sociedad que se encargue de procedimientos fuera del quirófano.

La tecnología infrarroja es el método más común y efectivo en cuanto a costos para medir el bióxido de carbono y monitorearlo. Se han hecho esfuerzos por disminuir el tiempo de respuesta e incrementar la exactitud y la tecnología infrarroja para producir ondas de capnografía superiores, sobre todo en prematuros con pequeños volúmenes corrientes y altas frecuencias.

Los valores del bióxido de carbono son usualmente mostrados como presión parcial (PCO_2). Dependiendo de la localización de las mediciones de bióxido de carbono en el aparato, hay dos tipos de sensores de corriente central y lateral. En los sensores de corriente central, el sensor está colocado entre el tubo traqueal y el circuito respiratorio y las mediciones de bióxido de carbono se hacen a través de la

vía aérea. En los de corriente lateral, los gases son aspirados a través de un adaptador y una línea de muestreo al monitor de sensor infrarrojo.

Un capnograma convencional en adultos resulta de una forma más o menos idéntica en todos los individuos saludables; cualquier variación requiere de un análisis para determinar la causa fisiológica o patológica de la variación. Las formas de las ondas de bióxido de carbono pueden ser graficadas contra el tiempo (tiempo de capnograma) o contra el volumen expirado (capnograma volumétrico).

El capnograma de tiempo es usado más comúnmente en la práctica clínica. El capnograma de tiempo tiene dos importantes segmentos: fase inspiratoria y fase expiratoria; el segmento expiratorio se divide en 3 fases (I, II, III) y una fase ocasional (IV), basada en la fisiología de la evolución del bióxido de carbono del pulmón a las vías aéreas.

La fase I no contiene bióxido de carbono espirado (gases de espacio muerto). En la fase II la PCO_2 se eleva rápidamente cuando el gas alveolar desplaza al del espacio muerto. La fase III es la meseta alveolar que representa la evolución de bióxido de carbono en los alveolos; si esta PCO_2 es pareja en todos los alveolos como la meseta alveolar será perfectamente plana.

En realidad, las alteraciones de la relación ventilación/perfusión se presentan en esta etapa. Usualmente, los alveolos con relaciones V/Q bajas y con mayores constantes de tiempo (contienen relativamente más bióxido de carbono) contribuyen a la parte tardía de la fase III; esto resulta en una ligera inclinación hacia arriba de la meseta. Por consiguiente, la inclinación de esta fase representa indirectamente el estatus de V/Q de los pulmones. La altura e inclinación de la meseta alveolar da información importante acerca de la ventilación y perfusión y más importantemente de la relación ventilación-perfusión.

Cuando esta variación es sustancial, los cambios en V/Q resultan en cambios en el calibre de la vía aérea; la inclinación de la fase III es exagerada y puede ser asociada con una fase

Este artículo puede ser consultado en versión completa en <http://www.medigraphic.com/rma>

II prolongada. Bajo estas circunstancias, el ángulo entre fase II y fase III (ángulo α), el cual es generalmente de 100° se incrementa. El efecto terapéutico de los broncodilatadores puede ser juzgado por los cambios en la fase II, fase III y ángulo α .

La altura de la meseta alveolar relaciona el gasto cardíaco y ventilación alveolar. A una ventilación dada, la altura de la meseta alveolar aumenta o disminuye con cambios abruptos en el gasto cardíaco. El máximo PCO_2 al final de la espiración se muestra como un valor numérico y se llama PCO_2 al final de la espiración ($PETCO_2$). Los valores varían 35-40 mmHg. Al final de la Fase III, la PCO_2 disminuye rápidamente a 0, quedando el bióxido de carbono como gas libre inhalado durante la inspiración.

El ángulo entre la fase III y la caída inspiratoria es generalmente de 90° (ángulo β); sin embargo, ese ángulo se incrementa en presencia de reinhalación. Ocasionalmente, al final de la fase III puede presentar una «cresta» generalmente vista en capnogramas de niños, embarazadas, obesos llamada fase IV. El rápido vaciamiento inicial de los compartimientos del gas alveolar es responsable del inicio horizontal de la fase III; sin embargo, cuando el flujo espiratorio disminuye al final de ésta, el contenido del bióxido de carbono del aire espirado se incrementa marcadamente y produce una elevación (cresta) en la parte terminal del trazo.

Esto sucede porque en la parte final de la espiración, el retraso del vaciamiento alveolar resulta en mayores concentraciones de bióxido de carbono debido a la continua liberación de CO_2 dentro de los alveolos. Normalmente, los gases alveolares con alto bióxido de carbono permanecen dentro de las vías aéreas y no son analizados por el sensor cercano a la boca. Sin embargo, el uso de grandes volúmenes corrientes y baja frecuencia ventilatoria propician que sean registradas concentraciones altas de bióxido de carbono.

Cuando la PCO_2 es graficada contra volumen espirado en un capnograma de volumen, la forma de la onda se relaciona a varios componentes del volumen corriente. En ambos tipos de capnogramas de tiempo y volumen, la diferencia entre la $PaCO_2$ y la $PETCO_2$ puede ser relacionada al espacio muerto fisiológico.

La información clínica puede ser obtenida de tres fuentes en capnografía, valores numéricos de $PETCO_2$, las gráficas del capnograma y la diferencia entre $PETCO_2$ y $PaCO_2$. Valores numéricos deben ser usados como herramienta en el diagnóstico diferencial. La forma del capnograma ofrece un diagnóstico más específico. Es difícil usar la capnografía como una herramienta diagnóstica por sí misma y debe interpretarse en un contexto clínico. El aumento del gradiente $PaCO_2$ - $PETCO_2$ habla de incremento del espacio muerto.

EL ESTADO ACTUAL DE LA CAPNOGRAFÍA FUERA DE LA SALA DE OPERACIONES

Algunas asociaciones han revisado y recomendado el uso de la capnografía fuera del quirófano. Estudios han relacionado

morbilidad y mortalidad con su escasa utilización en las unidades de terapia y en la reanimación cardiopulmonar.

Con el aumento de procedimientos bajo sedación en múltiples departamentos del hospital, incluso muchos de éstos llevados a cabo por personal no anestesiólogo, es bien conocido que la hipoxia ocurre con suma frecuencia y lejos del personal de sala de operaciones. Es necesario estandarizar monitoreo y reevaluar.

Se han comenzado a sugerir estándares de monitoreo con capnografía para ventilación en procedimientos para sedación, dado el crecimiento importante de procedimientos bajo sedación en imagenología, endoscopia, sala de emergencias, etc. Cada vez son más recomendados los estándares con capnografía aunque ésta no esté todavía del todo aceptada (gráficas de capnogramas para sedación).

Las guías para apoyo vital cardíaco avanzado (ACLS) del 2010 recomiendan el uso de capnografía cuantitativa no sólo para confirmar la colocación de tubo endotraqueal, sino para monitorear la efectividad de las compresiones en tórax. Para una ventilación dada en situación de gravedad la $PETCO_2$ sirve como un monitor indirecto de gasto cardíaco generado por compresiones en tórax. El regreso de la circulación es difícil valorar pero es claramente demostrado sobre las mediciones en la capnografía por un abrupto incremento en el valor $PETCO_2$ y detectar una mala posición del tubo endotraqueal antes que la oximetría de pulso.

En Gran Bretaña también se ha recomendado su uso en este tipo de situaciones. Durante la reanimación cardiopulmonar el trazo de la capnografía no debe ser plano; debe haber ondas positivas en el trazo. Un trazo plano alerta acerca de la colocación del tubo endotraqueal. Se ha demostrado que pacientes que regresan a circulación espontánea tienen una significativa elevación del $PETCO_2$; comparado con los que no tienen circulación espontánea es difícil dar un valor pronóstico a los valores $PETCO_2$ durante CPR porque hay que correlacionarlo con las patologías que llevan a esta situación. Sin embargo, hay evidencia que el $PETCO_2$ durante el CPR puede ser usado como un predictor de sobrevivencia. Valores de 10 mmHg o menos, en 20 minutos después de la iniciación del ACLS predicen muerte en pacientes en paro: la clave para el valor pronóstico es relacionar tiempo contra $PETCO_2$ después de la iniciación del CPR; entre mayor sea la $PETCO_2$ mas de 20 mmHg mayor la posibilidad de recuperar circulación espontánea.

En Francia, las guías para la iniciación del apoyo vital extracorpóreo en pacientes con paro refractario indican que los valores de $PETCO_2$ debe ser iguales o superiores a 10 mmHg durante CPR.

A pesar de que muchos intensivistas reconocen el valor de la capnografía, no se ha podido implementar como monitor de ventilación en forma rutinaria en las Unidades de Cuidados Intensivos (ICUS).

Su uso en esta área varía de 22 a 64 por ciento, es más frecuente en países europeos a pesar de la falta de

evidencia directa del valor de la capnografía durante la ventilación rutinaria en las Unidades de Cuidados Intensivos; al menos, detecta la mala posición del tubo endotraqueal con anticipación para poder actuar. El uso de la capnografía va en incremento y se espera que se aporten más evidencias de su efectividad en las Unidades de Cuidados Intensivos.

El uso de la capnografía está destinado para muchos otros lugares fuera del quirófano; otros especialistas están cada vez más conscientes del valor de la seguridad que confiere al paciente.

En cuanto a nuevas tecnologías en la monitorización de bióxido de carbono está el monitoreo transcutáneo de bióxido de carbono, considerado por su exactitud y su estimación clínicamente aceptable de la PaCO_2 ; nuevas mediciones han sido investigadas, incluyendo volumen exhalado de dióxido de carbono por ventilación (VCO_2 2br), la modificación de Fournier del espacio muerto anatómico ($\text{VD}_{\text{anatómico}}$) y el promedio de PCO_2 espirado alveolar (PAECO_2); el espirograma de bióxido de carbono.

Estas medidas pueden aumentar la detección clínica y el entendimiento de patología cardiovascular y pulmonar adversa en un estado dinámico.

REFERENCIAS

1. Bhavami Shankar K. Capnography outside the operating rooms. *Anesthesiology*. 2013;118:192-201.
2. Falk JL, Rackow EC, Weil MH. End-tidal carbon dioxide concentration during cardiopulmonary resuscitation. *N Engl J Med*. 1988;318:607-611.
3. Whitaker DK. Time for capnography—everywhere. *Anesthesia*. 2011;66:544-549.
4. Bhavami Shankar K, Philip JH. Defining segments and phases of a time capnogram. *Anesth Analg*. 2000;91:973-977.
5. Tautz TJ, Urwyler A, Antognini JF, Riou B. Case scenario: increased end-tidal carbon dioxide: a diagnostic dilemma. *Anesthesiology*. 2010;112:440-446.
6. Sacchetti A, Senula G, Strickland J, Dubin R. Procedural sedation in the community emergency department: Initial results of the ProSCED registry. *Acad Emerg Med*. 2007;14:41-46.
7. Pino RM. The nature of anesthesia and procedural sedation outside of the operating room. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2007;20:347-351.
8. Waugh JB, Epps CA, Khodneva YA. Capnography enhances surveillance of respiratory events during procedural sedation: a meta-analysis. *J Clin Anesth*. 2011;23:189-196.