

## Tema 8

**Monitorización durante la anestesia. ECG. Valoración de constantes hemodinámicas. Técnicas invasivas y no invasivas. Catéter de Swan-Ganz. Detección de gasto cardíaco por termodilución y eco doppler transesofágico. Oximetría de pulso. Capnografía. Monitorización de gases anestésicos. Espirometría de flujo lateral. Monitorización de función neuromuscular. Potenciales somatosensoriales. Indicaciones.**

### 1. RIESGO ANESTÉSICO Y MONITORIZACIÓN

El riesgo de un evento mortal en anestesia se ha estimado entre 1/20.000. En la mayoría de los casos, el estado previo de salud constituye el factor determinante más importante ya que la existencia de enfermedades cardiorespiratorias o neumológicas graves predispone a la aparición de complicaciones perioperatorias graves. No obstante, esporádicamente se producen complicaciones graves relativamente inesperadas en pacientes sin factores de riesgo conocidos. Estos casos se han relacionado con situaciones de hipovolemia, hipoxia, hipotensión, ventilación inadecuada, etc. no detectadas por falta de atención, experiencia del anestesiólogo y, sobre todo, a la ausencia de información precoz sobre el estado funcional del paciente. Al objeto de establecer una estrategia de actuación anestésica adecuada a cada circunstancia que permita la identificación precoz de los problemas se recomienda la monitorización de los pacientes anestesiados.

Monitorización es el proceso de reconocimiento y evaluación periódica de potenciales problemas fisiológicos e implica observar y vigilar al paciente, utilizar una instrumentación adecuada a cada caso y capacidad para interpretar de forma correcta los datos. De la valoración conjunta de esta información se adoptarán las decisiones terapéuticas correctoras tendentes a disminuir las complicaciones perioperatorias. La monitorización aumenta la seguridad del paciente, permite la identificación precoz de problemas que pueden originar lesiones graves o irreversibles, incrementa la precisión y especificidad de los juicios clínicos y evita la fatiga y la falta de atención del anestesiólogo mientras practica técnicas rutinarias y repetitivas.

La práctica de la anestesia requiere la monitorización de un mínimo de constantes y funciones vitales mediante la instrumentación adecuada. Estos mínimos han sido aceptados por la mayoría de las sociedades anestesiológicas mundiales (Figura 1 al final del tema). Sin embargo, la presencia de una instrumentación adecuada no exime de realizar periódicas comprobaciones del estado del paciente mediante la inspección, palpación o auscultación. Esto se debe a que los instrumentos de monitorización pueden ofrecer una información errónea o incompleta al estar sometidos a posibles interferencias procedentes de otros instrumentos. Además, la monitorización es costosa y aporta riesgos adicionales a la anestesia (realización de prácticas invasivas) por lo que debe existir una adecuada proporción entre el nivel de monitorización, las características del paciente y el tipo de intervención quirúrgica.

### 2. MONITORIZACIÓN CARDIOVASCULAR

El objetivo consiste en asegurar la eficacia de la función cardiocirculatoria durante toda la anestesia. En cualquier tipo de acto anestésico se recomienda: (i) la realización de un trazado electrocardiográfico continuo, (ii) la determinación de la presión arterial (PA) y de la frecuencia cardíaca (FC) al menos cada 5 minutos y, (iii) la evaluación continua de la función circulatoria mediante algunos de los siguientes métodos: palpación del pulso, auscultación de los sonidos cardíacos o monitorización de un trazado de la PA (por ejemplo mediante pletismografía).

#### Electrocardiografía (ECG):

El objetivo consiste en la detección precoz de arritmias, isquemia miocárdica, alteraciones electrolíticas, disfunción de marcapasos, etc.

Habitualmente se utilizan tres electrodos en posición habitual: rojo en brazo derecho (RA), amarillo en brazo izquierdo (LA) y verde en pierna izquierda (LF). La derivación II es la más utilizada ya que detecta fácilmente la onda p del complejo y los signos de isquemia de la cara inferior. Otros monitores disponen de cinco electrodos: los anteriormente descritos mas otro de color negro situado en pierna derecha (RF) y otro de color blanco colocado en situación precordial correspondiente a V (5º EIC en línea axilar anterior).

Existen monitores que realizan un análisis continuo de los cambios en el segmento ST avisando mediante señal acústica en caso de sobrepasar los límites establecidos.

La señal ECG está sometida a frecuentes interferencias durante el acto anestésico que pueden producir artefactos (bisturí eléctrico, mala fijación o despegamiento inadvertido de electrodos, impregnación de electrodos por fluidos corporales o antiséptico, etc).

### **Presión arterial (PA)**

La determinación periódica de la PA durante el acto anestésico permite el establecimiento de medidas terapéuticas específicas (aporte de soluciones intravenosas, administración de fármacos inotrópicos o vasoactivos, modificación de la posología de agentes anestésicos, etc.) tendentes a mantener una presión de perfusión tisular adecuada.

Se distinguen dos tipos de técnicas de determinación de la PA:

#### *No invasiva o indirecta*

- **Método manual:** Es el método tradicional. Consiste en la colocación de un manguito de presión en el brazo y su inflado por encima de la PA sistólica (PAS). Después se desinfla lentamente (3 mm Hg/seg o 2 mm Hg/latido cardíaco). La restauración del flujo sanguíneo se puede detectar mediante:
  - La auscultación de los ruidos de Korotkoff, asumiendo la PAS como la auscultación del primer ruido y la PA diastólica (PAD) como la presión a la que los ruidos se apagan o desaparecen.
  - Palpación del pulso radial, asumiendo PAS como la presión a la que se restaura el pulso.
  - Oscilometría, observando las oscilaciones de la aguja del manómetro. La PAS coincide con la presión que produce las oscilaciones más amplias.
- **Método automático (Presión Arterial No Invasiva, PANI):** Este sistema utiliza un dispositivo mecánico que produce inflado y desinflado periódico de un manguito similar al sistema manual. La restauración del flujo sanguíneo se detecta mediante un sistema doppler o más frecuentemente mediante un sistema que detecta las oscilaciones del pulso (oscilometría). Las oscilaciones de la presión del manguito son analizadas por un microprocesador que cuantifica la PA media (PAM) y extrapola la PAS y la PAD. En la monitorización rutinaria deben evitarse determinaciones muy frecuentes (inferiores a 2 minutos) para evitar tromboflebitis, congestión venosa, síndrome compartimental o lesión del nervio cubital.

Ambos métodos pueden producir errores en la estimación de la PA:

- **Por sobreestimación:**
  - Utilización de manguitos estrechos. La anchura ideal corresponde al 30-40% de la circunferencia de la extremidad.
  - Utilización de un manguito mal ajustado (flojo).
  - Determinación de PA en una extremidad por debajo del nivel del corazón.
  - Determinación de PA en pacientes con tejidos poco distensibles (paciente tiritando) o poco compresibles (obesos, presencia de arteriosclerosis severa).
- **Por infraestimación:**
  - Pacientes con disminución del flujo sanguíneo (shock cardiogénico, utilización de vasoconstrictores).
  - Utilización de manguitos demasiado anchos.
  - Determinación de PA en un miembro por encima del nivel del corazón.
  - Desinflado demasiado rápido.
  - Compresión desigual de la arteria (por ejemplo la humeral) en toda su longitud por ajuste inadecuado del manguito a la circunferencia del brazo.

#### *Invasivo o directo*

Este método consiste en la introducción de un catéter dentro de la luz arterial a través del cual se transmite la PA a otro catéter relleno de solución salina que termina en un Transductor de Presión. Este dispositivo está compuesto de un cristal de silicón que convierte el desplazamiento mecánico producido por los cambios de PA en cambios de voltaje, lo que permite representar de forma continua en un monitor la forma del trazado de la PA y la obtención de los valores de PAS, PAD y PAM.

La finalidad de esta técnica es doble:

- Permite un control permanente de la presión arterial y

- Posibilidad de extracción de muestras repetidas de sangre arterial para la realización de técnicas analíticas.

La determinación continua de la PA está indicada:

- Cuando se prevea la posibilidad de inestabilidad cardiovascular (por ejemplo, necesidad de administración masiva de líquidos al espacio vascular), cirugía intracraneal, traumatismos, sospecha o existencia de enfermedad cardiovascular grave.
- Cuando se realiza manipulación directa del sistema cardiovascular (cirugía cardíaca o vascular, hipotensión controlada, hipotermia).
- Cuando existe imposibilidad para determinar la PA por métodos indirectos (por ejemplo en la obesidad mórbida).

Aunque existen diversos métodos y localizaciones para su realización, la técnica más extendida consiste en la punción percutánea de la arteria radial. Existen otras localizaciones para la cateterización arterial aunque presentan algunas peculiaridades: arteria cubital, humeral (aunque no tiene colaterales), axilar (no tiene colaterales, preferible utilizar la axilar izquierda por riesgo de embolización de arteria carótida), femoral (no tiene colaterales; de gran valor para el control de la perfusión renal aunque presenta mayor peligro de infección), dorsal del pie (no utilizar en diabéticos o pacientes con vasculopatías periféricas por riesgo de producir isquemia); tibial posterior (valiosa en niños y recién nacidos); temporal superficial (útil en niños).

Las complicaciones más frecuentes de esta técnica son:

- Isquemia: Por trombosis de la arteria canalizada e insuficiencia del sistema colateral para compensar el déficit vascular. Para prevenir este evento se evita en lo posible la canalización de arterias sin sistema colateral eficaz. En el caso particular de la arteria radial se realiza la denominada Prueba de Allen antes de la canalización para observar cual es la arteria dominante. En esta prueba, el paciente cierra fuertemente el puño mientras el explorador ocluye, mediante presión digital de las arterias radial y cubital, el flujo sanguíneo distal. Mediante liberación alternativa de una u otra arteria al abrir la mano se comprueba la eficacia del sistema colateral cubital en la irrigación de la mano. La presencia de un irrigación cubital insuficiente contraindica la punción radial en esa mano ante la posibilidad de producir isquemia. Sin embargo, la especificidad de la prueba no es total, ya que se han presentado casos de isquemia en pacientes con Prueba de Allen normal.
- Trombosis: La incidencia es variable (0-14%) y aumenta cuanto mayor es el tiempo de canalización o por la coexistencia de enfermedades como shock prolongado o enfermedad vascular preexistente. Para evitar la trombosis del catéter, el dispositivo dispone de un sistema de irrigación continua a presión.
- Otras complicaciones menos frecuentes consisten en la producción de hematomas, fístulas arterio-venosas o aneurismas e infecciones en el sitio de punción, aunque estas últimas son más infrecuentes que las que se producen en los catéteres centrales (ver mas adelante).

### **Presión Venosa Central (PVC)**

La PVC depende básicamente de tres factores: i) El volumen intravascular. ii) El tono intrínseco de contracción de los vasos. iii) la capacidad funcional del corazón derecho. Su cuantificación es, por tanto, un índice muy apreciado del estado de la precarga del ventrículo derecho por lo que en Anestesiología es frecuente la práctica de inserción de catéteres con esta finalidad (Ver Tema 4).

No obstante, conjuntamente con la determinación de la PVC, la cateterización de una vía central tiene otras muchas indicaciones en Anestesiología y Reanimación que pueden ser divididas en:

- Procedimientos en pacientes cardiopatas con disfunción ventricular actual o esperable (valvulopatía, cardiopatía isquémica grave, miocardiopatía dilatada, etc.), hipertensión pulmonar, tromboembolismo pulmonar, cirugía cardíaca (sustitución valvular, revascularización miocárdica) o aórtica (aneurismectomía torácico o abdominal).
- Monitorización en situaciones graves (disfunción multiorgánica, sepsis, shock, síndrome de distress respiratorio).
- Otras indicaciones: administración de fármacos irritantes para las vías periféricas o nutrición parenteral, perfusión rápida intravenosa de grandes volúmenes de líquidos, aspiración de émbolos gaseosos de la aurícula derecha, presencia de malos accesos venosos periféricos, proporcionar un acceso para la colocación de un marcapasos endocavitario o un catéter en la arteria pulmonar (ver mas adelante).

La técnica habitual consiste en la canalización de la vena yugular interna. Es preferible utilizar la vena yugular interna derecha ya que no tiene válvulas y es recta y corta. Se recomienda abordaje medial y técnica de Seldinger (con alambre-guía). Como alternativa se puede utilizar la yugular interna izquierda (riesgo de punción del conducto linfático torácico), la vena yugular externa (más dificultoso por trayecto tortuoso), la vena subclavia (mayor posibilidad de neumotórax) y la vena femoral (mayor incidencia de infección en el lugar de punción). Otra alternativa consiste en hacer progresar un catéter provisto de una guía metálica interior desde la vena basilica hasta la aurícula aunque en muchos casos la existencia de válvulas dificulta la progresión hasta la aurícula derecha (Ver tema 4).

Tras la colocación del catéter, se debe verificar que la punta se encuentra en el lugar esperado (cava superior) habitualmente mediante comprobación radiológica o conectando el catéter a un sistema de transducción de presión (igual al descrito para la medición continua de la PA) y observar el trazado característico de la curva de presión de la aurícula. Este último sistema es el utilizado habitualmente para la monitorización de la PVC ya que suministra de forma continua el valor PVC medio utilizado como índice de la precarga ventricular derecha. Un sistema más rudimentario, pero no menos eficaz, consiste en conectar el catéter de PVC a una columna de solución salina acoplada a una escala vertical numerada en centímetros. En la escala, el valor 0 se sitúa a la misma altura que la aurícula derecha y los centímetros de altura de la columna de líquido corresponden al valor de PVC. La lectura de la PVC es preferible realizarla al final de la espiración.

La indicación de esta técnica consiste, por tanto, en la monitorización de la presión de llenado cardiaca en las circunstancias clínicas mencionadas anteriormente.

Las complicaciones son las descritas para los catéteres centrales (Ver tema 4).

### **Monitorización de la presión de la arteria pulmonar**

El fundamento de esta técnica consiste en introducir un catéter (a través de la vena yugular interna, subclavia o femoral) provisto en su porción distal de un pequeño balón relleno de aire que actúa como globo de flotación en la circulación sanguínea (catéter de Swan-Ganz). A medida que se hace progresar, el flujo sanguíneo tiende a arrastrarlo hacia la aurícula derecha, ventrículo derecho, arteria pulmonar y finalmente queda "enclavado" en una arteria lobar (habitualmente en lóbulo medio o inferior derecho). Durante su colocación, la ubicación de la punta del catéter se confirma de forma continua observando en un monitor la onda de presión obtenida por la conexión del catéter a un sistema de transducción de presión. De esta forma se observan las diferentes ondas de presión (aurícula, ventrículo derecho y arteria pulmonar). Al enclavar la punta del catéter contra las paredes de la arteria lobar, el balón inflado impide el paso de sangre procedente de la arteria pulmonar, por lo que la punta del catéter registra la presión hidrostática de una columna de sangre que comienza en la punta del catéter y termina en la aurícula izquierda. La presión obtenida por este método se denomina presión capilar pulmonar de enclavamiento (PCP). En el apartado anterior se ha descrito como la PVC se asimila a la presión telediastólica del ventrículo derecho (PTDVD), constituyendo un índice de la precarga del ventrículo derecho. De igual manera, la PCP se correlaciona con la presión diastólica de la arteria pulmonar (PDAP), la presión en la aurícula izquierda (PAI) y la presión telediastólica del ventrículo izquierdo (PTDVI) por lo que se considera un índice de la precarga del ventrículo izquierdo. No obstante, para que PCP, PDAP, PAI y PTDVI sean equiparables deben cumplirse algunas condiciones:

- La válvula mitral debe ser normofuncionante. Así, por ejemplo la presencia de estenosis mitral incrementa la presión en AI y retrógradamente de PADP y PCP, por lo que el valor PCP es mayor que el valor PTDVI real.
- La presión de la arteria pulmonar debe ser normal. En este sentido, la hipertensión pulmonar (ya sea establecida o producida por acidosis, hipoxemia, hipercapnia, etc.) produce un incremento de la PCP por lo que, al igual que en el caso de la estenosis mitral, no puede utilizarse como índice fiable de la precarga ventricular izquierda.
- La presencia de un ventrículo izquierdo poco distensible (hipertrófico, necrosis secundaria a isquemia, etc.) produce una falta de relación entre presión y volumen (pequeños incrementos de volumen sanguíneo originan desproporcionados incrementos de la presión ventricular), por lo que la PCP pierde su utilidad como índice de la precarga ventricular.
- La punta del catéter debe enclavarse en zona West III donde la presión arterial > presión venosa > presión alveolar, asegurando de esta forma la presencia de un flujo sanguíneo continuo, por lo que se

evita el efecto artefactuante de los cambios de la presión alveolar. Al igual que con la PVC, la PCP debe cuantificarse durante la espiración.

Existen diversos tipos de catéteres:

- El más habitual está formado por cinco elementos:
  - Cuatro conductos o luces: proximal, cuya punta termina en la cava superior, para la determinación de la PVC; medial, para la administración de líquidos o fármacos iv (próximo a la AD); distal, termina en la punta y transmite la presión sanguínea a un sistema de transducción de presión; la cuarta luz comunica un jeringa que contiene aire con el globo inflable situado en la porción final del catéter en posición inmediatamente anterior a la punta.
  - Un cable que une el exterior con un detector de cambios de la temperatura de la sangre (termistor) situado la porción final del catéter. Este sistema se utiliza para el cálculo del gasto cardíaco mediante la técnica de termodilución (ver más adelante).
- Un segundo tipo de catéter, más complejo, asocia a todo lo anterior dos elementos más
  - Un haz de fibra óptica que termina en la punta del catéter (en la proximidad de la luz que mide la presión sanguínea) para la determinación oximétrica continua de la saturación de la sangre venosa mixta.
  - Un cable que conecta el exterior con una resistencia alojada en el ventrículo derecho que produce ligeros y periódicos cambios de la temperatura de la sangre ventricular que son detectados por el termistor, lo que permite cuantificar de forma continua el gasto cardíaco.

Las indicaciones más habituales de esta técnica son:

- Determinación de las presiones endocavitarias: PVC (a través de la luz proximal), (PAP) (a través de la luz distal con el balón de aire desinflado) y PCP (a través de la luz distal con el balón de aire enclavado). La Tabla 1 muestra los valores normales de presión en las diversas cavidades. Esta técnica está indicada en procedimientos en Anestesia o Reanimación en determinadas circunstancias: i) Disfunción ventricular izquierda actual o esperable (presencia de valvulopatía, cardiopatía isquémica grave, miocardiopatía dilatada, etc.). ii) Enfermedad pulmonar grave (hipertensión pulmonar grave, tromboembolismo pulmonar). iii) Cirugía cardíaca o aórtica toraco-abdominal. iv) Situaciones clínicas de extrema gravedad (sepsis, shock, disfunción multiorgánica, síndrome de distress respiratorio, etc.).
- Obtención de muestras sanguíneas de arteria pulmonar (sangre venosa mixta) y capilar pulmonar que permite la obtención de parámetros de aporte y consumo de oxígeno (ver tema 7).

Las complicaciones derivadas de la utilización de esta técnica son frecuentes (se estiman en el 50% de los casos entre complicaciones mayores y menores). Las muertes directas atribuidas a esta técnica oscilan entre 0,02-1,5 % por lo que su colocación debe estar plenamente justificada. Dependiendo del origen se pueden clasificar en tres tipos:

- Derivadas del abordaje venoso central (Ver Tema 4)
- Derivadas del proceso de conducción del balón de flotación por las cavidades cardíacas: taquiarritmias (en forma de latidos auriculares o complejos ventriculares prematuros), bloqueo de la rama derecha del haz de His (puede producirse bloqueo completo AV si existe previamente bloqueo de la rama izquierda), lesión valvular.
- Derivadas de la permanencia del catéter en la arteria pulmonar: rotura de la arteria pulmonar, infección, anudamiento del catéter, infarto pulmonar (por inflado inadvertido permanente del balón o excesiva penetración de la punta del catéter en la arteria lobar), rotura de la arteria pulmonar (poco frecuente pero con alta mortalidad).

### **Monitorización de la función cardíaca**

La valoración de la función cardíaca es un elemento imprescindible en Anestesiología y Reanimación ya que permite la adopción de medidas terapéuticas (aporte de inotrópicos, aplicación de hidroterapia intravenosa agresiva, etc.) correctoras de situaciones clínicas de extrema gravedad. La valoración se puede realizar por diversos métodos:

#### *Medición del gasto cardíaco*

- **Método invasivo:**
  - Intermitente: El método tradicional de determinación del gasto cardíaco se basa en la técnica de termodilución (TD). Para ello se utiliza un catéter situado en la arteria pulmonar provisto de un termistor en la porción distal (comentado en la sección anterior). La administración por la

luz proximal de un volumen conocido de solución salina produce un cambio de temperatura en un volumen concreto de sangre auricular que, al pasar por la zona del termistor, produce una modificación temporal de la temperatura captada por este sensor. La información es transmitida a un microprocesador que realiza una integración de los datos ofreciendo el gasto cardíaco correspondiente en valor numérico (L/min). A partir de este valor se pueden derivar otros parámetros hemodinámicos representados en la Tabla 1.

- Continuo: Consiste en una variante del método anterior. En este caso, el catéter utilizado dispone además de una resistencia alojada en el ventrículo derecho (comentado en la sección anterior). Este método permite la monitorización continua del gasto cardíaco.
- Método no invasivo:
  - Método doppler: El sistema más extendido de los métodos no invasivos consiste en el método doppler. Para ello se coloca una sonda doppler en el esófago del paciente que envía un haz de ultrasonido hacia la aorta que al incidir en los hematíes circulantes produce un cambio en la frecuencia de la onda captada. La interpretación de la señal por el microprocesador acoplado permite calcular la velocidad de la sangre. Conociendo el diámetro de la aorta se puede derivar el flujo sanguíneo aórtico ( $\text{flujo} = \text{área} \times \text{velocidad}$ ), o lo que es lo mismo el gasto cardíaco.
  - Ecocardiografía transesofágica (ETE): Una forma alternativa de evaluar la función cardíaca consiste en la realización de esta técnica diagnóstica que cada día encuentra más aplicación en la práctica de la anestesia en cirugía cardíaca y en las Unidades de Reanimación, ya que permite disponer en tiempo real de información visual de la función valvular, movimiento de la pared ventricular y cuantificación de la fracción de eyección.
  - Pletismografía de impedancia: Esta técnica se basa en los cambios de impedancia en la pared torácica que se producen durante la sístole. Se aplican diversos electrodos sobre el cuello y tórax y se mide la impedancia aplicando una pequeña corriente eléctrica continua. A pesar de que los resultados obtenidos con esta técnica guardan una buena correlación con los obtenidos por termodilución, su utilización es escasa.

#### *Determinación continua de saturación venosa mixta de oxígeno (SvmO<sub>2</sub>).*

La determinación de SvmO<sub>2</sub> constituye un magnífico índice para medir la relación entre aporte (DO<sub>2</sub>) y consumo de O<sub>2</sub> (VO<sub>2</sub>) por parte del organismo. Como se comentó en el Tema 7 el aporte de O<sub>2</sub> depende básicamente de tres factores: la función cardíaca (IC), cantidad de Hb y la función respiratoria (SaO<sub>2</sub>). En un paciente donde la cantidad de Hb sea constante (sin sangrado activo), VO<sub>2</sub> se mantenga estable y la función respiratoria no esté comprometida (SaO<sub>2</sub> constante), existirá una relación directa entre IC y SvmO<sub>2</sub>, de tal forma que si disminuye IC, al disminuir paralelamente DO<sub>2</sub>, tiene que aumentar la extracción tisular para mantener constante el VO<sub>2</sub> y consecuentemente se producirá disminución de SvmO<sub>2</sub>.

Este método de monitorización es aún más completo que la simple determinación del GC, ya que valora de forma global el estado de oxigenación del paciente y permite contrastar de forma rápida la eficacia de las medidas tomadas en caso de descenso por debajo de límite inferior: administración de inotrópicos (por descenso del GC) o corrección de los otros dos factores de la ecuación (transfusión en caso de anemia o favorecer la oxigenación arterial mediante oxigenoterapia o técnicas de ventilación mecánica).

Existen diversos factores que pueden modificar o artefactuar la SvmO<sub>2</sub> sin que exista disfunción cardíaca. Así, por ejemplo, SvmO<sub>2</sub> puede descender porque se produzca un incremento neto del consumo periférico de O<sub>2</sub> por encima del habitual (fiebre, escalofríos persistentes después de la anestesia) o porque disminuya el aporte a causa de anemia o hipoxemia. En sentido contrario, SvmO<sub>2</sub> puede incrementar entre otras razones por la existencia de sepsis (produce apertura de comunicaciones arterio-venosas periféricas evitando el paso de sangre oxigenada por tejidos, por lo que se incrementa CvmO<sub>2</sub>), comunicaciones cardíacas con flujo en sentido izquierdo-derecho (produce mezcla de sangre oxigenada con sangre venosa). Finalmente, una causa frecuente de sobrevaloración de la SvmO<sub>2</sub> se produce cuando se realiza la lectura con el balón del catéter inflado, ya que al desaparecer el flujo sanguíneo procedente de la arteria pulmonar, la arteria ocluida se rellena retrogradamente de sangre oxigenada por lo que necesariamente la saturación debe ascender hasta aproximarse a los niveles de la SaO<sub>2</sub>.

Los modernos catéteres de arteria pulmonar disponen de un sistema para la determinación continua de SvmO<sub>2</sub> (ver anteriormente). En caso de no disponer de él, se pueden realizar determinaciones periódicas de muestras de sangre de la arteria pulmonar y medir SvmO<sub>2</sub> mediante gasometría.

### 3. MONITORIZACION RESPIRATORIA

La monitorización de la función respiratoria en anestesiología tiene como objetivos conocer la situación funcional respiratoria y la eficacia de la ventilación mecánica.

#### Presión arterial de oxígeno (PaO<sub>2</sub>):

Existen varios métodos disponibles:

##### *Método invasivo*

- Intermitente, mediante extracciones periódicas de sangre arterial o capilar y posterior análisis mediante un gasómetro (Gasometría arterial). Se fundamenta en la determinación de moléculas de O<sub>2</sub> mediante el electrodo de Clark y presenta la ventaja de proporcionar simultáneamente información como la presión arterial de anhídrido carbónico (PaCO<sub>2</sub>), porcentaje de saturación de oxígeno de la hemoglobina en sangre arterial (SaO<sub>2</sub>), pH y concentración de CO<sub>3</sub>HNa. Los factores que pueden artefactuar los resultados con mas facilidad son:
  - Presencia de burbujas en la muestra de sangre. Si la muestra de sangre extraída se mantiene hasta su análisis en una jeringa que contiene una gran burbuja, el O<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub> contenidos en la muestra pasan por difusión a la burbuja disminuyendo su concentración en la muestra sanguínea. Si antes de la determinación se elimina la burbuja (como es habitual) el análisis mostrará valores de PO<sub>2</sub> y PaCO<sub>2</sub> falsamente inferiores a los existentes en la sangre. Por esta razón, durante la extracción de la muestra se debe evitar de forma cuidadosa la presencia de burbujas en la jeringa de extracción.
  - Tiempo transcurrido tras la extracción: Si el análisis gasométrico de la muestra sanguínea extraída se retrasa excesivamente, los leucocitos y plaquetas contenidos en la muestra pueden consumir O<sub>2</sub> y aumentar el contenido de CO<sub>2</sub> por lo que el resultado obtenido será erróneo.
  - Temperatura: el incremento de la temperatura de la sangre favorece la difusión de los gases sanguíneos hacia las burbujas existente en la muestra extraída, por lo que la muestra debe permanecer refrigerada hasta el momento del análisis.

Esta técnica se practica habitualmente mediante punción arterial radial y presenta los inconvenientes propios de su punción o canalización.

- Continuo, mediante la colocación de un catéter intraarterial que realiza determinaciones periódicas de la PaO<sub>2</sub> mediante técnica de amortiguamiento de la fluorescencia (poco utilizado en nuestro país).

##### *Método no invasivo:*

- Consiste en la determinación transcutánea de la presión de O<sub>2</sub> (PtcO<sub>2</sub>) con un electrodo de Clark que mide el O<sub>2</sub> difundido a través de la piel desde los capilares de la proximidad. Este técnica solo puede realizarse en zonas anatómicas donde el VO<sub>2</sub> sea menor que el CaO<sub>2</sub> ya que de otra forma sería imposible detectar la presencia de O<sub>2</sub>. Requiere calentar la zona de determinación para producir vasodilatación local por lo que el método necesita una fase de calentamiento y calibración de aproximadamente 20 min aunque posteriormente el tiempo de respuesta a los cambios de la PaO<sub>2</sub> es rápido. Presenta como problemas la posibilidad de quemaduras locales y su ineficacia en presencia de hipotermia o vasoconstricción (por disminución del flujo sanguíneo), pacientes obesos o con piel gruesa. Para evitar este último inconveniente se puede utilizar un detector conjuntival de PO<sub>2</sub> (PcjO<sub>2</sub>) que proporciona una respuesta más rápida pero que determina valores entre un 25-50% de la PO<sub>2</sub> real por lo que requiere una calibración individual en cada paciente.

#### Porcentaje de saturación de O<sub>2</sub> de la hemoglobina en sangre arterial (SaO<sub>2</sub>)

La incorporación de oxímetros cutáneos que permiten la determinación continua de SaO<sub>2</sub> ha supuesto un importante avance en la Anestesiología. Este instrumento consta de un sensor luminoso en forma de pinza, colocado habitualmente en un dedo del paciente, que emite una luz compuesta por dos longitudes de onda diferentes que son absorbidas de forma específica por la hemoglobina oxidada (OxiHb) y reducida. Un detector situado en el otro extremo mide la cantidad de luz absorbida por cada tipo y ofrece el resultado en valor porcentual (% de saturación de la hemoglobina arterial).

A valores de SaO<sub>2</sub> > 95% existe una relación hiperbólica entre SaO<sub>2</sub> y PaO<sub>2</sub> (curva de saturación de la hemoglobina). En esta curva se puede observar como por encima de este valor, grandes incrementos de PO<sub>2</sub>

se acompañan de discretos incrementos de la SaO<sub>2</sub>. Este hecho explica que, por ejemplo, en un episodio de apnea la SaO<sub>2</sub> desciende en los primeros momentos de una forma relativamente lenta al existir una importante reserva arterial de oxígeno. Sin embargo, por debajo de 60 mm Hg (que se corresponde con una SaO<sub>2</sub> = 90%) esta relación es prácticamente lineal por lo que cabe esperar descensos muy acentuados de la SaO<sub>2</sub> en un corto espacio de tiempo.

Los oxímetros disponibles en la actualidad combinan esta técnica con la determinación pletismográfica del pulso arterial por lo que ofrecen información simultánea de SaO<sub>2</sub> y amplitud de la onda de pulso.

Sin embargo, estos instrumentos también están sometidos a interferencias y artefactos. Los principales son:

- Presencia en sangre de valores significativos de otros tipos de hemoglobina:
  - Carboxihemoglobina (CoHb): absorbe la luz a una longitud de onda cercana a la OxiHb, por lo que la SaO<sub>2</sub> muestra un valor relativamente normal aunque exista una marcada hipoxemia. Así, por ejemplo, en la intoxicación por monóxido de carbono (CO) con concentraciones de CoHb incluso del 50% de la Hb total, la SaO<sub>2</sub> se mantiene dentro de un rango aceptable (cercano al 95%).
  - Metahemoglobina (MetaHb) : por razones parecidas al caso anterior, en presencia de grandes cantidades de MetaHgb, la SaO<sub>2</sub> se muestra anormalmente baja no relacionándose con la PaO<sub>2</sub> .
- Presencia de colorantes en la zona de medida que tienden a producir medidas falsamente bajas. El compuesto que más interacciona es el azul de metileno y en menor medida verde de indocaina, índigo carmín, fluoresceína, esmaltes de uñas, bilirrubina, pigmentos cutáneos, etc.
- En presencia de hipoxemia severa con SaO<sub>2</sub> baja (equivalente a una SaO<sub>2</sub> inferior al 60%), la SaO<sub>2</sub> medida por el oxímetro es aproximadamente un 15% inferior a la saturación real.
- La determinación de SaO<sub>2</sub> mediante esta técnica se puede artefactuar por los movimientos del paciente (por ejemplo, por los escalofríos postanestésicos), la presencia de intensa luz ambiental, la baja perfusión tisular o la hipotermia, ofreciendo resultados poco fiables.

### Monitorización de la mecánica respiratoria

La ventilación mecánica segura de un paciente durante la anestesia general (o durante el período postoperatorio en las Unidades de Reanimación Postanestésicas) precisa de la determinación periódica de diversos parámetros respiratorios derivados de la medida de la presión y del flujo tanto del aire inspirado como espirado. En el tema 7 se comentaron los parámetros habitualmente monitorizados durante la ventilación mecánica como Presión en la vía aérea, Volumen tidal (V<sub>t</sub>) o volumen espiratorio, frecuencia respiratoria (FR) y Volumen minuto (VM) que se corresponde con el producto V<sub>t</sub> x FR. Otros valores son:

- Resistencia de la vía aérea (R). Este parámetro se obtiene del cociente Presión vía aérea/Flujo. La resistencia normal de la vía aérea es de 1.5 cm H<sub>2</sub>O.seg.L . En situaciones patológicas (EPOC, asma, etc.) este valor se puede incrementar hasta 5 ó 6 veces más.
- Distensibilidad o complianza (C<sub>I</sub>). Relaciona el volumen pulmonar conseguido con la aplicación de una unidad de presión en la vía aérea. La C<sub>I</sub> normal oscila entre 50-100 ml/cm H<sub>2</sub>O).

Los ventiladores actuales disponen de sistemas de alarma que permiten ajustar un nivel máximo y mínimo de cualquiera de estos parámetros y que avisan por medios acústicos y ópticos cuando se sobrepasan los límites prefijados.

### Análisis del gas inspirado y espirado

El desarrollo tecnológico experimentado en las últimas dos décadas ha permitido la incorporación a las técnicas de monitorización en anestesia de instrumentos capaces de medir en tiempo real la concentración de diversos gases tanto en el gas inspiratorio como espiratorio. Estos instrumentos se basan en diversas técnicas analíticas (espectrometría de masas, análisis gaseoso de Raman o espectrografía) y han reducido de forma notable su tamaño en los últimos años lo que ha permitido su utilización rutinaria.

Los gases habitualmente monitorizados son:

- O<sub>2</sub>: La determinación de la fracción inspiratoria de O<sub>2</sub> constituye un estándar de monitorización.
- N<sub>2</sub>O y diversos anestésicos inhalatorios (halotano, isoflurano, desflurano, sevoflurano).
- CO<sub>2</sub> - Determinación de la PCO<sub>2</sub> teleespiratoria (PTECO<sub>2</sub>).

Este instrumento cuantifica de forma inmediata y continua la concentración de CO<sub>2</sub> durante la fase inspiratoria y espiratoria obteniendo un registro temporal (capnometría). Durante la inspiración, la

concentración de CO<sub>2</sub> alcanza el nivel basal (el aire inspirado no contiene CO<sub>2</sub>). Durante la espiración, por el contrario, se produce un incremento progresivo en la concentración que alcanza su máximo justo al final de la espiración: Presión Teleespiratoria de CO<sub>2</sub> (PTECO<sub>2</sub>) (ver Figura 2 al final del texto). Durante el proceso espiratorio se diferencian cuatro fases:

- Fase I o basal, corresponde al gas proveniente del espacio muerto, ausente de CO<sub>2</sub>.
- Fase II o pendiente: comienza a incrementar la concentración de CO<sub>2</sub>.
- Fase III o meseta en la que se alcanza el pico final (PTECO<sub>2</sub>). La PTECO<sub>2</sub> no se corresponde exactamente con la PaCO<sub>2</sub> ya que en condiciones normales existe una diferencia arterial-alveolar de aproximadamente 5 mm Hg. Sin embargo, ambos parámetros están relacionados de forma directa y cualquier descenso o ascenso en la PaCO<sub>2</sub> es seguido de forma inmediata por un cambio en la PTECO<sub>2</sub> en la misma dirección. Se admite un valor máximo tolerable de 45 mm Hg.
- Fase IV o retorno a línea basal
  - Las alteraciones más frecuentes del registro capnográfico se producen son:
- Presencia de hendidura o una caída en la pendiente o en la meseta, indica una respiración espontánea del paciente (reinhala gas inspiratorio ausente de CO<sub>2</sub> que pasa por el detector de CO<sub>2</sub>) lo que informa de una anestesia demasiado superficial y falta de relajación muscular.
- Aumento de la PTECO<sub>2</sub> > 45 mmHg causada por
  - Ventilación inadecuada (VM insuficiente)
  - Aumento de la producción de CO<sub>2</sub> (hipertermia maligna, aporte intravenoso de grandes cantidades de CO<sub>3</sub>HNa, inyección de CO<sub>2</sub> intraperitoneal durante la cirugía laparoscópica) ó ingreso súbito de CO<sub>2</sub> a la circulación sistémica procedente de zonas isquémicas reperfundidas (por ejemplo tras restauración de la circulación sanguínea a un miembro isquémico).
- Disminución de la PTECO<sub>2</sub> < 25 mmHg causada por:
  - Hiperventilación.
  - Aumento del espacio muerto (por ejemplo tras tromboembolismo pulmonar masivo)
  - Disminución de la producción de CO<sub>2</sub> (por ejemplo durante la parada cardíaca, durante la hipotermia o cuando el DO<sub>2</sub> es insuficiente).
- La línea descendente de la Fase IV no llega a la línea basal, indicando la existencia de una reinhalación parcial del CO<sub>2</sub> en el gas inspiratorio.
  - Las principales indicaciones de la capnografía son:
- Verificación inmediata de la correcta intubación orotraqueal. La presencia de la onda espiratoria de CO<sub>2</sub> en el monitor asegura la correcta intubación orotraqueal cuando existen dudas sobre su ejecución (por ejemplo, por mala visualización de la glotis durante la laringoscopia)
- Adecuar el régimen ventilatorio a las características individuales del pacientes (hiperventilación controlada en neurocirugía o edema cerebral, etc.

#### 4. MONITORIZACIÓN DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL (SNC)

La monitorización del SNC tiene como finalidad detectar de forma precoz los cambios funcionales que ocurren de modo agudo durante la intervención quirúrgica inducidos por la propia técnica quirúrgica o bien por la administración de los fármacos anestésicos.

##### Determinación de la presión intracerebral (PIC)

La PIC refleja la relación entre el volumen del contenido intracraneal (cerebro, sangre y LCR) y el volumen de la bóveda craneal. Los procesos expansivos del cerebro (tumor, edema, hematoma, hidrocefalia) producen en su crecimiento incremento progresivo de la PIC. Este crecimiento es lento al principio debido a la existencia de cierto grado (aunque mínimo) de distensibilidad craneal, pero una vez alcanzado un punto límite cualquier incremento, aunque leve, del volumen intracraneal produce un notable aumento de la PIC. Por este motivo, la práctica de una anestesia segura durante determinadas intervenciones de neurocirugía o en el período postoperatorio exige monitorizar la PIC para evitar su incremento. El mantenimiento de una PIC dentro de un límite aceptable (< 15 mm Hg) favorece la presión de perfusión cerebral (PPC) ya que  $PPC = \text{Presión arterial media (PAM)} - PIC$ , por lo que las medidas adoptadas tienden a evitar factores que disminuyan la PPC bien sea manteniendo una PAM adecuada o evitando factores o maniobras que puedan producir incremento de la PIC (hipercapnia, hipoxemia, o utilización de fármacos anestésicos que provoquen excesiva vasodilatación cerebral que, al aumentar el flujo sanguíneo cerebral, producen secundariamente aumento de la PIC).

Los métodos utilizados habitualmente para la determinación de la PIC son:

- Catéter de ventriculostomía conectado a transductor de presión. Precisa de una trepanación de la bóveda craneal y del paso del catéter a través del tejido cerebral. Permite tanto la medida continua de la PIC como el drenaje de líquido cefalorraquídeo (LCR).
- tornillo subaracnoideo. Este dispositivo se coloca mediante trepanación en el espacio subaracnoideo. Transmite la PIC a un transductor de presión pero, a diferencia del anterior, no permite el drenaje de LCR.
- Dispositivos epidurales: Consisten en dispositivos neumáticos sensibles a los cambios de presión del espacio epidural en respuesta a los cambios de PIC. A diferencia de los dos anteriores, en este método no se perfora la duramadre por lo que el riesgo de infección disminuye.

Los principales inconvenientes de esta técnica se derivan de los problemas que pueden surgir durante su colocación (lesión del parénquima cerebral, hemorragia, etc.) o por su mantenimiento prolongado (infección).

#### **Monitorización de la velocidad del flujo sanguíneo cerebral (FSC) mediante doppler transcraneal (DTC)**

El cerebro recibe el 12-15% del flujo sanguíneo total y como solo representa el 2% del peso corporal resulta un VO<sub>2</sub> del 20% (especialmente más alto en la sustancia gris). El FSC está regulado por diversos factores siendo uno de los más importantes la propia actividad cerebral, existiendo una relación directa entre los cambios del metabolismo cerebral (medido como Índice Metabólico Cerebral, IMC) y FSC. Por ejemplo, el IMC (y consecuentemente el FSC) aumenta durante la estimulación sensorial y la epilepsia y disminuye durante el sueño, la anestesia o la hipotermia.

Existe una relación directa entre FSC, actividad electroencefalográfica (EEG) y el estado funcional y viabilidad de las neuronas:

- de 20 a 12 ml/100g/min existe un EEG lento con disfunción pero con tejido neuronal viable si se produce recuperación.
- de 12 a 6, el EEG es plano pero el FSC puede evitar el fallo completo de la membrana y la muerte neuronal durante periodos amplios de tiempo (zona de penumbra isquémica). Este suele ser el FSC durante la resucitación cardiopulmonar.
- entre 6 y 0, se produce la muerte de forma rápida de las neuronas.
- El elevado consumo energético cerebral debe ser compensado con un adecuado aporte pero existen limitaciones mecánicas a la distensibilidad cerebral, por lo que existen múltiples mecanismos de regulación del FSC ( $FSC = PPC [PAM-PIC]/RVC$ , donde RVC corresponde a la resistencia vascular cerebral) que tienden a mantenerlo relativamente constante.

En neuroanestesia es esencial el control del FSC por dos motivos:

- del FSC depende el sustrato energético del cerebro.
- del FSC depende el volumen sanguíneo cerebral (VSC) que a su vez guarda una relación directa con la PIC. De esta forma un incremento del FSC produciría un incremento inmediato del VSC y secundariamente de la PIC que podría conducir a una disminución de la PPC. Para evitar esto existe un mecanismo de autorregulación cerebral que mantiene constante el FSC en un rango de PAM amplio (50 a 150 mm Hg). No obstante, determinadas circunstancias patológicas (hipertensión arterial no controlada, traumatismo craneoencefálicos, hipoxia cerebral, edema cerebral, hipercapnia) o la aplicación de determinados fármacos anestésicos pueden atenuar o abolir este mecanismo de autorregulación haciendo que el FSC se torne dependiente de forma directa a la PAM por lo que pueden producirse situaciones tanto de hiperflujo o flujo insuficiente que pueda comprometer la PPC.

La monitorización de la velocidad del flujo sanguíneo cerebral mediante DTC permite detectar alteraciones regionales de la velocidad de la perfusión cerebral en pacientes con riesgo de isquemia o embolismo cerebral. Estos cambios se relacionan con cambios en el flujo sanguíneo y permiten detectar de forma precoz reducciones críticas de la perfusión cerebral durante la práctica de la anestesia. Presenta el inconveniente de la complejidad de su utilización por lo que precisa un personal adiestrado en su manejo.

#### **Monitorización de la oxigenación cerebral. Determinación continua de la saturación yugular de oxígeno (S<sub>y</sub>O<sub>2</sub>)**

Este método consiste en una adaptación técnica del método de determinación continua de la S<sub>v</sub>mO<sub>2</sub> comentado anteriormente pero aplicado a la circulación cerebral. Para ello se introduce un catéter por vía yugular en sentido ascendente hasta colocar la punta en el bulbo de la vena yugular. Este catéter está

provisto de un módulo óptimo de oximetría que determina de forma continua el porcentaje de saturación de la hemoglobina en sangre venosa proveniente del cerebro (SjO<sub>2</sub>). Se acepta como un rango normal los valores 55-75%.

- Un valor superior (situación de hiperemia) se relaciona con un incremento del FSC (secundario a un aumento de PPC, disminución de PIC, hipercapnia, hipertensión arterial, pérdida de la capacidad de autorregulación, acción de fármacos vasodilatadores, etc.) o con una disminución del consumo cerebral de oxígeno (coma, hipotermia, muerte cerebral, etc.).
- Un valor inferior (situación de hipoperfusión) sugiere una disminución en el FSC (disminución de la PPC, aumento de la PIC, hipocapnia, hipotensión arterial, hipoxemia, anemia, etc.) o un aumento en el consumo cerebral de oxígeno (hipertermia, anestesia superficial, respuesta a estímulos dolorosos, actividad comicial, etc.).

Esta técnica se aplica en la práctica de la anestesia durante la neurocirugía para la detección precoz de situaciones de hiperemia o hipoperfusión cerebral y poder realizar de forma inmediatas actitudes quirúrgicas o anestésicas tendentes a corregirlas.

Las complicaciones de este método son similares a las descritas en la sección correspondiente a la determinación de la PVC.

### **Monitorización de la oxigenación cerebral. Determinación continua de la saturación venosa cerebral de oxígeno (SvO<sub>2</sub>).**

Esta técnica tiene un fundamento similar a la determinación de SaO<sub>2</sub>. Al igual que ésta utiliza un espectrofotómetro que emite luz infrarroja capaz de atravesar la cubierta cerebral y obtener un pulso oximétrico refractado. Sin embargo, a diferencia del anterior, en el cerebro predominan las señales oximétricas venosas sobre las arteriales por lo que los resultados obtenidos con esta técnica correlacionan mejor con los cambios de la saturación venosa cerebral obtenidos mediante otras técnicas. La utilidad práctica de este método se encuentra en fase de investigación clínica.

### **Electroencefalografía (EEG)**

Consiste en un registro de la actividad eléctrica de las neuronas de la corteza cerebral. Mediante la colocación de múltiples electrodos exploradores situados de forma simétrica en la cabeza se registra una señal eléctrica de la que se obtienen dos parámetros básicos: amplitud y frecuencia. El EEG normal es simétrico y de alta frecuencia (EEG activado): El individuo despierto tiene un patrón de ondas denominado actividad beta (frecuencia >14 Hz). Al cerrar los ojos el patrón se enlentece (actividad alfa con frecuencia entre 8-13 Hz). Las frecuencias más lentas theta (4-7 Hz) y delta (1-3 Hz) se asocian con una disminución de la actividad neuronal (EEG deprimido) y aparecen durante los estadios del sueño normal y en los estados patológicos (por ejemplo en situación de isquemia cerebral).

Los fármacos anestésicos producen, en general, una depresión dosis-dependiente de la actividad neuronal lo que se traduce por la aparición de un trazado de EEG con mayor amplitud y menor frecuencia: disminución del ritmo alfa hasta que aparecen ondas de baja frecuencia, primero theta y luego delta, interrumpidas periódicamente por estallidos de ondas de alta frecuencia que son seguidas por periodos de silencio (períodos de supresión o isoelectricos). Si la profundidad de la anestesia se incrementa aparece una línea isoelectrica o EEG plano. Este efecto es más manifiesto con los potentes inductores anestésicos intravenosos (barbitúricos, propofol, etomidato, etc.) y con los anestésicos halogenados.

El EEG se muestra por tanto como una técnica útil tanto para analizar el grado de profundidad anestésica como para la detección precoz de sufrimiento cerebral secundario a isquemia durante la realización de anestésias de alto riesgo (la cirugía de carótida). Sin embargo, dos factores limitan su utilidad en la práctica habitual de la anestesia: la presencia de interferencias procedentes de otros instrumentos de monitorización o del campo quirúrgico y, la propia complejidad de la interpretación del EEG que requiere una amplia experiencia. Por este motivo se han diseñado sistemas de EEG capaces de filtrar, digitalizar y procesar la señal eléctrica cerebral (EEG procesado). La información eléctrica es simplificada y transformada para poder ofrecer información inmediata sobre los parámetros amplitud y frecuencia, lo que permite adoptar medidas correctoras inmediatas en caso de necesidad. Estos sistemas procesados ofrecen una información en forma de escala porcentual de forma que el 100% corresponde a la vigilia y el 0% a EEG isoelectrico. Se considera que alrededor de 20-25% corresponde a un plano quirúrgico adecuado. Los mas utilizados en la actualidad reciben los nombres de BIS (análisis biespectral) y Entropía.

### Potenciales evocados.

El fundamento de esta técnica se basa en provocar un estímulo periódico de una estructura nerviosa y observar la respuesta a distancia mediatizada por la conducción nerviosa. Este método permite detectar precozmente cualquier alteración (traumática, isquémica, etc.) que afecte la conducción nerviosa durante su trayecto por lo que es especialmente útil para monitorizar la función neurológica durante la práctica de neurocirugía, cirugía ortopédica de columna o cirugía de aorta.

Se distinguen dos tipos de potenciales evocados:

- Potenciales evocados sensoriales (PES).

Su fundamento consiste en estimular un nervio periférico sensorial y registrar el potencial eléctrico generado en diversos lugares del trayecto de la vía sensorial y en la corteza cerebral. Como es una señal de baja amplitud se requiere un proceso de filtro y análisis de la señal que elimine interferencias similar al descrito anteriormente en el EEG. Los resultados obtenidos se expresan en dos parámetros: tiempo de respuesta al estímulo (latencia) y amplitud de la señal. El incremento de la latencia o la disminución de la amplitud se interpretan como afectación de la integridad de la vía neurológica.

Dependiendo de la vía nerviosa estudiada se diferencian diversos tipos de PES:

- Somatosensoriales (PESS): El estímulo se aplica sobre el nervio mediano de la muñeca, peroneo común o tibial posterior. Se utiliza para evaluar intervenciones en el trayecto de un nervio periférico, cirugía de columna o cuando exista posibilidad de afectación de las irrigaciones vasculares medulares (aneurisma de aorta).
  - Auditivos (PEA): Se aplica un estímulo auditivo unilateral mediante un auricular adaptado al pabellón. Se utiliza para intervenciones sobre la vía auditiva o de fosa posterior cerebral.
  - Visuales (PEV): Mediante la aplicación de un estímulo luminoso ocular. Utilizado en la monitorización intraoperatoria de la cirugía de la vía nerviosa visual (especialmente el quiasma óptico).
- Potenciales evocados motores (PEM).

Este método, al contrario que el anterior, monitoriza la integridad de la vía motora. Se realiza mediante la estimulación periódica de la vía motora analizada a través de estimulación eléctrica o magnética transcraneal o estímulo directo. El análisis de la actividad nerviosa a distancia se registra mediante electromiografía o cuantificación del movimiento isométrico de un músculo inervado por la vía motora explorada. Al igual que con el PES, esta técnica se utiliza para detectar de forma precoz las lesiones traumáticas o isquémicas inducidas por los mismos tipos de cirugía comentados anteriormente.

### MONITORIZACIÓN NEUROMUSCULAR

La relajación de la fibra muscular estriada es un elemento esencial en la práctica de la anestesia general. La administración de elevadas dosis de algunos agentes anestésicos (anestésicos inhalatorios) puede conseguir un grado de relajación muscular adecuado para la cirugía, pero presenta severos inconvenientes (por ejemplo depresión cardiovascular) que limita su utilización. La incorporación de los relajantes musculares (curares) a la técnica anestésica ha permitido reducir de forma notable las dosis de anestésicos generales, y consecuentemente la profundidad anestésica, lo que ha indudablemente repercutido positivamente en la seguridad del paciente.

Sin embargo, la utilización de relajantes musculares también comporta riesgos anestésicos adicionales derivados especialmente de la presencia de una relajación muscular "residual" en el momento de la educación (despertar) de la anestesia. La recuperación incompleta de la función neuromuscular se asocia con episodios de hipoxemia grave secundaria a parálisis residual de la musculatura respiratoria. Por este motivo se ha diseñado un método de monitorización de la función neuromuscular durante el acto anestésico.

Este método se basa en el estímulo periódico de un nervio motor periférico y en el registro de la respuesta contractil. En síntesis, el sistema se compone de un neuroestimulador que genera estímulos de gran intensidad (habitualmente 50-70 mA) y de corta duración (0,2-0,3 mseg) conectado a dos electrodos situados generalmente en el trayecto del nervio cubital. La respuesta contractil del músculo aductor del pulgar se analiza bien visualmente o se cuantifica mediante registro mecamiográfico (utilizando un transductor isométrico), electromiográfico o acelerimétrico.

El método de monitorización más extendido consiste en aplicar cuatro estímulos consecutivos (2 Hz) y observar la respuesta (Tren de cuatro. TDC). En un paciente no relajado todas las respuestas contráctiles tienen la misma amplitud y el cociente entre la respuesta número 4 (T4) / número 1 (T1) = 1. En un paciente relajado la respuesta al primer estímulo es siempre mayor que al último, por lo que el cociente

T4 / T1 es menor de la unidad. Tradicionalmente se acepta que cuando el cociente T4 / T1 es superior a 0,7 (o se observan visualmente cuatro respuestas contráctiles) la función neuromuscular se ha recuperado lo suficiente para permitir la desconexión de la ventilación mecánica y la extubación del paciente.

La monitorización de la función neuromuscular se está generalizando en los últimos años en la práctica de la anestesia debido a la existencia de neuroestimuladores más manejables y cómodos de transportar que los existentes previamente. Aunque se recomienda su utilización en cualquier circunstancia, su uso está especialmente indicado cuando el paciente presenta una patología que produzca cambios en la farmacocinética (insuficiencia hepática o renal) o en la farmacodinamia del relajante muscular (miastenia gravis y síndromes miasténicos) que hagan imprevisible su duración de acción.

La utilización de un neuroestimulador está virtualmente exenta de riesgo eléctrico para el paciente (la fuente de energía consiste en una batería), pero su utilización demasiado frecuente durante la fase final de la anestesia (previa al despertar) puede dejar recuerdo de dolor.

### **MONITORIZACIÓN DE LA TEMPERATURA**

La monitorización de la temperatura corporal durante la anestesia constituye un estándar de seguridad. Su registro continuo permite detectar de forma precoz episodios de hipertermia (como por ejemplo el asociado a la hipertermia maligna o al síndrome neuroléptico maligno) o la habitual hipotermia asociada al acto anestésico-quirúrgico. La propia cirugía, con la exposición de cavidades al exterior, o los agentes anestésicos, que provocan una alteración temporal de los mecanismos de termoregulación, favorecen la pérdida de calor por el organismo. La hipotermia perioperatoria produce diversos efectos perjudiciales para el paciente como por ejemplo: escalofríos (producidos como mecanismo compensatorio para producir calor), incremento del trabajo cardíaco, hipoxemia, disminución en el metabolismo de los fármacos, disminución en el flujo sanguíneo de la piel o alteraciones en la coagulación. Para poder actuar preventivamente, estableciendo medidas terapéuticas específicas para cada caso (tratamiento de la hipertermia maligna en hipertermia o la aplicación de medidas de calentamiento activo en la hipotermia), se practica de forma habitual la medición continuada de la temperatura corporal durante la anestesia.

La medida de la temperatura corporal debe ser realizada mediante la colocación de una sonda de temperatura en alguna de las localizaciones aceptadas como temperatura "central" del organismo (esófago, nasofaringe, vejiga, recto). La temperatura de la piel no se considera adecuada para la determinación de la temperatura media del cuerpo durante la cirugía ya que la circulación dérmica puede disminuir de forma secundaria a otros estímulos (como por ejemplo dolor).

Tabla 1 PARÁMETROS HEMODINÁMICOS

| Variable   | Abreviatura y formulación                | Valor normal | Unidades   |
|--|--|--------------|--|
| Presión parcial de O2 en sangre arterial             | PaO2                                     | 95           | mm Hg  |
| Presión parcial de CO2 en sangre arterial            | PaCO2                                    | 40           | mm Hg  |
| Saturación de O2 en sangre arterial                  | SaO2                                     | 97%          |  |
| Contenido de O2 en sangre arteria                    | CaO2 = 4/3 Hb Sa O2                      | 20-21        | ml O2 . dl <sup>-1</sup> sangre ó Vol %          |
| Presión parcial de O2 en sangre venosa mixta         | Pmv O2                                   | 40           | mm Hg  |
| Presión parcial de CO2 en sangre venosa mixta        | Pmv CO2                                  | 46           | mm Hg  |
| Saturación de O2 en sangre venosa mixta              | Smv O2                                   | 75%          |  |
| Contenido de O2 en sangre venosa mixta               | Cmv O2 = 4/3 Hb Smv O2                   | 14-15        | ml O2 . dl <sup>-1</sup> sangre ó Vol %          |
| pH   |  | 7.4          |  |
| Concentración de ión CO3 H                           |  | 24           | mmol . L <sup>-1</sup>                           |
| Índice cardíaco                                      | IC = GC / SC                             | 2,5 - 4,2    | L . min <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>            |
| Índice de volumen sistólico                          | IVS = IC / FC x 1000                     | 40 - 60      | mL. latido <sup>-1</sup> . m <sup>-2</sup>       |
| Índice de trabajo sistólico del ventrículo derecho   | ITSVD (RVSWI) = IVS . (PAM-PVC) . 0,0136 | 5 - 10       | gm . m . m <sup>-2</sup>                         |
| Índice de trabajo sistólico del ventrículo izquierdo | ITSVD (LVSWI) = IVS . (PAM-PCP) . 0,0136 | 45 - 60      | gm . m . m <sup>-2</sup>                         |
| Presión arterial sistémica media                     | PAM                                      | < 105        | mm Hg  |
| Presión venosa central media                         | PVC                                      | < 6          | mm Hg  |
| Presión de la arteria pulmonar media                 | PAPM                                     | < 22         | mm Hg  |
| Presión capilar pulmonar de enclavamiento            | PCP                                      | < 12         | mm Hg  |
| Índice de resistencia vascular sistémica             | IRVS = ( PAM - PVC ) / IC . 80           | 1200 - 2500  | dinas . seg . cm <sup>-5</sup> . m <sup>-2</sup> |
| Índice de resistencia vascular pulmonar              | IRVP = ( PPAM - PCP ) / IC . 80          | 80 - 250     | dinas . seg . cm <sup>-5</sup> . m <sup>-2</sup> |
| Transporte de O2                                     | TO2 ó DO2 = IC . CaO2 . 10               | 600          | ml O2 . min <sup>-1</sup> . m <sup>-2</sup>      |
| Retorno de O2  | IC . CmvO2 . 10                          | 450          | ml O2 . min <sup>-1</sup> . m <sup>-2</sup>      |
| Consumo de O2  | VO2 = IC . ( CaO2 - Cmv O2 ) . 10        | 150          | ml O2 . min <sup>-1</sup> . m <sup>-2</sup>      |

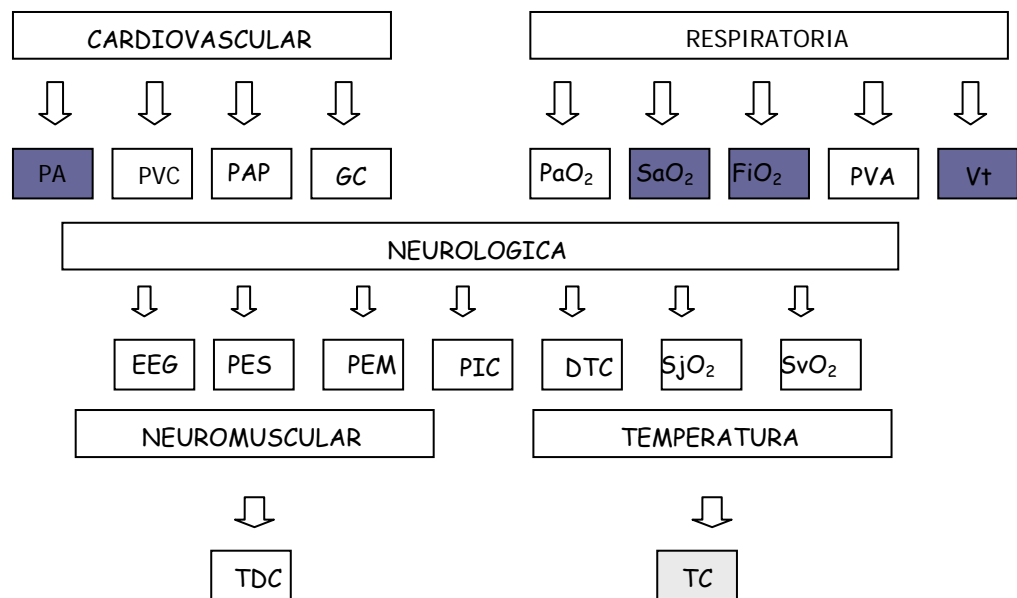


Fig. 1 Métodos de monitorización en Anestesiología y Reanimación (Ver texto para siglas. En recuadros oscuros la monitorización mínima)

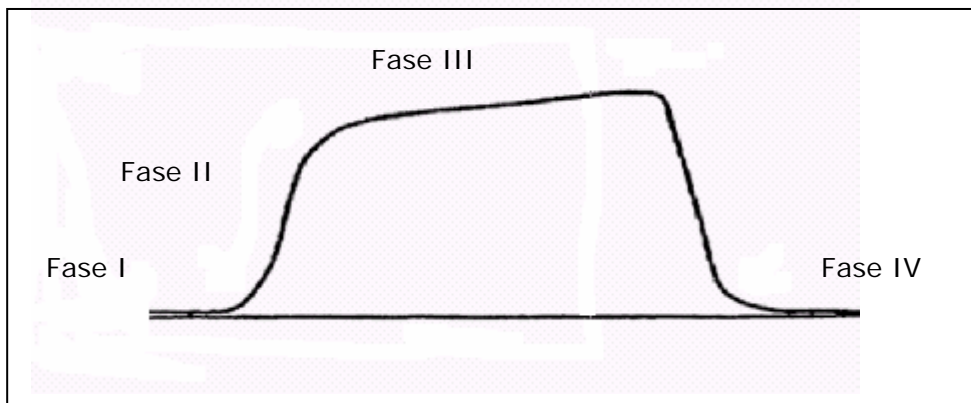


Figura 2. Fases de la onda de capnografía