



INCLUYE  
VERSIÓN  
DIGITAL

A. Hernández

# Situaciones Clínicas en Anestesia y en Cuidados Críticos

2.ª EDICIÓN



Avalado por:



**SEDAR**

Sociedad Española de Anestesiología, Reanimación  
y Terapéutica del Dolor

Recomendado por:



European Society of  
Anaesthesiology and  
Intensive Care

EDITORIAL MEDICA  
**panamericana**

# Analizador de oxígeno y pulsioximetría

# 1

*B. Domínguez Pérez y A. Hernández Martínez*

## Analizador de oxígeno

### RECUERDO

- La monitorización continua de la fracción inspirada de oxígeno ( $FiO_2$ ) es un requerimiento obligatorio de monitorización, que debe estar incorporada en toda máquina de anestesia.
- Determina la concentración de oxígeno ( $O_2$ ) en el circuito de respiración de la máquina de anestesia.
- Su alarma debe estar siempre programada de modo que cualquier mezcla de gases hipóxica pueda detectarse de inmediato.

### COMPOSICIÓN

- Consta de un sensor que habitualmente se coloca en la rama inspiratoria del circuito anestésico y que, en general, en las máquinas modernas, no requiere calibración.

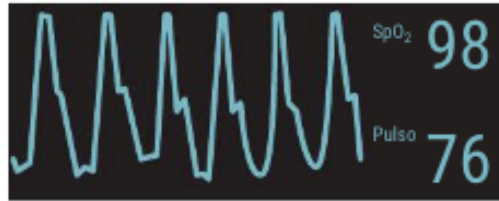
#### ★ ACTUACIÓN Y MANEJO

- Una concentración baja de  $O_2$  inspirado puede deberse a problemas en cualquier punto, desde el suministro de  $O_2$  de los gases centrales hasta el circuito de respiración de la máquina de anestesia.
- Ante una hipoxemia
  - Se debe comprobar que la concentración de gases administrados no sea hipóxica, y la primera medida a adoptar es aumentar la  $FiO_2$ .
  - Se debe intentar ventilar a presión positiva y, si no es posible, hay que comprobar posibles fugas en el circuito.
  - Se debe comprobar que las presiones de suministro del gas son correctas.
  - Se debe oxigenar al paciente con una fuente externa al respirador para asegurar una adecuada administración de  $O_2$ .

## Pulsioximetría

### RECUERDO

- Es el método de elección para estimar la saturación de oxígeno arterial ( $SpO_2$ ) y detectar hipoxemia. Aunque es menos precisa que los métodos invasivos, sólo hay una diferencia real de menos del 2 %, sin apenas relevancia clínica.



**Figura 1-1.** Curva de saturación que muestra el valor de saturación y la frecuencia de pulso.

- Combina los principios de la espectrofotometría y la pletismografía para medir de modo continuo y no invasivo la SpO<sub>2</sub>, dando además información sobre la frecuencia y el ritmo cardíacos:
  - La espectrofotometría basada en la ley de absorción de Beer-Lambert ( $I = I_0 \times e^{-c \cdot d \cdot E}$ ) mide las porciones de luz transmitida y/o absorbida por parte de la hemoglobina (Hb). La absorbancia de la luz por la Hb varía con su nivel de oxigenación. La hemoglobina oxigenada (oxi-Hb) y la desoxigenada o reducida (desoxi-Hb) tienen espectros de absorbancia diferentes.
  - La pletismografía permite obtener una curva de lectura (**fig. 1-1**).
- Analiza sólo la parte pulsátil de la señal óptica, por lo que es necesaria la presencia de pulso arterial para que se reconozca alguna señal; si no hay ritmo cardíaco el pulsioxímetro es incapaz de dar ningún valor.
- La correlación entre la SpO<sub>2</sub> y la presión arterial de oxígeno (PaO<sub>2</sub>) está determinada por la curva de disociación de la Hb (v. **cap 29**).

## COMPOSICIÓN

- Dispositivo habitualmente en forma de pinza que suele colocarse en el dedo o en el lóbulo de la oreja y consta de dos diodos y un fotodetector.
- Los diodos (*light emitting diode*, LED) emiten luz monocromática cada 5-10  $\mu$ s, con diferente longitud de onda:
  - A 660 nm emiten luz roja, absorbida principalmente por la desoxi-Hb o Hb reducida.
  - A 940 nm emiten luz infrarroja, absorbida principalmente por la oxi-Hb.
- El fotodetector, tras procesar la absorción de ambas longitudes de onda, las convierte en un cociente, obteniéndose un valor numérico final (SpO<sub>2</sub>).
- En definitiva, el pulsioxímetro usa la cantidad de luz roja e infrarroja absorbida para determinar finalmente la proporción de Hb ligada al O<sub>2</sub>. Dicha cantidad de luz absorbida fluctúa con el ciclo cardíaco.



### CAUSAS DE INEXACTITUD

#### Dishemoglobinemias

- *Metahemoglobinemia*: la metahemoglobina (meta-Hb) absorbe luz en cantidad similar en ambas longitudes de onda (660 nm y 940 nm), de modo que los niveles altos de meta-Hb causan un valor de SpO<sub>2</sub> en torno al 85 %, por lo que en general dan lecturas falsamente bajas. Las sulfamidas, ciertos anestésicos locales (prilocaína, lidocaína), los nitratos y el óxido nítrico, entre otros, así como los hemoderivados pueden generar niveles peligrosos de meta-Hb. Su presencia es clínicamente significativa porque reduce la capacidad de la Hb para transportar O<sub>2</sub>, causando hipoxia tisular.
- *Carboxihemoglobinemia*: la carboxihemoglobina (carboxi-Hb) puede estar aumentada en casos de intoxicación por monóxido de carbono. La carboxi-Hb tiene una absorbancia similar a la oxi-Hb a 660 nm, de modo que sobreestimaré y dará mediciones de SpO<sub>2</sub> falsamente elevadas pese a que exista una hipoxemia franca.

Continúa



### Anemias graves

La anemia en sí misma no causa alteraciones en la lectura de la  $SpO_2$ . Sin embargo, en pacientes con anemia e hipoxemia, el pulsioxímetro puede sobrestimar la gravedad de la hipoxemia dando lecturas más bajas de la real.

### Contrastes o colorantes

Ciertos contrastes en sangre son capaces de absorber luz en longitudes de onda de entre 660 y 940 nm, por lo que interfieren en la lectura del pulsioxímetro. El azul de metileno es el compuesto que más interacciona; imita a la desoxi-Hb dando lecturas de saturación baja no reales. Otros compuestos que en menor medida falsean su lectura son: verde de indocianina, índigo carmín, fluoresceína, bilirrubina y pigmentos cutáneos. Dichas lecturas falsamente bajas pueden persistir hasta 20 minutos.

### Hemoglobinopatías

Se ha observado que algunas variantes raras de Hb (como Hb-Bonn, Hb-Hammersmith, Hb-M y Hb-Köln) reducen la  $SpO_2$  registrada. La Hb fetal (Hb-F) no tiene efecto sobre la  $SpO_2$  medida.

### Interferencias

Pueden dar valores de saturación falsos:

- Ambiente muy luminoso (infrarrojos, fluorescentes, lámparas quirúrgicas con luz de xenón).
- Artefactos de movimiento o interferencias con otros aparatos (temblor, ruido, electrobisturil).
- Obstáculos a la absorción de la luz (pintañas).
- Pérdida del componente pulsátil: presencia de arritmias que distorsionan los puntos de máxima y mínima absorción, congestión venosa (insuficiencia cardíaca derecha o insuficiencia tricúspida grave), mala perfusión periférica, ya sea producida por bajo gasto cardíaco, hipotermia o aumento de resistencias periféricas.

### Inconvenientes

- No detecta la insuficiencia respiratoria, debido a que no mide la  $PaO_2$ . Un paciente que reciba una alta  $FiO_2$  puede estar hipoxémico pese a que la lectura de la  $SpO_2$  sea del 100 %.
- No mide en tiempo real. La curva de disociación de la Hb tiene forma sigmoide, por lo que hay un desfase de hasta 20 segundos entre la caída de la  $PaO_2$  en sangre y el descenso en la  $SpO_2$ .
- Los valores se obtienen por extrapolación, por lo que el pulsioxímetro en lecturas por debajo del 80 % pierde exactitud y fiabilidad.



### ORIENTACIÓN PARA EL EXAMEN

Se deben conocer bien el funcionamiento del pulsioxímetro y sus bases físicas de funcionamiento. Las causas de inexactitud son con frecuencia preguntadas de manera directa o indirecta.

### LECTURAS RECOMENDADAS

- Hanning CD, Alexander-Williams JM. Fortnightly Review. Pulse oximetry: a practical review. *BMJ* 1995;311:367-70.
- Pedersen T, Dyrhøj Petersen B, Møller AM. Pulse oximetry for perioperative monitoring (Cochrane Review). *The Cochrane Library*, Issue 2 2002. Oxford: Update Software.
- Sola A, Chow L, Rogido M. Oximetría de pulso en la asistencia neonatal en 2005. Revisión de los conocimientos actuales. *An Pediatr (Barc)* 2005;62:266-81.
- Ventosos Alonso S. Sistema óptico autónomo para la medida de parámetros biomédicos. Trabajo final de carrera. Ingeniería técnica de telecomunicaciones. Escuela Politécnica Superior de Castelldefels. Universidad Politécnica de Cataluña, 2010.

# Capnografía

# 2

A. Hernández Martínez

## RECUERDO

- El capnógrafo es un instrumento de monitorización no invasiva que permite registrar la onda del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) durante el ciclo respiratorio y su valor numérico. La representación gráfica obtenida se denomina capnograma.
- El capnógrafo se basa en el principio de Lund: *cualquier molécula con dos átomos diferentes absorberá radiación infrarroja*, de modo que el CO<sub>2</sub> absorbe luz infrarroja en proporción a su concentración. La fracción absorbida se compara con un gas de referencia, por lo que es necesaria su calibración.
- Se utiliza para valorar o cuantificar la concentración de CO<sub>2</sub> al final de la ventilación (*end-tidal* de CO<sub>2</sub> o EtCO<sub>2</sub>). El EtCO<sub>2</sub> refleja de manera indirecta la presión arterial de CO<sub>2</sub> (PaCO<sub>2</sub>).
- En presencia de un gasto cardíaco estable, la PaCO<sub>2</sub> es inversamente proporcional a la ventilación alveolar (V<sub>A</sub>):

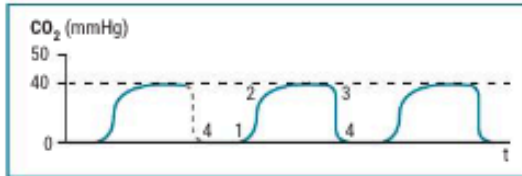
$$PaCO_2 = \alpha 1/V_A$$

## INTERPRETACIÓN DEL CAPNOGRAMA

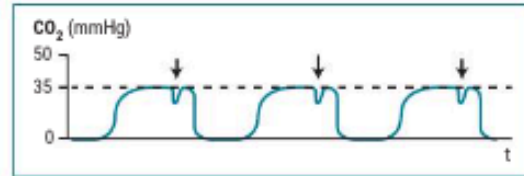
- El CO<sub>2</sub> sólo está presente en el gas espirado; en el inhalado es despreciable.
- La onda del capnograma (**fig. 2-1**) se inicia con el comienzo de la espiración (1), subiendo de forma brusca hasta que todo el gas alveolar se mezcla con el existente en el espacio muerto carente de CO<sub>2</sub> (2). Luego, la curva adquiere una forma lineal o zona *plateau* o de meseta (2-3) que representa el equilibrio entre el CO<sub>2</sub> del alvéolo con el del gas contenido en el espacio muerto; es decir, la mayoría del CO<sub>2</sub> es alveolar puro. El punto final de esta meseta (3) corresponde al EtCO<sub>2</sub>, y representa los niveles alveolares medios de CO<sub>2</sub>; en dicho punto, la espiración termina, iniciándose de nuevo la inspiración con la consiguiente caída de los niveles de CO<sub>2</sub> a cero (4) y registrándose una línea basal inspiratoria donde el valor del CO<sub>2</sub> es cero (4-1).

## INFORMACIÓN OBTENIDA

- Permite confirmar la correcta posición del tubo endotraqueal (TET), con observación de las fases inspiratoria y espiratoria.
- Permite observar la frecuencia respiratoria.
- Permite obtener el EtCO<sub>2</sub>, cuyo valor es equiparable a la PaCO<sub>2</sub>, pese a ser 2-5 mmHg menor que ésta; dicha diferencia refleja el espacio muerto alveolar (áreas ventiladas pero no perfundidas), y puede verse aumentada al disminuir el EtCO<sub>2</sub>, como ocurre en patologías en las que aumenta el espacio muerto (gasto cardíaco bajo, determinadas enfermedades pulmonares como enfermedad pulmonar obstructiva crónica [EPOC], fibrosis pulmonar o embolia pulmonar, etc.).
- Permite detectar una relajación muscular inadecuada (**fig. 2-2**).
- Permite la detección de eventos intraoperatorios: caída o ausencia del EtCO<sub>2</sub> o aumento del EtCO<sub>2</sub>.



**Figura 2-1.** Representación gráfica del capnograma.



**Figura 2-2.** Trazado del capnograma que muestra una falta de relajación muscular.



## EVENTOS INTRAOPERATORIOS

### Descenso o caída progresiva del EtCO<sub>2</sub>

- Funcionamiento incorrecto u oclusión parcial del TET.
- Mal manejo del respirador:
  - Uso de presión positiva telespiratoria (PEEP) elevada y/o de volúmenes corrientes (Vt) altos.
  - Frecuencias respiratorias elevadas (hiperventilación).
- Cualquier situación en la que aumente el espacio muerto alveolar:
  - Causas respiratorias:
    - Embolia aérea, grasa, amniótica o pulmonar.
    - EPOC.
  - Caída del gasto cardíaco:
    - Hipotensión y/o bradicardia.
    - Manipulación quirúrgica del corazón o vasos torácicos.
- Disminución de la tasa metabólica:
  - Hipotermia.
  - Hipotiroidismo.

### Pérdida del trazado o caída brusca del EtCO<sub>2</sub>

- Funcionamiento incorrecto, desconexión del circuito del TET u oclusión total del TET.
- Intubación esofágica (puede haber falsos positivos sólo en las primeras respiraciones debido al posible CO<sub>2</sub> residual existente en el tracto digestivo alto).
- Broncoespasmo grave.
- Neumotórax masivo o bilateral.
- Embolia masiva.
- Hemorragia masiva.
- Hipotensión grave (shock anafiláctico).
- Paro cardíaco.

### Elevación del EtCO<sub>2</sub>

- Aumento de la tasa metabólica (producción de CO<sub>2</sub>):
  - Hipertermia maligna.
  - Hipertiroidismo.
  - Tirotoxicosis.
  - Sepsis.
- Disminución o cambios en la eliminación del CO<sub>2</sub>:
  - Reinalación del CO<sub>2</sub> (flujos muy bajos usados en el circuito anestésico, agotamiento de la cal con mala absorción del CO<sub>2</sub>).
  - Hipoventilación o tiempos espiratorios insuficientemente largos. La presencia de un neumotórax puede causar un aumento del EtCO<sub>2</sub> si se está ventilando por presión control ya que el Vt será cada vez menor (hipoventilación).
  - *Shunt* derecha-izquierda (intracardiaco o intrapulmonar).
- Otras causas de aumento del CO<sub>2</sub>:
  - Excesiva producción de catecolaminas.
  - Inyección de adrenalina subcutánea.
  - Administración de sangre o bicarbonato [debido al efecto tampón].

Continúa



- Alcalosis metabólica.
- Absorción del CO<sub>2</sub> usado en laparoscopia, toracoscopia o artroscopia.
- Despinzamiento aórtico.
- Liberación del torniquete.



## ACTUACIÓN Y MANEJO

### Pérdida o caída brusca del EtCO<sub>2</sub>

- Descartar las posibles causas de solución inmediata (desconexión del circuito, oclusión del TET, mala colocación de parámetros ventilatorios, etc.) y comprobar el correcto funcionamiento del capnógrafo.
- Comprobar los restantes signos vitales, palpar pulsos y descartar un paro cardíaco.
- Ventilar manualmente para comprobar la correcta entrada de aire bilateral.
- Descartar un gasto cardíaco bajo, si no se detecta pulso, detener todos los anestésicos e iniciar maniobras de soporte vital avanzado. La presencia del capnógrafo permite no detener la reanimación cardiopulmonar para valorar pulsos ya que es un indicador fiable de la recuperación del gasto cardíaco (se recomienda su uso en cualquier paro cardíaco) y sólo deja de ser más fiable que la palpación de pulsos ante la administración de altas dosis de adrenalina o bicarbonato.

### Aumento mantenido e inexplicable del EtCO<sub>2</sub>

- Descartar de inmediato la presencia de hipertermia maligna.
- Descartar otras causas potenciales y comprobar el correcto funcionamiento del capnógrafo.
- Comprobar los parámetros ventilatorios.



## ORIENTACIÓN PARA EL EXAMEN

Deben conocerse la interpretación del capnograma y la detección de diferentes eventos según su trazado gráfico así como su manejo inmediato.

## LECTURAS RECOMENDADAS

- Carrillo-Esper R, Carrillo-Córdova JR, Carrillo-Córdova LD. La curva de capnografía y la boa que se comió al elefante. *Gac Med Mex* 2011;34:42-5.
- Gravenstein JS, Jaffe MB, Paulus David A. *Capnography: clinical aspects. Carbon dioxide over time and volumen.* Cambridge: Cambridge University Press, 2004.
- Shankar K. Interpretation the capnograms. Harvard Medical School, Boston. Disponible en: <http://www.capnography.com>
- Siobal MS. Monitoring exhaled carbon dioxide. *Respir Care* 2016;61:1397-416.
- Thompson JE, Jaffe MB. Capnographic waveforms in the mechanically ventilated patient. *Respir Care* 2005;50:100-8; discussion 108-9.

## Presión arterial no invasiva

# 3

A. M. Martínez Castro y A. Hernández Martínez

### RECUERDO

- La presión arterial (PA) constituye una de las constantes básicas que se deben monitorizar ya que sus valores representan una buena aproximación de la perfusión tisular.
- La PA refleja tanto el volumen de eyección cardíaco como la elasticidad de las paredes arteriales, de modo que se define como el gasto cardíaco (GC) por las resistencias vasculares sistémicas (RVS):

$$PA = GC \times RVS$$

- Se distinguen dos tipos: la presión arterial sistólica (PAS), que depende más de la eyección cardíaca, y la presión arterial diastólica (PAD), que depende más del tono vascular e indica la presión mínima durante la relajación diastólica.
- La presión diferencial o presión de pulso es la diferencia entre ambas (PAS – PAD).
- La presión arterial media (PAM) es la presión promedio medida en un ciclo cardíaco completo, y equivale a la PAD más 1/3 de la presión diferencial o presión de pulso:

$$PAM = PAD + 1/3 (PAS - PAD)$$

- La PAM proporciona el valor de presión con que la sangre llega a los tejidos, por lo que indirectamente da información sobre el estado de la perfusión tisular. La mayoría de los tejidos requieren una PAM > 65 mmHg para una perfusión adecuada.
- Las RVS se pueden estimar:

$$RVS = [(PAM - PVC)/GC] \times 80$$

siendo PVC la presión venosa central. Un aumento en las RVS elevará la PA; sin embargo aumentará en mayor medida la PAD, por lo que la presión de pulso disminuirá.

### MONITORIZACIÓN NO INVASIVA DE LA PRESIÓN ARTERIAL

#### Monitorización manual

- El manguito debe ser adecuado al tamaño del brazo. Ha de quedar a la altura del corazón, y el centro de la cámara (o la marca del manguito) debe coincidir con la arteria braquial, dejando libre la fosa antecubital, para que no toque el fonendoscopio.
- Se establece la PAS por palpación de la arterial radial y se hincha el manguito 20 mmHg por encima de la PAS estimada. Se desincha a un ritmo de 2-3 mmHg/segundo. Se usa la fase I de Korotkoff (aparición del primer ruido audible) para la PAS y la V (desaparición del ruido) para la PAD y se realizan al menos dos mediciones. Si hay diferencia entre ambos brazos, se escoge el de mayor PA.



## Monitorización automática

- Es el método de medición de la PA más usado en quirófano. Siempre debe utilizarse, excepto que se coloque una línea arterial invasiva. Se recomiendan lecturas cada 3 minutos en la inducción y en el mantenimiento anestésico en pacientes de riesgo medio-alto, y cada 5 minutos en pacientes de bajo riesgo.
- Se basa en las pulsaciones arteriales que causan oscilaciones en la presión registrada por el manguito; dichas oscilaciones son recogidas por un amplificador y procesadas por un microprocesador. El punto donde las oscilaciones detectadas por el manguito son máximas equivale a la PAM. Los valores de PAS y PAD son calculados por extrapolación, basados en la media y en dichas oscilaciones.
- En valores extremos pierde exactitud, y en presencia de arritmias la medición es imprecisa pues la técnica oscilométrica requiere un pulso uniforme.
- Requiere mantenimiento y calibración. En general se relaciona bien con las técnicas invasivas, pero puede infraestimar o sobrestimar la presión sistólica entre 7 y 9 mmHg.



### CONSIDERACIONES ESPECÍFICAS

#### Causas de sobreestimación

- Utilización de manguitos estrechos.
- Utilización de un manguito mal ajustado que quede flojo.
- Determinación de la PA en una extremidad por debajo del nivel del corazón.
- Determinación de la PA en pacientes con tejidos poco distensibles (paciente tiritando) o poco compresibles (obesos, arteriosclerosis grave).
- PA muy elevadas.

#### Causas de infraestimación

- Utilización de manguitos demasiado anchos.
- Compresión desigual de la arteria (p. ej., la humeral) en toda su longitud por un ajuste inadecuado del manguito a la circunferencia del brazo.
- Determinación de la PA en un miembro por encima del nivel del corazón.
- Determinación de la PA en pacientes con disminución del flujo sanguíneo (hipotensos con vasoconstricción periférica).
- Deshinchado demasiado rápido.
- PA muy bajas.

## PRECAUCIONES

- Se debe evitar la colocación del manguito en las extremidades de pacientes con anomalías vasculares (p. ej., fistulas para diálisis) o en pacientes con mastectomía.
- También debe evitarse en la extremidad portadora de un catéter venoso por el que se administre medicación.
- Si se prevé una cirugía prolongada en la que las tomas de PA serán frecuentes, hay que asegurarse de la correcta colocación del manguito y proteger el brazo con un vendaje algodónado para evitar el probable daño que puede causar en el brazo el inflado repetido del manguito de presión.
- En pacientes con vasculopatía periférica puede haber discrepancia de presión entre las extremidades; en este caso, la medición válida será la cifra más elevada.



### ORIENTACIÓN PARA EL EXAMEN

Es importante entender y diferenciar la PA, la PAM y la presión de pulso. También se deben conocer las causas que infraestiman o sobrestiman su valor, así como las precauciones que hay que tomar durante su monitorización.

## LECTURAS RECOMENDADAS

- Fortin J, Wellisch A, Maier K. CNAP—Evolution of continuous non-invasive arterial blood pressure monitoring. *Biomed Tech (Berl)* 2013;58:1-2.
- González Santos S, Nugabure Bujedo B, Uría Azpiazu A. Actualizaciones en anestesiología para enfermería. Departamento de Sanidad y Consumo. Hospital de Donostia, San Sebastián, 2010.
- Kuck K, Baker PD. Perioperative noninvasive blood pressure monitoring. *Anesth Analg* 2018;127:408-11.
- Mancia G, De Backer G, Dominiczak A et al. Guías de práctica clínica para el tratamiento de la hipertensión arterial 2007. *Rev Esp Cardiol* 2007;60:968.e1-e94.
- Meidert AS, Nold JS, Hornung R, et al. The impact of continuous non-invasive arterial blood pressure monitoring on blood pressure stability during general anaesthesia in orthopaedic patients. *Eur J Anaesthesiol* 2017;34:716-22.
- Pickering TG, Hall JE, Appel LJ et al.; Subcommittee of Professional and Public Education of the American Heart Association Council on High Blood Pressure Research. Recommendations for blood pressure measurement in humans and experimental animals. Part 1: Blood pressure measurement in humans: a statement for professionals from the Subcommittee of Professional and Public Education of the American Heart Association Council on High Blood Pressure Research. *Hypertension* 2005;45:142-61.