

UTILIDAD DE LA MONITORIZACIÓN DEL CO₂ ESPIRADO EN MEDICINA DE URGENCIA

P. Marco Aguilar*, F. J. Ochoa Gómez**, I. Saralegui Reta**

* Servicio de Urgencias. ** Unidad de Cuidados Intensivos. Complejo Hospitalario San Millán-San Pedro. Logroño

Resumen

El registro continuo de la concentración de carbónico al final de la espiración (ETCO₂) es una técnica de monitorización no invasiva que provee información acerca del estado del metabolismo y de la situación hemodinámica y ventilación de los pacientes. Cuando dos de estos sistemas se mantienen constantes, la ETCO₂ refleja el estado del tercero. Este procedimiento de monitorización ha demostrado su utilidad en la comprobación de la intubación correcta, debido a que el aire esofágico carece de CO₂. También es eficaz para la estimación de la situación circulatoria, tanto en la parada cardiorrespiratoria, donde es útil en la valoración de la eficacia de las compresiones cardíacas y como indicador precoz de retorno de circulación espontánea, como en situaciones de inestabilidad hemodinámica. Su utilidad a la hora de establecer correlaciones con las presiones sanguíneas de CO₂ es más reducida. Los detectores colorimétricos de CO₂ son dispositivos fiables, portátiles, de fácil manejo y bajo coste, que pueden suplir algunas de las funciones de los capnógrafos electrónicos, de tecnología compleja y elevado precio. La capnografía debería incluirse dentro de las técnicas de monitorización rutinarias de los Servicios de Urgencias, tanto hospitalarios como extrahospitalarios.

Palabras clave: ETCO₂, CO₂, Monitorización.

Correspondencia: Pedro Marco Aguilar. Servicio de Urgencias. Complejo Hospitalario San Millán - San Pedro. C/Antonomía de La Rioja, 3. 26004 - Logroño.

Introducción

En los últimos años, los Servicios de Urgencias han experimentado en España una evolución considerable, tanto en su vertiente hospitalaria como extrahospitalaria. Dotados de una autonomía cada vez mayor, tienden a ser atendidos por personal médico con dedicación exclusiva en los mismos, una adecuada cualificación en la resolución de situaciones de emergencia y que asume una completa responsabilidad en la atención al enfermo en situación crítica. Fruto de ello, diversas técnicas de monitorización y de soporte vital avanzado que habían sido patrimonio exclusivo de las Unidades de Cuidados Intensivos o de los Servicios de Anestesia, van abriéndose paso en la práctica rutinaria de los Servicios de Urgencia, que van ganando terreno en complejidad tecnológica al tiempo que en operatividad.

Una técnica de monitorización no invasiva poco difundida en nuestro país en este tipo de Servicios es la capnografía. La capnografía permite la monitorización continua del dióxido de carbono (CO₂) en el aire espirado, aplicación de gran utilidad en medicina de urgencia, de manera aislada o como complemento de otras técnicas de monitorización, en determinadas circunstancias que serán objeto de revisión en este artículo.

Metabolismo del CO₂

La producción diaria de CO₂ en el individuo adulto en condiciones normales se estima en torno a los 200 litros. El CO₂ es un producto de la oxidación mitocondrial de determinadas sustancias orgánicas y su producción depende del metabolismo tisular, de tal manera que en circunstancias de estrés metabólico,

como el ejercicio o la hipertermia, ésta se ve incrementada y, a la inversa, la hipotermia, la sedación o la curarización la reducen. El CO_2 producido es almacenado en parte en forma de bicarbonatos y en parte es eliminado al torrente sanguíneo donde es transportado bien en forma de tampón bicarbonato-ácido carbónico, bien ligado a proteínas plasmáticas o hemoglobina o bien en forma disuelta, lo que determina una presión venosa media de CO_2 de 45 mmHg. En los pulmones es eliminado hacia el exterior a través de los alveolos gracias a su gran difusibilidad, resultando una presión arterial media de CO_2 de 40 mmHg.

La cantidad de CO_2 en el aire espirado depende por lo tanto de tres factores, producción (metabolismo), transporte (circulación) y eliminación (ventilación). Variaciones en el CO_2 en el aire espirado reflejarán, por lo tanto, modificaciones en una o más de estas funciones orgánicas, de tal manera que cuando dos de ellas se mantengan constantes los cambios reflejarán variaciones en la tercera. Este aspecto refleja la utilidad de la monitorización del CO_2 en el aire espirado, que se lleva a cabo mediante unos dispositivos denominados capnógrafos.

Capnógrafos

Un capnógrafo es un instrumento que permite el registro del CO_2 a lo largo del ciclo respiratorio. Según el procedimiento de medición, cabe distinguir:

- Capnógrafos en la absorción de rayos infrarrojos. De los componentes del aire espirado, únicamente el CO_2 y el vapor de agua absorben la radiación infrarroja. Por este motivo, estos aparatos disponen de un sistema de deshumidificación previo de la muestra de aire, comparando posteriormente la diferencia de absorción de la radiación infrarroja entre la cámara de análisis, hacia la que es conducido el aire espirado, y una cámara de referencia. Son los más utilizados. Según el lugar de toma de la muestra del gas se distinguen dos tipos de capnógrafos de absorción de infrarrojos:

- Analizadores de muestreo lateral o aspirativos, en los que el analizador está situado dentro del aparato y el gas es aspirado por un sistema de succión desde la vía aérea hasta el mismo. En estos es imprescindible que el flujo de aspiración se mantenga constante, alrededor de 500 ml/min.

- Analizadores en línea o no aspirativos, en los que el dispositivo de análisis se sitúa en la vía aérea (normalmente entre el tubo endotraqueal y el dispositivo de ventilación). Son más lentos que los anteriores

y no permiten el análisis del gas espirado en la respiración espontánea.

- Capnógrafos basados en la espectrometría de masas. Son más precisos, aunque mucho más caros que los anteriores, lo que desaconseja su uso como medio rutinario de monitorización.

- Detectores colorimétricos de CO_2 . Se trata de dispositivos pequeños y de peso ligero, de un solo uso, que cuantifican la presencia de CO_2 mediante cambios de color.

Medida del CO_2

Los capnógrafos realizan la medición del CO_2 al final de la espiración. Esta puede ser expresada, según el tipo de aparato, de dos formas distintas:

- Medición de la presión parcial de CO_2 (PCO_2) en el aire espirado. Su valor máximo se corresponde con el final de la espiración (PETCO_2), que normalmente es de 38 mmHg a una presión atmosférica de 760 mmHg. Esta medición tiene el inconveniente de que depende de la presión atmosférica y del grado de humedad del gas espirado, lo que puede constituirse en una fuente adicional de error¹.

- Medición de la fracción de CO_2 o porcentaje de CO_2 en el aire espirado. Expresa la concentración de CO_2 al final de la espiración (ETCO_2) que en condiciones fisiológicas oscila entre el 4 y el 6 %. No depende de la presión atmosférica ni del grado de humedad del aire espirado, por lo que es el procedimiento de elección.

Utilidad de la capnografía en Medicina de Urgencia

Monitorización durante la resucitación cardiopulmonar (RCP)

Kalenda y Smalhout^{2,3} registraron el capnograma de varios pacientes en situación de parada cardiorrespiratoria (PCR) que estaban siendo sometidos a masaje cardíaco, observando que se producían variaciones en la ETCO_2 dependiendo del vigor de las compresiones cardíacas. Cuando el reanimador se fatigaba, se producía un descenso en el valor de la ETCO_2 al tiempo que cuando un nuevo reanimador tomaba su lugar este valor se incrementaba.

Estas primeras observaciones condujeron a una serie de estudios tendientes a demostrar que la concentración de CO_2 en el aire espirado está estrechamente ligada a la perfusión pulmonar. En los primeros ensayos en animales, que fueron sometidos a técnicas de

masaje externo e interno mientras eran ventilados con ventilación mecánica. se observó un rápido descenso de la $ETCO_2$ tras fibrilación ventricular inducida, un incremento de la $ETCO_2$ durante las compresiones externas y un abrupto ascenso inicial junto con un retorno gradual de la $ETCO_2$ hasta las cifras basales en los animales que se recuperaron del PCR, llegándose a establecer una relación lineal entre gasto cardíaco y $ETCO_2$ ⁴⁻⁷. Se concluyó que, bajo condiciones de ventilación pulmonar constante, la $ETCO_2$ refleja el estado de la circulación sanguínea durante y tras el PCR, sugiriéndose la utilidad de la capnografía en la monitorización del mismo como un indicador no invasivo de flujo sanguíneo pulmonar (y, por lo tanto, de flujo sistémico).

Posteriores estudios realizados han confirmado el valor de la capnografía en la monitorización del PCR, ya que suministra una información inmediata de los cambios hemodinámicos que se suceden durante la RCP⁸⁻¹⁰. Durante el PCR se produce una acumulación de CO_2 en el sistema venoso, incremento que está estrechamente ligado a una reducción drástica tanto del volumen de CO_2 expirado como de la $ETCO_2$ ^{11,12}. Este fenómeno es consecuencia del cese de la perfusión pulmonar¹³⁻¹⁷, y es reversible de manera rápida cuando se restaura una circulación normal¹². Dado que las maniobras de masaje cardíaco sólo producen un gasto cardíaco de un 25 a un 30 % del normal¹⁸⁻²⁰, el bajo flujo pulmonar durante las mismas actúa como factor limitativo de la eliminación del carbónico acumulado, siendo la concentración de CO_2 en el aire espirado directamente proporcional al flujo pulmonar obtenido^{6,8}. Como consecuencia de esto, la capnografía permite la valoración de la eficacia del masaje cardíaco y sirve de guía para mejorar la calidad de las compresiones^{6,21-26}.

Por otro lado, cuando el flujo pulmonar alcanza un nivel suficiente, la eliminación de CO_2 no se ve limitada por el mismo. En los pacientes que recuperan la circulación espontánea, se produce un rápido incremento de la $ETCO_2$ hasta una proporción del 110 al 140 % de los valores anteriores al paro cardíaco, manteniéndose en este nivel durante unos 30 segundos, y produciéndose después durante dos a tres minutos un descenso gradual hasta un valor estable⁶⁻¹⁰. Este ascenso del valor de la $ETCO_2$ coincidiendo con el retorno a la circulación espontánea representa la eliminación rápida del CO_2 acumulado durante el PCR y es un fenómeno rápido y obvio, siendo a menudo el primer indicador sensible de recuperación de la misma. La monitorización de la $ETCO_2$ haría innecesario en estas

circunstancias que el reanimador suspendiera la práctica de las compresiones externas para la comprobación periódica de pulso arterial. La administración de bicarbonato sódico endovenoso produce una elevación inmediata de la $ETCO_2$ de manera transitoria, circunstancia que hay que considerar cuando este fármaco es utilizado.

La relación estrecha observada entre $ETCO_2$ y presión de perfusión coronaria²⁷⁻²⁹ y la de esta última con la supervivencia^{27,30,31} ha conducido también a estudios encaminados a valorar si la $ETCO_2$ es un elemento para predecir el resultado de la RCP. En algunas investigaciones, se ha observado que existe una diferencia significativa de la $ETCO_2$ de los pacientes que sobreviven a la RCP con respecto a los que fallecen, de tal forma que bajos niveles iniciales de $ETCO_2$ o un descenso de la misma durante la RCP se correlaciona con mal pronóstico^{27,30,32-38}. No obstante, esta última afirmación no se observa en todas las circunstancias. Se ha comprobado en experimentación animal que el uso de adrenalina, de amplia utilización en RCP, que produce un incremento de la presión de perfusión coronaria, se acompaña de un descenso significativo de la $ETCO_2$ ³⁹⁻⁴⁰, lo que supone una restricción de utilidad de la capnografía en este campo. Por otro lado, en un estudio en animales sometidos a ventilación mecánica y masaje cardíaco de tórax abierto se ha observado que aún manteniéndose un gasto cardíaco constante se producen cambios en la $ETCO_2$. Como consecuencia, si se realizan diversas medidas de la $ETCO_2$ en diferentes tiempos del PCR, existe la posibilidad de que los valores que se obtengan sean diferentes, aunque el gasto cardíaco sea el mismo⁴¹. Esta circunstancia limita de manera importante el papel de la $ETCO_2$ como elemento de predicción de resultado de la RCP, que todavía no está bien establecido.

Comprobación de la colocación del tubo endotraqueal

La intubación endotraqueal es una técnica de uso frecuente en la medicina hospitalaria. Aunque se trata de un procedimiento relativamente sencillo no está exento de complicaciones, algunas de ellas potencialmente letales para el paciente⁴². Estas complicaciones son más frecuentes cuando la intubación se realiza en situaciones de medicina de emergencia, y se producen aunque sea practicada por personal experimentado en la técnica^{43,44}. De ellas, la más peligrosa, por entrañar consecuencias fatales para el paciente cuando no es advertida, es la intubación esofágica^{45,46}.

Clásicamente, la visualización directa del paso del tubo endotraqueal a través de las cuerdas vocales se

ha considerado como la prueba más fiable de intubación correcta⁴⁷. No obstante, a pesar de adoptar esta precaución se han producido intubaciones esofágicas y, por otra parte, no es posible en todos los casos, ni siquiera por parte de personal con amplia experiencia en intubación, ver el paso del tubo a través de las cuerdas vocales⁴⁸. Se han descrito otras diversas técnicas para verificar la correcta colocación del tubo, pero la mayor parte de ellas resultan ser poco sensibles y otras son demasiado sofisticadas como para ser utilizadas de forma rutinaria⁴⁷⁻⁵².

La medición de la ETCO_2 mediante capnografía es reconocida actualmente como el método más fidedigno, junto a la visualización directa del paso del tubo a través de las cuerdas vocales, para valorar una intubación correcta^{47,53-58}. Tras la maniobra de intubación, cuando el tubo ha sido colocado en la tráquea se detecta la presencia de CO_2 en el aire espirado, y, puesto que en el esófago existen muy bajos niveles de CO_2 , la ausencia de CO_2 en el aire espirado sugiere intubación esofágica. Mediante capnometría no es posible reconocer la intubación selectiva de bronquio derecho⁵⁹ ni la intubación faríngea⁵⁴. Aunque también es útil para valorar la intubación en situaciones de PCR, su utilidad tras PCR prolongado no está bien definida⁵⁶.

La constatación de niveles de CO_2 en el aire espirado tras la intubación esofágica de un niño que había ingerido previamente una bebida carbónica⁶⁰ se ha seguido de una serie de estudios tendentes a valorar tanto a este tipo de bebidas como a otros preparados carbonatados, como antiácidos, como fuente potencial de error, con resultados contradictorios⁶¹⁻⁶³. Por otro lado, se ha descrito que la distensión gástrica que puede producirse al ventilar al paciente antes de la intubación puede producir concentraciones de CO_2 en esófago del orden del 4 al 5 %, aunque la ventilación posterior con seis insuflaciones con O_2 al 100 % reduce el CO_2 esofágico a niveles no detectables, lo que evita los falsos positivos⁵³.

Por su fácil manejo, simplicidad y bajo coste es particularmente útil en esta aplicación el detector colorimétrico desechable, del que se tratará más adelante.

Otras aplicaciones

Los cambios bruscos en la actividad circulatoria que pueden experimentar los pacientes en situación de inestabilidad hemodinámica requieren de sistemas que sean capaces de registrarlos de manera inmediata. Existe una relación inversa entre gasto cardíaco y PCO_2 en sangre venosa^{12,15,64}, que se traduce en los es-

tados de flujo sanguíneo reducido en un descenso de la ETCO_2 ^{6,25}. La capnografía ofrece la posibilidad de monitorización hemodinámica no invasiva en los pacientes ventilados mecánicamente que mantienen una situación metabólica estable, reflejando de forma instantánea las fluctuaciones en el gasto cardíaco y la tensión arterial. Actualmente se considera, utilizada conjuntamente con los sistemas habituales de monitorización, de valiosa ayuda para el control de la hipotensión arterial y la detección de signos precoces de shock^{38,40,65-6}

con presiones sistólicas incapaces de generar ondas de pulso, que se diagnostican erróneamente como disociación electromecánica (DEM)⁶⁹⁻⁷¹. Esta situación, frecuente en la práctica clínica⁶⁹, que cabe denominar «pseudo-disociación electromecánica», debe ser sospechada por la detección de niveles elevados de ETCO_2 en un paciente en DEM^{24,36}.

La medición de la PETCO_2 para la estimación indirecta de la PCO_2 en sangre arterial (PaCO_2) está sujeta a grandes limitaciones, ya que ambas pueden diferir considerablemente por la influencia que distintos estados patológicos ejercen sobre ellas, principalmente aquellos que alteran la relación ventilación-perfusión (V_A/Q)^{72,74}. Un descenso en la PETCO_2 puede correlacionarse con una disminución en la misma medida de la PaCO_2 si la relación V_A/Q se mantiene constante, con una disminución mucho mayor de la PaCO_2 si se incrementa la relación V_A/Q o con valores constantes o un aumento de la de la PaCO_2 si la relación V_A/Q decrece⁷⁵. La correcta relación V_A/Q depende de una adecuada función respiratoria y hemodinámica, y esta circunstancia rara vez se da en los pacientes atendidos en urgencias que precisan una monitorización continua de la PaCO_2 . De hecho, los estudios realizados en pacientes con enfermedad pulmonar crónica subyacente concluyen en general en no encontrar una relación significativa entre PETCO_2 y PaCO_2 ^{73,74,76-78}. En los individuos sanos, sin embargo, la diferencia entre ambas es menor de 1 mmHg, incrementándose hasta 4,6 mmHg bajo ventilación mecánica^{72,78}. La correlación entre PETCO_2 y PaCO_2 en individuos en reposo sin enfermedad pulmonar subyacente y hemodinámicamente estables ha quedado bien establecida⁷⁸⁻⁸¹, y puede ser de interés en determinadas situaciones en que presenten lesiones que necesitan una vigilancia constante de la PaCO_2 , como es el caso de traumatizados craneoencefálicos que precisan hiperventilación.

La medición de la ETCO_2 tiene otra serie de aplicaciones, como el diagnóstico de tromboembolismo

pulmonar o la identificación del nivel óptimo de presión espiratoria positiva final (PEEP) a través de la estimación del espacio muerto, que por considerarse más específicas de unidades de larga estancia no se tratan en esta revisión⁸².

Detector colorimétrico de ETCO₂

Es un dispositivo de un solo uso, de peso ligero y reducidas dimensiones, que cabe perfectamente en el bolsillo de una bata. La medición del CO₂ la realiza a través de un indicador de pH que cambia de color de acuerdo con la proporción de CO₂ en el aire que lo atraviesa. Se trata de un método semicuantitativo que expresa el resultado en una escala de medición de tres rangos, A, B y C. El rango A es el color violeta y se corresponde con una concentración de CO₂ < 0,5 %, el B el color bronce y expresa un CO₂ del 0,5 % al 2 % y el C el color amarillo, que representa del 2 al 5 %. El color del indicador cambia de respiración en respiración⁸³. El detector tiene una duración limitada, de dos horas de promedio, salvo que se utilice ventilación con alta humidificación del aire, lo que acorta su vida útil a 15 minutos⁸⁴.

Este apartado ha demostrado su utilidad tanto en la verificación de la intubación correcta, que constituye su principal aplicación, como durante la RCP, con una elevada sensibilidad y especificidad^{58,83-88}. Puesto que tiene un espacio muerto de 38 ml., se desestimó inicialmente para la monitorización de niños, aunque posteriores estudios tanto en animales recién nacidos como en niños de más de 2 kg de peso han demostrado que también es eficaz en los pacientes pediátricos^{63,89,90}.

El detector colorimétrico presenta una limitación en su uso cuando son instilados por vía endotraqueal fármacos como adrenalina, lidocaína o atropina o se contamina con secreciones, que invalidan la lectura⁹¹. En todo caso es un dispositivo barato y manejable, susceptible de ser usado tanto en el medio hospitalario como extrahospitalario, eficaz y muy recomendable como instrumento de uso habitual en medicina de urgencias.

Bibliografía

- Bhavani-Shankar K, Moseley H, Kumar AY, et al. Capnometry and anaesthesia. *Can J Anaesth* 1992; 39: 617-632.
- Kalenda Z. The capnogram as a guide to the efficacy of cardiac massage. *Resuscitation* 1978; 6: 259-263.
- Smalhout B, Kalenda Z. An atlas of capnography. Vol. 1. Zeist, Netherlands: Kerckebosch, 1975: 28-33.
- Gudipati CV, Weil MH, Bisera J, et al. Expired carbon dioxide: a noninvasive monitor of cardiopulmonary resuscitation. *Circulation* 1988; 77: 234-239.
- Grundler W, Weil MH, Rakow EC. Arteriovenous carbon dioxide and pH gradients during cardiac arrest. *Circulation* 1986; 74: 1071-1074.
- Weil MH, Bisera J, Trevino RP, et al. Cardiac output and end-tidal carbon dioxide. *Crit Care Med* 1985; 13: 907-909.
- Trevino RP, Bisera J, Weil MH, et al. End-tidal CO₂ as a guide to successful cardiopulmonary resuscitation: A preliminary report. *Crit Care Med* 1985; 13: 910-911.
- Garnett AR, Ornato JP, González AR, et al. The clinical value of end-tidal carbon dioxide monitoring during cardiopulmonary resuscitation. *JAMA* 1987; 257: 512-515.
- Falk JL, Rackow EC, Weil MH. End-tidal carbon dioxide concentration during cardiopulmonary resuscitation. *N Engl J Med* 1988; 318: 607-611.
- Lepilin MG, Vasilyev AV, Bildinov OA, et al. End-tidal carbon dioxide as a non-invasive monitor of circulatory status during cardiopulmonary resuscitation: A preliminary clinical study. *Crit Care Med* 1987; 15: 958-959.
- Grundler W, Weil MH, Yamaguchi M, et al. The paradox of venous acidosis and arterial alkalosis during CPR. *Chest* 1984; 86: 282.
- Jhonson B, Weil MH, Maldonado F, et al. Mixed venous CO₂ vs lactate as an indicator of perfusion failure (abstract). *J Am Coll Cardiol* 1991; 17: 179A.
- Weil MH, Rackow EC, Trevino R, et al. Difference in acid-base state between venous and arterial blood during cardiopulmonary resuscitation. *N Engl J Med* 1986; 315: 153-156.
- Wiklund L, Söderberg D, Henneberg S, et al. Kinetics of carbon dioxide during cardiopulmonary resuscitation. *Crit Care Med* 1986; 14: 1015-1022.
- Hoogveen YL, Zock JP, Rispen P, et al. Influence of changes in cardiac output on the acid-base status of arterial and mixed venous blood. *Pflügers Arch* 1987; 410: 257-262.
- Ralston SH. Venous versus arterial blood gases during and after cardiopulmonary resuscitation in dogs. *Am J Emerg Med* 1984; 2: 358.
- Weil MH, Grundler W, Falk JI, et al. Selective acidosis in venous blood during CPR in human patients. *Circulation* 1984; 70: 382.
- Maier GW, Tyson GS, Olsen CO, et al. The physiology of external cardiac massage: High impulse cardiopulmonary resuscitation. *Circulation* 1984; 70: 86.
- Silver DJ, Murphy RJ, Babbs CF, et al. Cardiac output during CPR: A comparison of two methods. *Crit Care Med* 1981; 9: 419.
- Voorhees WD, Babbs CF, Tacker WA. Regional blood flow during cardiopulmonary resuscitation in dogs. *Crit Care Med* 1980; 8: 134-136.
- Ornato JP, González ER, Garnett AR, et al. Effect of cardiopulmonary resuscitation compression rate on end-tidal carbon dioxide concentration and arterial pressure in man. *Crit Care Med* 1988; 16: 241-245.
- Ornato JP, Levine RL, Young DS, et al. The effect of applied chest compression force on systemic arterial pressure and end-tidal carbon dioxide concentration during CPR in human beings. *Ann Emerg Med* 1989; 18: 732-737.
- Ward KR, Sullivan RJ, Zelenak RR, et al. A comparison of interposed abdominal compression during CPR and standard CPR by monitoring end-tidal pCO₂. *Ann Emerg Med* 1989; 18: 831-837.
- Ward KR, Menegazzi JJ, Zelenak RR, et al. A comparison of chest compressions between mechanical and manual CPR by mo-

- nitroting end-tidal PCO_2 during human cardiac arrest. *Ann Emerg Med* 1993; 22: 669-674.
25. Ornato JP, Garnett AR, Glauser FL. Relation between cardiac output and the end-tidal carbon dioxide tension. *Ann Emerg Med* 1990; 19: 1104-1106.
 26. White RD, Asplin BR. Out-of-hospital quantitative monitoring of end-tidal carbon dioxide pressure during CPR. *Ann Emerg Med* 1994; 23: 25-30.
 27. Sanders AB, Ewy GA, Bragg S, et al. Expired PCO_2 as a prognostic indicator of successful resuscitation from cardiac arrest. *Ann Emerg Med* 1985; 14: 948-952.
 28. Sanders AB, Ewy GA, Atlas M, et al. Expired PCO_2 as an index of coronary perfusion pressure. *Am J Emerg Med* 1985; 3: 147-149.
 29. Sanders AB, Kern KB, Otto CW, et al. End-tidal carbon dioxide monitoring during cardiopulmonary resuscitation from cardiac arrest (abstract). *Ann Emerg Med* 1988; 17: 393.
 30. Gazmuri RJ, von Planta M, Weil MH, et al. Arterial PCO_2 as an indicator of systemic perfusion during cardiopulmonary resuscitation. *Crit Care Med* 1989; 17: 237-240.
 31. Appleton TJ, Paradis NA, Martin GB, et al. Coronary perfusion pressures during CPR are higher in patients with eventual return of spontaneous circulation (abstract). *Ann Emerg Med* 1989; 18: 478.
 32. Kern KB, Sanders AB, Voorhees WD, et al. Dynamic changes in expired end-tidal carbon dioxide as a prognostic guide during CPR in dogs. *Ann Emerg Med* 1988; 17: 392-393.
 33. Sanders AB, Ewy GA, Bragg S, et al. Expired CO_2 as a prognostic indicator of successful resuscitation from cardiac arrest. *Am J Emerg Med* 1985; 14: 948-952.
 34. Barton CW, Callahan ML. Successful prediction by capnometry of resuscitation from cardiac arrest (abstract). *Ann Emerg Med* 1988; 17: 393.
 35. Sanders AB, Kern KB, Otto CW, et al. End-tidal carbon dioxide monitoring during cardiopulmonary resuscitation: A prognostic indicator for survival. *JAMA* 1989; 262: 1347-1351.
 36. Callahan M, Barton C. Prediction of outcome of cardiopulmonary resuscitation from end-tidal carbon dioxide concentration. *Crit Care Med* 1990; 18: 358-362.
 37. Sato S, Kimura T, Okubo N, et al. End-tidal CO_2 and plasma lactate level: a comparison of their use as parameters for evaluating successful CPR. *Resuscitation* 1993; 26: 133-139.
 38. Tuschmidt JA, Mecher CE. Predictors of outcome for critical illness. Shock and cardiopulmonary resuscitation. *Crit Care Clin* 1994; 10: 179-195.
 39. Martin GB, Gentile NT, Paradis NA, et al. Effect of epinephrine on end-tidal carbon dioxide monitoring during CPR. *Ann Emerg Med* 1990; 19: 396-398.
 40. Trillo G, von Planta M, Kette F. ETCO_2 monitoring during low flow states: clinical aims and limits. *Resuscitation* 1994; 27: 1-8.
 41. Morimoto Y, Kemmotsu O, Murakami F, et al. End-tidal CO_2 changes under constant cardiac output during cardiopulmonary resuscitation. *Crit Care Med* 1993; 21: 1572-1576.
 42. Blanc VF, Tremblay NA. Complications of tracheal intubation: Classification with a review of the literature. *Anesth Analg* 1974; 53: 202-213.
 43. Taryle DA, Chandler JE, Good JT, et al. Emergency room intubations. Complications and survival. *Chest* 1979; 75: 541-543.
 44. Stewart RD, Paris PM, Winter PM, et al. Field endotracheal intubation by paramedical personnel: Success rates and complications. *Chest* 1984; 85: 341-345.
 45. Pollard BJ, Junius F. Accidental intubation of the esophagus. *Anaesth Intens Care* 1980; 8: 183-186.
 46. Keenan RL, Boyan CP. Cardiac arrest due to anesthesia: A study of incidence and causes. *JAMA* 1985; 253: 2373-2377.
 47. Birmingham PK, Cheng FW, Ward RJ. Esophageal intubation: A review of detection techniques. *Anesth Analg* 1986; 65: 886-891.
 48. Birmingham PK, Howells TH, Reithmuller RJ. Signs of endotracheal intubation. *Anaesthesia* 1980; 35: 984-986.
 49. Stewart RD, LaRosee A, Stoy WA, et al. Use of a lighted stylet to confirm correct endotracheal tube placement. *Chest* 1987; 92:900-903.
 50. Charters P, Wildinson K. Tactile orotracheal tube placement test. *Anaesthesia* 1987; 42: 801-807.
 51. O'Brian D, Curran J, Conroy J, et al. Fibre-optic assessment of tracheal tube position. A comparison of tracheal tube position as estimated by fibre-optic bronchoscopy and by chest x-ray. *Anaesthesia* 1985; 40: 73-76.
 52. Hutton KC, Verdile VP, Yealy DM, et al. Prehospital and emergency department verification of endotracheal tube position using a portable, non-directable, fiberoptic bronchoscope (abstract). *Prehosp Dis Med* 1990; 5: 74.
 53. Linko K, Paloheimo M, Tammisto T. Capnography for detection of accidental oesophageal intubation. *Acta Anaesthesiol Scand* 1983; 27: 199-202.
 54. Murray IP, Modell JH. Early detection of endotracheal tube accidents by monitoring CO_2 concentration in respiratory gas. *Anesthesiology* 1983; 59: 344.
 55. Mikelson KS, Sterner SP, Ruiz E. Exhaled PCO_2 as a predictor of endotracheal tube placement (abstract). *Ann Emerg Med* 1986; 15: 657.
 56. Sayah AJ, Peacock WF, Overton DT. Value of end-tidal CO_2 measurement in the detection of esophageal intubation during cardiac arrest (abstract). *Ann Emerg Med* 1989; 18: 459.
 57. Ko FY, Hsieh KS, Yu CK. Detection of airway CO_2 partial pressure to avoid esophageal intubation. *Acta Paediatr Sin* 1993; 34: 91-97.
 58. MacLeod BA, Heller MB, Gerard J, et al. Verification of endotracheal tube placement with colorimetric end-tidal CO_2 detection. *Ann Emerg Med* 1991; 20: 267-270.
 59. Gravenstein JS, Paulus DA, Hayes TJ. Clinical indications. In: *Capnography in Clinical Practice*. Gravenstein JS, Paulus DA, Hayes TJ (Eds). Stoneham, MA, Butterworths, 1989: 43-49.
 60. Zbinden S, Schupfer G. Detection of esophageal intubation: The cola complication. *Anesthesia* 1989; 44: 81.
 61. Garnett AR, Gervin CA, Gervin AS. Capnographic waveforms in esophageal intubation: Effect of carbonated beverages. *Ann Emerg Med* 1989; 18: 387-390.
 62. 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: 333-337.
 63. Bhende MS, Thompson AE, Howland DF. Validity of a disposable end-tidal carbon dioxide detector in verifying endotracheal tube position in piglets. *Crit Care Med* 1991; 19: 566-568.
 64. Johnson BA, Weil MH. Redefining ischemia due to circulatory failure as dual defects of oxygen deficits and carbon dioxide excess. *Crit Care Med* 1991; 19: 1432-1438.
 65. Smalhout B. Expériences sur l'emploi et l'utilité de la capnographie dans les opérations intracrâniennes sous anesthésie générale. *Neurochirurgie* 1962; 8: 370-378.
 66. Muchada R, Litvan H, Galan J, et al. Evaluación de la perfusión tisular mediante la monitorización simultánea del perfil hemodinámico no invasivo y la capnografía. *Rev Esp Anesthesiol Reanim* 1993; 40: 185-190.
 67. Stock MC. Noninvasive carbon dioxide monitoring. *Crit Care Clin* 1988; 4: 511-526.

68. Weiller-Recamier J, Juniot A. Hypotension arterielle controlée? Ayez l'oeil sur le capnographe! *Agressologie* 1992; 33: 58-59.
69. Berryman CR. Electromechanical dissociation with directly measurable arterial blood pressures (abstract). *Ann Emerg Med* 1986; 15: 625.
70. Mayron R, Gaudio FE, Plummer D, et al. Echocardiography performed by emergency physicians: Impact on diagnosis and therapy. *Ann Emerg Med* 1988; 17: 150.
71. Wo CC, Shoemaker WC, Appel PL, et al. Unreliability of blood pressure and heart rate to evaluate cardiac output in emergency resuscitation and critical illness. *Crit Care Med* 1993; 21: 218-223.
72. Nunn JF, Hill DW. Respiratory dead space and arterial to end-tidal CO₂ tension difference in anesthetized man. *J Appl Physiol* 1960; 15: 383-389.
73. Hatle L, Rokseth R. The arterial to end-iratory carbon dioxide tension gradient in acute pulmonary embolism and other cardiopulmonary diseases. *Chest* 1974; 66: 352-357.
74. Tulou PP, Walsh PM. Measurement of alveolar carbon dioxide tension and maximal expiration as an estimate of arterial carbon dioxide tension in patients with airway obstruction. *Am Rev Respir Dis* 1970; 102: 921-926.
75. Dantzker DR. Ventilation-perfusion inequality in lung disease. *Chest* 1987; 91: 749-754.
76. Robin DE, Julian DG, Travis DM, et al. A physiological approach to the diagnosis of acute pulmonary embolism. *N Engl J Med* 1959; 260: 586-590.
77. Raemer DB, Francis D, Phiplip JH, et al. Variation in PCO₂ between arterial blood and peak expired gas during anesthesia. *Anesth Analg* 1983; 62: 1065-1069.
78. Tobin MJ. Respiratory monitoring in the intensive care unit. *Am Rev. Respir Dis* 1988; 138: 1625-1642.
79. Bowe EA, Boysen PG, Broome JA, et al. Accurate determination of end-tidal carbon dioxide during administration of oxygen by nasal cannulae. *J Clin Monit* 1989; 5: 105-110.
80. Liu SY, Lee TS, Bongard F. Accuracy of capnography in nonintubated patients. *Chest* 1992; 102: 1512-1515.
81. Tobias JD, Flanagan JF, Wheeler TJ, et al. Noninvasive monitoring of end-tidal CO₂ via nasal cannulas in spontaneously breathing children during the perioperative period. *Crit Care Med* 1994; 22: 1805-1808.
82. Blanch LL, Fernández R, Artigas A. Monitorización del CO₂ espirado en la evaluación del paciente con insuficiencia respiratoria aguda. *Arch Bronconeumol* 1992; 28: 383-387.
83. Jones BR, Dorsey MJ. Disposable end-tidal CO₂ requirements. *Anesthesiology* 1989; 71: A358.
84. Feinstein R, White PF, Westerfield SZ. Intraoperative evaluation of a disposable end-tidal CO₂ detector. *Anesthesiology* 1989; 71: A-161.
85. Gerard J, MacLeod BA, Heller MB, et al. Verification of endotracheal intubation using a disposable end-tidal CO₂ detector (abstract). *Prehosp Disaster Med* 1989; 4: 74.
86. Higgins D, Hayes M, Denman W, et al. Effectiveness of using end tidal carbon dioxide concentration to monitor cardiopulmonary resuscitation. *BMJ* 1990; 300: 581.
87. Goldberg JS, Rawle PP, Zehnder JL, et al. Chlorimetric end-tidal carbon dioxide monitoring for tracheal intubation. *Anesth Analg* 1990; 70: 191-194.
88. Rosenberg M, Block CS. A simple, disposable end-tidal carbon dioxide detector. *Anesth Prog* 1991; 38: 24-26.
89. Bhende MS, Thompson AE, Saville AL. Validity of a disposable end-tidal CO₂ detector in verifying endotracheal tube placement in infants and children. *Ann Emerg Med* 1992; 21: 142-145.
90. Kelly JS, Wilhoit RD, Brown RE, et al. Efficacy of the FEF colorimetric end-tidal carbon dioxide detector in children. *Anesth Analg* 1992; 75: 45-50.
91. Muir JD, Randalls PB, Smith GB. End tidal carbon dioxide detector for monitoring cardiopulmonary resuscitation. *BMJ* 1990; 301: 41-42.