

Guías de Práctica Clínica de la AARC

Capnografía / capnometría durante la Ventilación Mecánica

CKPC- Revisión y actualización 2011

Se realizaron búsquedas en las bases de datos de MEDLINE, CINAHL y Cochrane Library de artículos publicados entre enero de 1990 y noviembre de 2010. La actualización de esta guía de práctica clínica se basa en 234 estudios clínicos y revisiones sistemáticas, 19 artículos de revisión que investigaron capnografía /capnometría durante la ventilación mecánica, y las Guías 2010 de la Asociación Americana del Corazón para la Resucitación Cardiopulmonar y Atención Cardiovascular de Emergencia. Las siguientes recomendaciones se realizan siguiendo la “Grading of Recommendations Assessment, Development, and Evaluation (GRADE) scoring system”: (1) se recomienda el monitoreo del capnograma de CO₂ en relación al tiempo, además de la valoración clínica para confirmar y monitorizar la correcta colocación del tubo endotraqueal. (2) Si no está disponible el monitoreo del capnograma de CO₂ en relación al tiempo, se sugiere como método inicial para confirmar la colocación correcta del tubo en un paciente en paro cardíaco, además de evaluación clínica, un monitor de CO₂ exhalado. (3) Se sugiere utilizar el end tidal de CO₂ (PETCO₂) como guía para el manejo del ventilador. (4) Se sugiere capnometría continua durante el transporte de pacientes ventilados mecánicamente. (5) Se sugiere la capnografía para identificar anomalías en el flujo exhalado. (6) Se sugiere la utilización de capnografía volumétrica para evaluar la eliminación de CO₂ y la relación entre el volumen de espacio muerto y el volumen corriente (VD / VT) para optimizar la ventilación mecánica. (7) Se sugiere la utilización del capnograma de CO₂ en relación al tiempo en pacientes intubados para monitorear el estado cardiopulmonar, optimizar el masaje cardíaco, y detectar el retorno de la circulación espontánea durante la resucitación cardiopulmonar, o cuando la inspección del ritmo cardíaco muestre un ritmo organizado.

Palabras clave: capnografía; capnometría; CO₂ colorimétrico; end-tidal CO₂; Capnografía volumétrica.

CO₂ VM 1.0 DESCRIPCION

A los efectos de esta guía de práctica clínica, capnografía se refiere a la evaluación del CO₂ en los gases respiratorios de pacientes en ventilación mecánica. Un equipo de Capnografía incorpora uno de 2 tipos de técnica de muestreo llamados: “mainstream” o “sidestream”¹. La técnica mainstream inserta una ventana (cubeta) de muestreo en el circuito del ventilador para medir el CO₂, mientras que el sidestream toma la muestra de gas desde el circuito del ventilador, y el análisis se produce lejos del circuito del ventilador. Los analizadores utilizan espectroscopía infrarroja, de masa o Raman, o una tecnología de espectros fotoacústica^{1,2}. Los dispositivos para medir

flujo solo se utilizan en capnografía volumétrica. Los detectores colorimétricos de CO₂ son una forma de muestreo mainstream, pero son más simples. Los detectores colorimétricos de CO₂ tienen un indicador químico sensible al pH que experimenta un cambio de color con cada inspiración y espiración, reflejando así el cambio en la concentración de CO₂. Estos dispositivos comienzan con un color de base cuando el CO₂ presente es mínimo y experimentan un cambio gradual de color al aumentar la concentración de CO₂.

CO₂ VM 2.0 PROCEDIMIENTO

Capnografía es el análisis y grabación continuo de la concentración de CO₂ en los gases respiratorios. Aunque los términos

capnografía y capnometría son considerados a veces como sinónimos, capnometría se refiere solo a la medición del CO₂ en los gases respiratorios (es decir, el solo análisis), sin un registro escrito continuo de la forma de la onda. Las ondas de capnografía pueden ser basadas en tiempo o en volumen ⁴.

CO₂ VM 3.0 PROGRAMACIÓN

La capnografía puede ser realizada por personal de la salud entrenado, en cualquier entorno en el que se encuentren pacientes en ventilación mecánica.

CO₂ VM 4.0 INDICACIONES

Hay tres categorías amplias de indicaciones para capnografía/capnometría: verificación de la colocación de la vía aérea artificial; valoración de la circulación pulmonar y el estado ventilatorio; y optimización de la ventilación mecánica.

4.1 Verificación de la colocación de la vía aérea artificial. Incluso cuando el tubo orotraqueal se ve pasar a través de las cuerdas vocales y la posición del tubo es verificada por RX de tórax y auscultación durante la ventilación mecánica, el personal a cargo deberá obtener confirmación adicional de la ubicación del tubo con la onda de Capnografía en tiempo o un dispositivo detector de CO₂ exhalado ⁵.

4.1.1 Los dispositivos detectores de CO₂ exhalado, incluyendo los colorimétricos y los que no tienen curva, detectan de manera fiable la ubicación traqueal del tubo en pacientes en los

que el gasto cardíaco no es excesivamente bajo o que no han tenido fallo circulatorio

prolongado. Su uso en paro cardíaco prolongado merece un mayor estudio ^{5,6}.

4.1.1.1 Cuando la onda de Capnografía no está disponible, se puede utilizar este método, además de la evaluación clínica, como método inicial para confirmar la correcta ubicación del tubo en un paciente en paro cardíaco.

4.1.2 La Capnografía puede ser utilizada como un método adjunto para determinar que se ha producido intubación traqueal en lugar de esofágica ^{4,7,8}.

4.1.3 Todas las intubaciones deben ser confirmadas por alguna forma de medición del PETCO₂ ^{5,9}.

4.1.4 La efectiva ventilación a través de un dispositivo de vía aérea supraglótico como la máscara laríngea (LMA) debería traducirse a través de una onda en el capnograma durante la resucitación cardio pulmonar, y también a la salida de la circulación extracorpórea ⁵.

4.1.5 Cuando sea posible, se recomienda el monitoreo del PETCO₂ durante las compresiones torácicas en la RCP ⁵.

4.1.5.1 Si PETCO₂ es < 10 mmhg durante la

RCP, el médico debe tratar de mejorar la calidad de las compresiones.

4.1.5.2 Un abrupto y sostenido aumento del PETCO₂ es un indicador sensible del retorno a la circulación espontánea.

4.1.6 El monitoreo de PETCO₂ es uno de los objetivos estándares requeridos para el seguimiento de los pacientes durante el transporte, para asegurar la integridad de la vía aérea.

4.1.6.1 El personal a cargo debe observar una curva de capnografía compatible con la ventilación para confirmar y monitorear la ubicación del tubo en su lugar, en el vehículo de transporte, al llegar al hospital, y luego de cualquier transferencia del paciente, para reducir el riesgo de un mal posicionamiento o un desplazamiento inadvertido del tubo ^{5, 12}.

4.1.7 La capnografía puede ser utilizada para detectar la intubación inadvertida de la vía aérea durante la

inserción de la sonda gástrica ¹³.

4.1.8 Situaciones potencialmente mortales asociadas al manejo de la vía aérea y desconexión del ventilador pueden ser evitadas con capnografía continua ¹⁴⁻¹⁶.

4.2 Evaluación de la circulación pulmonar y del estado respiratorio. La capnografía asiste a:

4.2.1 Determinar cambios en la circulación pulmonar y en estado respiratorio antes que la oximetría de pulso. En enfermos sin patología pulmonar, un aumento sustancial de la PCO₂ se puede presentar antes que la oximetría de pulso notifique al médico sobre un cambio en la ventilación ^{14, 17-20}.

4.2.2 Monitoreo del adecuado flujo sanguíneo pulmonar, sistémico, y coronario, así como también de la estimación del flujo capilar pulmonar efectivo (no shunt), con el método de re-inhalación parcial ²²⁻²⁴.

4.2.3 Evaluación de la presión parcial de CO₂ exhalado, especialmente PETCO₂.

4.2.4 Detección de embolismo pulmonar ²⁵⁻²⁸.

4.3 Optimización de la ventilación mecánica. La capnografía durante la ventilación mecánica permite:

4.3.1 Monitoreo continuo de la integridad del circuito ventilatorio, incluida la vía aérea artificial ²⁹ o la máscara

durante la ventilación con bolsa, además de la detección del potencial mal funcionamiento del ventilador³⁰⁻³².

4.3.2 Disminución de la duración del soporte ventilatorio³³.

4.3.3 Ajuste de la sensibilidad de disparo³⁴.

4.3.4 Evaluación de la eficiencia de la ventilación mecánica mediante la valoración de la diferencia entre PaCO₂ y PETCO₂³⁵.

4.3.5 Monitoreo de la severidad de la enfermedad pulmonar^{36, 37} y evaluación de la respuesta al tratamiento, especialmente aquellas intervenciones destinadas a mejorar la relación entre volumen corriente y volumen de espacio muerto (Vd/Vt), y la relación ventilación perfusión (V/Q)^{23,27,38-46}.

4.3.6 Monitoreo de la relación V/Q durante la ventilación unipulmonar^{47, 48}.

4.3.7 Monitoreo del CO₂ inspirado cuando está siendo administrado terapéuticamente⁴⁹.

4.3.8 Evaluación gráfica de la interacción entre el paciente y el ventilador. La evaluación del capnograma puede ser útil para detectar re- inhalación de CO₂, patología pulmonar obstructiva, presencia de esfuerzos inspiratorios durante el bloqueo

neuromuscular, oscilaciones cardiogénicas, intubación esofágica, y paro cardíaco⁵⁰.

4.3.9 Medición del volumen de CO₂ exhalado para evaluar la tasa metabólica y/o la ventilación alveolar^{43,51-53}.

4.3.10 Monitoreo del Vd/Vt para decidir la extubación en pacientes pediátricos^{40,54}.

4.3.11 Existe relación entre Vd/Vt y sobrevida en pacientes con síndrome de distrés respiratorio agudo⁵⁵⁻⁵⁷.

CO₂ VM 5.0 CONTRAINDICACIONES

No hay contraindicaciones absolutas para la Capnografía en pacientes bajo ventilación mecánica, siempre que los datos obtenidos sean evaluados teniendo en cuenta la condición clínica del paciente.

CO₂ VM 6.0 PELIGROS / COMPLICACIONES

La capnografía con un dispositivo clínicamente aprobado es segura, es un test no invasivo, asociado a pocos peligros en la mayoría de la población. Los peligros/complicaciones son diferentes para los 2 tipos de dispositivo de Capnografía.

6.1 Mainstream

6.1.1 Espacio muerto. Los adaptadores insertados a la vía aérea entre la vía aérea y el circuito del ventilador deben tener una mínima cantidad de espacio muerto. Este efecto es inversamente proporcional al tamaño del

paciente que está siendo monitorizado ^{44, 58}.

6.1.2 El peso agregado al circuito por la incorporación de un adaptador mainstream puede aumentar el riesgo de extubación accidental en neonatos y niños pequeños ⁵⁸.

6.2 Sidestream

6.2.1 La tasa de muestreo de gas de algunos analizadores sidestream puede ser lo suficientemente elevada como para ocasionar auto-disparo cuando se utiliza disparo por flujo como parámetro para iniciar la inspiración. Este efecto también es inversamente proporcional al tamaño del paciente ⁵⁸.

6.2.2 La tasa de muestreo de gas puede disminuir el volumen corriente entregado en neonatos y pacientes pequeños que utilizan modos controlados por volumen ⁵⁸.

CO2 VM 7.0 LIMITACIONES DEL PROCEDIMIENTO O DISPOSITIVO

La capnografía cuando se utiliza con un dispositivo calibrado y operado siguiendo las recomendaciones del fabricante, tiene pocas limitaciones. Es importante hacer notar que si bien la capnografía brinda importante información acerca de la eficiencia de la ventilación (como de la perfusión), no es un reemplazante o sustituto de la valoración de la PaCO₂ ^{4,41,59-61}. La diferencia entre PETCO₂ y PaCO₂ aumenta al aumentar el volumen de espacio muerto ⁶². De hecho, la diferencia entre PETCO₂ y PaCO₂ varía en el mismo

paciente en el tiempo ^{43,63-65}. Alteraciones en el patrón ventilatorio o en el V_t pueden llevar a errores en la medición, la técnica debe ser realizada en condiciones de estabilidad, en estado de equilibrio ^{51,52,66}. Para la interpretación de los resultados deben tenerse en cuenta la estabilidad de variables fisiológicas como el volumen minuto, volumen corriente, gasto cardíaco, relación V/Q, y almacenamiento de CO₂ en el cuerpo. Ciertas situaciones pueden afectar la confiabilidad del capnograma. La medida en que se ve afectada la confiabilidad varía un poco entre los diferentes tipos de dispositivos. Las limitaciones incluyen:

7.1 La composición de los gases respiratorios puede afectar el capnograma (depende de la tecnología que se utilice para la medición)

7.1.1 El espectro infrarrojo del CO₂ tiene algunas similitudes con los espectros del óxido nitroso y del oxígeno ⁵⁰. Una alta concentración de cualquiera de estos dos, o de ambos, puede afectar el capnograma, por lo tanto se debe incorporar un factor de corrección en la calibración de cualquier capnógrafo que se utilice en tal situación ⁵⁹.

7.1.2 El algoritmo de algunos dispositivos (principalmente espectrómetros de masa) asume que los únicos gases presentes en la mezcla son aquellos que el dispositivo es capaz de medir. Cuando un gas que no es detectado por el dispositivo (como el helio) está presente, el valor

informado de CO₂ estará incorrectamente elevado en proporción a la concentración del gas presente que no se está midiendo ^{4,67}.

7.2 La frecuencia respiratoria puede afectar el capnógrafo. Una alta frecuencia respiratoria puede exceder la capacidad de respuesta del capnógrafo. La presencia de resistencia elevada, alta frecuencia respiratoria, alta relación inspiración/expiración (I:E), puede disminuir la precisión de la medición obtenida a partir de un capnógrafo sidestream, en comparación con un capnógrafo mainstream ^{68,69}. Además una frecuencia respiratoria mayor a 10 resp/min puede afectar a los capnógrafos de diferente manera ⁶⁷.

7.3 La contaminación del sistema de monitoreo o muestreo por secreciones o condensación, la excesiva longitud de la sonda de muestra, la frecuencia de muestreo demasiado alta, o la obstrucción de la cámara de muestreo (o cubeta) puede conducir a resultados poco fiables.

7.4 El uso de filtros entre la vía aérea del paciente y la línea de muestreo del capnógrafo puede conducir a lecturas de PETCO₂ artificialmente bajas ^{31,70}.

7.5 La sensibilidad para la confirmación de la intubación endotraqueal por el cambio de color del dispositivo puede variar del 67% a 72% ⁷¹.

7.6 Condiciones clínicas asociadas con falsos negativos:

7.6.1 El bajo gasto cardíaco puede causar un resultado falso negativo cuando se intenta verificar la posición del tubo endotraqueal en la tráquea. ⁷²

7.6.2 Durante la RCP un test positivo confirma la colocación del TET dentro de la vía aérea, mientras que un test negativo puede indicar intubación esofágica o intubación de la vía aérea pero con flujo sanguíneo pulmonar pobre o ausente, y se requiere de una herramienta alternativa para confirmar su posición ⁷³⁻⁷⁵.

7.6.3 Estando el tubo endotraqueal en la faringe y habiendo antiácidos y / o líquidos carbonatados presentes en el estómago, podría hacerse una lectura como falsos negativos. Sin embargo, la forma de la onda no se mantiene durante el subsiguiente respiración ⁷⁶.

7.6.4 La eliminación y detección de CO₂ puede ser dramáticamente reducida en pacientes con obstrucción de las vías respiratorias y edema pulmonar ⁷⁷.

7.7 Condiciones clínicas asociadas con falsos positivos:

7.7.1 Los detectores colorimétricos de CO₂ pueden dar un falso positivo si se contaminan con contenido gástrico ácido, medicamentos intratraqueales como la epinefrina, humedad

extrema, o la presencia de anestésicos como tricloroetileno o cloroformo^{6, 78}.

7.7.2 La detección de CO₂ en el gas espirado luego de una intubación esofágica puede ser consecuencia de una previa asistencia con respiración boca a boca, pudiendo resultar en un falso positivo⁷⁹

7.7.3 Un aumento transitorio de la PETCO₂ después de la administración de bicarbonato de sodio es esperada, pero no debe ser mal interpretado como una mejoría en la calidad de la RCP o un signo de retorno a la circulación espontánea⁵.

7.8 Una medición inexacta del CO₂ expirado puede ser causada por fugas u otras circunstancias clínicas,⁸⁰ incluyendo:

7.8.1 Fugas en el circuito del ventilador.

7.8.2 Fugas alrededor del balón del tubo endotraqueal, del tubo sin balón, o de la máscara, incluyendo máscara laríngea.

7.8.3 Fístula broncopleurales.

7.8.4 Diálisis o soporte vital extracorpóreo.

CO₂ VM 8.0 EVALUACIÓN DE NECESIDAD:

La capnografía es considerada un estándar de atención durante la anestesia general. La Sociedad Americana de Anestesiólogos sugiere que la capnografía debe estar disponible para pacientes con insuficiencia

respiratoria aguda en ventilación mecánica⁸¹. El Colegio Americano de Médicos de Emergencia recomienda a la capnografía un método complementario para asegurar que el tubo endotraqueal está en posición adecuada⁷⁵. Las Guías de 2010 sobre Resucitación Cardiopulmonar y Atención Cardiovascular de Emergencia de la American Heart Association recomienda la capnografía para verificar la colocación del tubo endotraqueal en todos los grupos etáreos de pacientes⁶. La evaluación de la necesidad de utilizar la capnografía con un paciente en particular debe estar guiada por la situación clínica. La causa primaria de insuficiencia respiratoria del paciente y la gravedad de su condición deben ser consideradas.

CO₂ VM 9.0 EVALUACIÓN DE RESULTADOS:

Los resultados deben reflejar la condición del paciente y deberían justificar la base de la indicación del monitoreo. La documentación de los resultados (junto con todos las variables ventilatorias y hemodinámicas disponibles), intervenciones terapéuticas y / o decisiones clínicas basadas en la capnografía deben ser incluídas en la historia clínica del paciente.

CO₂ VM 10.0 RECURSOS:

10.1 Equipamiento: capnógrafo y accesorios (por ejemplo, adaptador para el circuito del ventilador, sonda de muestreo, dependiendo del capnógrafo). El capnógrafo se debe calibrar de la manera recomendada por el fabricante.

10.2 Personal: licenciados o terapeutas respiratorios acreditados

o personas con incumbencias similares que tengan la formación necesaria y habilidades demostradas para calibrar correctamente y evaluar el capnógrafo, evaluar al paciente y el sistema paciente-ventilador, y la capacidad de ejercer un juicio clínico apropiado al respecto.

CO2 VM 11.0 MONITOREO:

Durante la Capnografía debe ser considerado y monitoreado lo siguiente:

11.1 Variables ventilatorias: V_t , frecuencia respiratoria, PEEP, relación I:E, presión pico en la vía aérea, concentración de la mezcla del gas exhalado ^{3,38,44,72,82}.

11.2 Variables hemodinámicas: presión arterial sistémica y pulmonar, gasto cardíaco, shunt, y desequilibrios V/Q ^{23,41,66}.

CO2 VM 12.0 FRECUENCIA:

La capnografía (o, al menos, capnometría) debe estar disponible durante la intubación endotraqueal ^{14, 19,83}. La capnografía no está indicada para todos los pacientes con asistencia ventilatoria mecánica, sin embargo, cuando se utiliza, el período de medición debe ser lo suficientemente largo para permitir la determinación de la diferencia $PaCO_2$ - $PETCO_2$, para observar los cambios en la diferencia de $PaCO_2$ - $PETCO_2$ como resultado de la terapia, y para permitir la interpretación de las tendencias observadas.

CO2 VM 13.0 CONTROL DE INFECCIONES:

No son necesarias precauciones específicas, aunque las precauciones estándar (como las descritas por el “Centro para el Control y Prevención de Enfermedades”, CDC) ²⁷ y las precauciones para limitar la propagación de tuberculosis ^{80, 84} siempre deben aplicarse durante la atención al paciente.

13.1 Los sensores mainstream reutilizables deben ser sometidos a desinfección de alto nivel entre paciente y paciente, según las recomendaciones del fabricante.

13.2 La superficie externa del monitor debe limpiarse cuando sea necesario, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

CO2 MV 14.0 RECOMENDACIONES:

Las siguientes son recomendaciones basadas en la “Grading of Recommendations Assessment, Development, and Evaluation (GRADE) scoring system” ^{85,86}:

14.1 La Capnografía continua con capnograma en tiempo se recomienda además de la evaluación clínica como el método más fiable para confirmar y vigilar la correcta colocación de un tubo endotraqueal. (1A)

14.2 Si la capnografía con onda de CO_2 tiempo no está disponible, el monitor de CO_2 exhalado (sin onda), además de la evaluación clínica es el método sugerido para la confirmación inicial de la correcta colocación del tubo endotraqueal en un paciente en paro cardíaco. (2B)

14.3 La $PETCO_2$ es sugerida como un método para guiar la programación del ventilador. (2B)

14.4 La capnometría continua se sugiere durante el traslado de una

paciente en ventilación mecánica. (2B)

14.5 Se sugiere la capnografía para identificar anomalías en el flujo de aire exhalado. (2B)

14.6 La capnografía volumétrica se sugiere para evaluar la eliminación de CO₂ y el VD/VT para optimizar la ventilación mecánica. (2B)

14.7 Se sugiere la utilización del capnograma de CO₂ en relación al tiempo en pacientes intubados como monitoreo de la calidad de la RCP, para optimizar las compresiones torácicas, y para detectar el retorno a la circulación espontánea durante las compresiones torácicas, o cuando la inspección del ritmo cardíaco muestre un ritmo organizado. (2C)

CO₂ VM 15.0 IDENTIFICACIÓN, ADAPTACIÓN Y DISPONIBILIDAD

15.1 Adaptación

Publicación original

Respir Care 1995;40(12):1321-1324.

Revisión-actualización Respir Care 2011; 56 (4) :503-509

15.2 Desarrollo de la guía

Capítulo de Kinesiología en el Paciente Crítico

Lic. Klgo Ftra Emiliano Gogniat

Lic. Klgo Ftra Gustavo Plotnikow

15.3 Disponibilidad

www.sati.org.ar

15.4 Conflictos de interés

Ninguno

REFERENCES

1. Block FE Jr, McDonald JS. Sidestream versus mainstream carbon dioxide analyzers. *J Clin Monit* 1992;8(2):139-141.
2. O'Flaherty D. *Capnometry*. London: BMJ Publishing Group; 1994: 21-54.
3. Garey DM, Ward R, Rich W, Heldt G, Leone T, Finer NN. Tidal volume threshold for colorimetric carbon dioxide detectors available for use in neonates. *Pediatrics* 2008;121(6):e1524-1527.
4. Hess D, Branson RD. *Noninvasive respiratory monitoring equipment*. Philadelphia: Lippincott; 1994:184-216.
5. Neumar RW, Otto CW, Link MS, Kronick SL, Shuster M, Callaway CW, et al. Part 8: adult advanced cardiovascular life support: 2010 American Heart Association guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation*. 2010;122(18 Suppl 3):S729-S767.
6. Goldberg JS, Rawle PR, Zehnder JL, Sladen RN. Colorimetric endtidal carbon dioxide monitoring for tracheal intubation. *Anesth Analg* 1990;70(2):191-194.
7. Wenzel V, Voelckel WG, Krismer AC, Mayr VD, Strohmenger HU, Baubin MA, et al. [The new international guidelines for cardiopulmonary resuscitation: an analysis and comments on the most important changes]. *Anaesthesist* 2001;50(5):342-357. Article in German.
8. Rudraraju P, Eisen LA. Confirmation of endotracheal tube position: a narrative review. *J Intensive Care Med* 2009;24(5):283-292.
9. Field JM, Hazinski MF, Sayre MR, Chameides L, Schexnayder SM, Hemphill R, et al. Part 1: executive summary: 2010 American Heart Association guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *circulation*. 2010;122(18 Suppl 3):S640- S656.

10. Braman SS, Dunn SM, Amico CA, Millman RP. Complications of intrahospital transport in critically ill patients. *Ann Intern Med* 1987; 107(4):469-473.
11. Singh S, Allen WD Jr, Venkataraman ST, Bhende MS. Utility of a novel quantitative handheld microstreamcapnometer during transport of critically ill children. *Am J Emerg Med* 2006;24(3):302-307.
12. Silvestri S, Ralls GA, Krauss B, Thundiyil J, Rothrock SG, Senn A, Carter E, Falk J. The effectiveness of out-of-hospital use of continuous end-tidal carbon dioxide monitoring on the rate of unrecognized misplaced intubation within a regional emergency medical services system. *Ann Emerg Med* 2005;45(5):497-503.
13. Howes DW, Shelley ES, Pickett W. Colorimetric carbon dioxide detector to determine accidental tracheal feeding tube placement. *Can J Anaesth* 2005;52(4):428-432.
14. Poirier MP, Gonzalez Del-Rey JA, McAneney CM, DiGiulio GA. Utility of monitoring capnography, pulse oximetry, and vital signs in the detection of airway mishaps: a hyperoxemic animal model. *Am J Emerg Med* 1998;16(4):350-352.
15. Ahrens T, Sona C. Capnography application in acute and critical care. *AACN Clin Issues* 2003;14(2):123-132.
16. Joint Commission. Preventing ventilator-related deaths and injuries. Sentinel Event Alert 2002, Issue 25, February 2002. http://www.jointcommission.org/assets/1/18/sea_25.pdf. Accessed February 8, 2011.
17. Roberts WA, Maniscalco WM. A novel cause of error in capnographic confirmation of intubation in the neonatal intensive care unit. *Pediatrics* 1995;95(1):140-142.
18. Hall D, Goldstein A, Tynan E, Braunstein L. Profound hypercarbia late in the course of laparoscopic cholecystectomy: detection by continuous capnometry. *Anesthesiology* 1993;79(1):173-174.
19. Roberts WA, Maniscalco WM, Cohen AR, Litman RS, Chhibber A. The use of capnography for recognition of esophageal intubation in the neonatal intensive care unit. *Pediatr Pulmonol* 1995;19(5):262-268.
20. Shibutani K, Muraoka M, Shirasaki S, Kubal K, Sanchala VT, Gupte P. Do changes in end-tidal PCO₂ quantitatively reflect changes in cardiac output? *Anesth Analg* 1994;79(5):829-833.
21. Levine RL, Wayne MA, Miller CC. End-tidal carbon dioxide and outcome of out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 1997;337(5): 301-306.
22. de Abreu MG, Geiger S, Winkler T, Ragaller M, Pfeiffer T, Leutheuser D, et al. Evaluation of a new device for noninvasive measurement of nonshunted pulmonary capillary blood flow in patients with acute lung injury. *Intensive Care Med* 2002;28(3):318-323.
23. de Abreu MG, Quintel M, Ragaller M, Albrecht DM. Partial carbon dioxide rebreathing: a reliable technique for noninvasive measurement of nonshunted pulmonary capillary blood flow. *Crit Care Med* 1997;25(4):675-683.
24. vanHeerden PV, Baker S, Lim SI, Weidman C, Bulsara M. Clinical evaluation of the non-invasive cardiac output (NICO) monitor in the intensive care unit. *Anaesth Intensive Care* 2000;28(4):427-430.
25. Rodger M, Wells PS. Diagnosis of pulmonary embolism. *Thromb Res* 2001;103(6):V225-238.

26. Rodger MA, Jones G, Rasuli P, Raymond F, Djunaedi H, Bredeson CN, et al. Steady-state end-tidal alveolar dead space fraction and D-dimer: bedside tests to exclude pulmonary embolism. *Chest* 2001; 120(1):115-119.
27. Bolyard EA, Tablan OC, Williams WW, Pearson ML, Shapiro CN, Deitchmann SD. Guideline for infection control in healthcare personnel, 1998. Hospital Infection Control Practices Advisory Committee. *Infect Control Hosp Epidemiol* 1998;19(6):407-463. Erratum in: *Infect Control Hosp Epidemiol* 1998;19(7):493.
28. Rumpf TH, Krizmaric M, Grmec S. Capnometry in suspected pulmonary embolism with positive D-dimer in the field. *Crit Care* 2009; 13(6):R196.
29. Spahr-Schopfer IA, Bissonnette B, Hartley EJ. Capnometry and the paediatric laryngeal mask airway. *Can J Anaesth* 1993;40(11):1038-1043.
30. Muniz AE. False-negative capnographic reading caused by a malfunctioning bag-valve-mask device resulting in a pneumomediastinum. *Resuscitation* 2008;78(3):378-380.
31. Hardman JG, Mahajan RP, Curran J. The influence of breathing system filters on paediatric capnography. *Paediatr Anaesth* 1999;9(1): 35-38.
32. Kumar AY, Bhavani-Shankar K, Moseley HS, Delph Y. Inspiratory valve malfunction in a circle system: pitfalls in capnography. *Can J Anaesth* 1992;39(9):997-999.
33. Cheifetz IM, Myers TR. Respiratory therapies in the critical care setting. Should every mechanically ventilated patient be monitored with capnography from intubation to extubation? *Respir Care* 2007; 52(4):423-438; discussion 438-442.
34. Thompson JE, Jaffe MB. Capnographic waveforms in the mechanically ventilated patient. *Respir Care* 2005;50(1):100-108; discussion 108-109.
35. Kerr ME, Zempsky J, Sereika S, Orndoff P, Rudy EB. Relationship between arterial carbon dioxide and end-tidal carbon dioxide in mechanically ventilated adults with severe head trauma. *Crit Care Med* 1996;24(5):785-790.
36. Bedford NM, Hardman JG. Predicting patients' responses to changes in mechanical ventilation: a comparison between physicians and a physiological simulator. *Intensive Care Med* 1999;25(8):839-842.
37. Ghamra ZW, Arroliga AC. Volumetric capnography in acute respiratory distress syndrome: is the era of day-to-day monitoring finally here? *Respir Care* 2005;50(4):457-458.
38. Engoren M. Efficacy of capnometry in ventilatory management of cardiac patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1993;7(5):538-540.
39. Hardman JG, Aitkenhead AR. Estimation of alveolar deadspace fraction using arterial and end-tidal CO₂: a factor analysis using a physiological simulation. *Anaesth Intensive Care* 1999;27(5):452-458.
40. Hubble CL, Gentile MA, Tripp DS, Craig DM, Meliones JN, Cheifetz IM. Deadspace to tidal volume ratio predicts successful extubation in infants and children. *Crit Care Med* 2000;28(6):2034-2040.
41. Jellinek H, Hiesmayr M, Simon P, Klepetko W, Haider W. Arterial to end-tidal CO₂ tension difference after bilateral lung

- transplantation. *Crit Care Med* 1993;21(7):1035-1040.
42. Kallet RH, Daniel BM, Garcia O, Matthay MA. Accuracy of physiologic dead-space measurements in patients with acute respiratory distress syndrome using volumetric capnography: comparison with the metabolic monitor method. *Respir Care* 2005;50(4):462-467.
43. Russell GB, Graybeal JM. Reliability of the arterial to end-tidal carbon dioxide gradient in mechanically ventilated patients with multisystem trauma. *J Trauma* 1994;36(3):317-322.
44. Szaflarski NL, Cohen NH. Use of capnography in critically ill adults. *Heart Lung* 1991;20(4):363-372.
45. Taskar V, John J, Larsson A, Wetterberg T, Jonson B. Dynamics of carbon dioxide elimination following ventilator resetting. *Chest* 1995; 108(1):196-202.
46. McSwain SD, Hamel DS, Smith PB, Gentile MA, Srinivasan S, Meliones JN, et al. End-tidal and arterial carbon dioxide measurements correlate across all levels of physiologic dead space. *Respir Care* 2010;55(3):288-293.
47. Cinnella G, Dambrosio M, Brienza N, Giuliani R, Bruno F, Fiore T, et al. Independent lung ventilation in patients with unilateral pulmonary contusion. Monitoring with compliance and EtCO₂. *Intensive Care Med* 2001;27(12):1860-1867.
48. Colman Y, Krauss B. Microstreamcapnography technology: a new approach to an old problem. *J Clin Monit Comput* 1999;15(6):403-409.
49. Fatigante L, Cartei F, Ducci F, Marini C, Prediletto R, Caciagli P, et al. Carbogen breathing in patients with glioblastomamultiforme submitted to radiotherapy. Assessment of gas exchange parameters. *ActaOncol* 1994;33(7):807-811.
50. Bhavani-Shankar K, Moseley H, Kumar AY, Delph Y. Capnometry and anaesthesia. *Can J Anaesth* 1992;39(6):617-632.
51. 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;27(3):531-539.
52. Brandi LS, Santini L, Bertolini R, Malacarne P, Casagli S, Baraglia AM. Energy expenditure and severity of injury and illness indices in multiple trauma patients. *Crit Care Med* 1999;27(12):2684-2689.
53. Sullivan KJ, Kisson N, Goodwin SR. End-tidal carbon dioxide monitoring in pediatric emergencies. *Pediatr Emerg Care* 2005;21(5): 327-332; quiz 333-325.
54. Wratney AT, Cheifetz IM. Extubation criteria in infants and children. *Respir Care Clin N Am* 2006;12(3):469-481.
55. Nuckton TJ, Alonso JA, Kallet RH, Daniel BM, Pittet JF, Eisner MD, Matthay MA. Pulmonary dead-space fraction as a risk factor for death in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 2002;346(17):1281-1286.
56. Lucangelo U, Bernabè F, Vattia S, Degrossi G, Villagra A, Fernandez R, et al. Prognostic value of different dead space indices in mechanically ventilated patients with acute lung injury and ARDS. *Chest* 2008;133(1):62-71.
57. Raurich JM, Vilar M, Colomar A, Ibáñez J, Ayestarán I, Pérez- Bárcena J, Llompert-Pou JA. Prognostic value of the pulmonary dead-space fraction during the early and intermediate phases of acute respiratory

- distress syndrome. *Respir Care* 2010;55(3):282-287.
58. Jacobus C. *Noninvasive monitoring in neonatal and pediatric care* St. Louis: Elsevier; 2009:137-146.
59. Hess D. *Capnometry*. New York: McGraw-Hill; 1998:377-400.
60. Isert P. Control of carbon dioxide levels during neuroanaesthesia: current practice and an appraisal of our reliance upon capnography. *Anaesth Intensive Care* 1994;22(4):435-441.
61. Laffon M, Gouchet A, Sitbon P, Guicheteau V, Biyick E, Duchalais A, et al. Difference between arterial and end-tidal carbon dioxide pressures during laparoscopy in paediatric patients. *Can J Anaesth* 1998;45(6):561-563.
62. Russell GB, Graybeal JM. End-tidal carbon dioxide as an indicator of arterial carbon dioxide in neurointensive care patients. *J NeurosurgAnesthesiol* 1992;4(4):245-249.
63. Russell GB, Graybeal JM. The arterial to end-tidal carbon dioxide difference in neurosurgical patients during craniotomy. *Anesth Analg* 1995;81(4):806-810.
64. Seguin P, Bleichner JP, Branger B, Guillou YM, Feuillu A, Malledant Y. [The measurement of end-tidal carbon dioxide (PETCO₂) is not a significant parameter to monitor in patients with severe traumatic brain injury.] *Can J Anaesth* 2001;48(4):396-400. Article in French.
65. Grenier B, Verchere E, Mesli A, Dubreuil M, Siao D, Vandendriessche M, et al. Capnography monitoring during neurosurgery: reliability in relation to various intraoperative positions. *Anesth Analg* 1999; 88(1):43-48.
66. Gamma de Abreu M, Melo MF, Giannella-Neto A. Pulmonary capillary blood flow by partial CO₂ rebreathing: importance of the regularity of the respiratory pattern. *Clin Physiol* 2000;20(5):388-398.
67. Graybeal J, M. Relative agreement between Raman and mass spectrometry for measuring end-tidal carbon dioxide. *Respir Care* 1994; 39(3):190-194.
68. McEvedy BA, McLeod ME, Kirpalani H, Volgyesi GA, Lerman J. End-tidal carbon dioxide measurements in critically ill neonates: a comparison of side-stream and mainstream capnometers. *Can J Anaesth* 1990;37(3):322-326.
69. Tingay DG, Stewart MJ, Morley CJ. Monitoring of end tidal carbon dioxide and transcutaneous carbon dioxide during neonatal transport. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2005;90(6):F523-F526.
70. Hardman JG, Curran J, Mahajan RP. End-tidal carbon dioxide measurement and breathing system filters. *Anaesthesia* 1997;52(7):646- 648.
71. Keller WR, Biehler J, Linares MY, Garcia-Pena BM. False-positive colorimetric capnometry after ingestion of carbonated beverages. *Pediatr Emerg Care* 2009;25(2):69-73.
72. Li J. Capnography alone is imperfect for endotracheal tube placement confirmation during emergency intubation. *J Emerg Med* 2001; 20(3):223-229.
73. 2005 American Heart Association (AHA) guidelines for cardiopulmonary resuscitation (CPR) and emergency cardiovascular care (ECC) of pediatric and neonatal patients: pediatric advanced life support. *Pediatrics* 2006;117(5):e1005-e1028.

74. The International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) consensus on science with treatment recommendations for pediatric and neonatal patients: pediatric basic and advanced life support. *Pediatrics* 2006;117(5):e955-e977.
75. American College of Emergency Physicians, Clinical Policies Committee. Verification of endotracheal tube placement. *Ann Emerg Med* 2002;40(5):551-552.
76. Sum Ping ST, Mehta MP, Symreng T. Accuracy of the FEF CO₂ detector in the assessment of endotracheal tube placement. *Anesth Analg* 1992;74:415-419.
77. Ward KR, Yealy DM. End-tidal carbon dioxide monitoring in emergency medicine. Part 2: clinical applications *Acad Emerg Med* 1998; 5(6):637-646.
78. Kamlin CO, O'Donnell CP, Davis PG, Morley CJ. Colorimetric end-tidal carbon dioxide detectors in the delivery room: strengths and limitations. A case report. *J Pediatr* 2005;147(4):547-548.
79. Kramer-Johansen J, Dorph E, Steen PA. Detection of carbon dioxide in expired air after oesophageal intubation; the role of bystander mouth-to-mouth ventilation. *Acta Anaesthesiol Scand* 2008;52(1):155-157.
80. Kallet RH. Capnography and respiratory care in the 21st century. *Respir Care* 2008;53(7):860-861.
81. American Society of Anesthesiologists. Standards for basic anesthetic monitoring. http://www.asahq.org/knowledge-base/ethics-andmedicolegal-issues/asa/_/media/for%2520members/documents/standards%2520guidelines%2520stmts/basic%2520anesthetic%2520monitoring%25202011.ashx. Accessed February 8, 2011.
82. Gentile MA, Cheifetz IM. Optimal positive end-expiratory pressure: the search for the Holy Grail continues. *Crit Care Med* 2004;32(12): 2553-2554.
83. Sum Ping ST, Mehta MP, Symreng T. Reliability of capnography in identifying esophageal intubation with carbonated beverage or antacid in the stomach. *Anesth Analg* 1991;73(3):333-337.
84. Jensen PA, Lambert LA, Iademarco MF, Ridzon R. Guidelines for preventing the transmission of *Mycobacterium tuberculosis* in healthcare settings, 2005. *MMWR Recomm Rep* 2005;54(RR-17):1-141.
85. Guyatt GH, Oxman AD, Vist GE, Kunz R, Falck-Ytter Y, Alonso-Coello P, et al. GRADE: an emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations. *BMJ* 2008;336(7650): 924-926.
86. Jaeschke R, Guyatt GH, Dellinger P, Schunemann H, Levy MM, Kunz R, et al. Use of GRADE grid to reach decisions on clinical practice guidelines when consensus is elusive (abstract). *BMJ* 2008; 337(Suppl):A744.