

La monitorización anestésica en los pequeños animales es el complemento fundamental a un adecuado y correcto manejo anestésico del paciente quirúrgico, para reconocer rápidamente cualquier accidente, considerar su gravedad y valorar la respuesta al tratamiento instituido. A lo largo de este capítulo se revisan a las técnicas y métodos de monitorización respiratoria, cardiovascular y de otras constantes vitales del perro y gato anestesiados.

Monitorización anestésica en los pequeños animales

La muerte de un animal de compañía durante un procedimiento anestésico quirúrgico es una experiencia estresante tanto para el veterinario como para el dueño, y no es infrecuente, de acuerdo con la información epidemiológica disponible (capítulo II), que se produzca una fatalidad y el profesional puede pensar que es una consecuencia inevitable de todo procedimiento anestésico. Algunas muertes en realidad sí son evitables y es precisamente este dato el que debe motivar al veterinario a mejorar sus procedimientos para evitar o, al menos, reducir estos accidentes. Por ejemplo, si hubiéramos detectado un descenso en la frecuencia respiratoria 15 min antes de que se produjera el paro respiratorio, ¿hubiéramos podido hacer algo al respecto? la respuesta posiblemente es afirmativa y por lo tanto se plantea la necesidad de disponer de algún equipo de monitorización.

La palabra monitorizar significa vigilar, observar y verificar. Aplicado este significado a la anestesia, la

monitorización consiste en efectuar esas acciones sobre los signos vitales del animal inconsciente. La monitorización anestésica, pues, puede definirse como **la aplicación de técnicas físicas o instrumentales que permiten observar y vigilar la evolución de las constantes vitales de un paciente durante la anestesia y recuperación anestésica con el propósito de cubrir tres grandes objetivos:**

- ☞ Reconocer rápidamente accidentes y complicaciones.
- ☞ Considerar su gravedad y opciones terapéuticas.
- ☞ Valorar la respuesta al tratamiento.

La monitorización debe ir acompañada de la posibilidad de *hacer algo*, de corregir las situaciones comprometidas para el animal. Cualquier aparato de monitorización, por más sofisticado que sea, es de escasa utilidad si no se está en disposición de comprender la información que ofrece y tomar medidas al respecto.

Cualquier clínico ha monitorizado alguna vez a un paciente, aunque no haya sido consciente de ello.

Autores

Dr. Antonio G. Cantalapiedra

*Profesor Titular
Hospital Rof Codina
Facultad de
Veterinaria de Lugo,
Universidad de
Santiago*

Dr. J. Ignacio Cruz

*CertVA, DECVA.
Profesor Titular
Responsable del
Servicio de Anestesia
del Hospital y Clínica
Quirúrgica
Facultad de
Veterinaria de
Zaragoza
C/ Miguel Servet, 177
50013 Zaragoza*

Monitoring anaesthesia in small animals

Summary

Anaesthetic monitoring is of vital importance in order to detect any complication that can occur while the animal undergoes surgery, as well as to assess how dangerous is it and how the animal responds to therapeutic measures in order to correct it. The chapter reviews the monitoring techniques of the cardiovascular and respiratory systems as well as other vital signs of the anaesthetised dog and cat.

Palabras clave:

Monitorización anestésica; perro; gato.

Key words:

Anaesthetic monitoring; dog; cat.

Por ejemplo la observación del color de las mucosas, el patrón respiratorio y la calidad del pulso, son valoraciones realizadas rutinariamente durante el acto anestésico.

Desgraciadamente, el veterinario clínico tiene que actuar como cirujano y anestesista al mismo tiempo, lo que ocasiona que se preste sólo una mínima atención al paciente en el quirófano. Es en estas circunstancias cuando la moderna tecnología puede ayudarnos a evitar problemas. Un monitor de frecuencia respiratoria, a modo de ejemplo, no se distrae, no se cansa y no se duerme. Como en otros aspectos de la práctica veterinaria existen limitaciones prácticas y económicas a la hora de plantear qué modelo y cuántos monitores se necesitan para hacer frente a las necesidades de la clínica habitual.

Las **razones**, pues, que justifican la adquisición de equipos de monitorización se pueden resumir en las siguientes:

☞ Algunos parámetros clínicos, como por ejemplo la ETCO_2 , sólo pueden medirse con ayuda instrumental.

☞ Los monitores son mucho más sensibles que nuestros sentidos a la hora de valorar cambios en algunas constantes. La pulsioximetría es capaz de detectar descensos de la SaO_2 mucho antes de que aparezca la cianosis.

☞ En general, cuanto mayor información de un paciente se posea, mejor se podrá tomar una decisión en cuanto al mejor modo de proceder.

☞ La información que suministran los monitores es directa y preparada para su análisis.

☞ Los pacientes se pueden monitorizar a distancia.

☞ Se puede utilizar los registros de monitorización como pruebas en caso de demandas o accidentes.

☞ Los datos de la monitorización son reales, se pueden archivar y se pueden emplear para publicar los resultados, efectuar estudios estadísticos y retrospectivos, eliminando el componente subjetivo en la valoración clínica del animal.

Entre las **desventajas** que cabe citar se destacan :

☞ El precio. Normalmente los equipos son caros.

☞ Ineficaces y peligrosos si se utilizan erróneamente.

☞ Se precisa tiempo para preparar el monitor y calibrarlo, etc.

☞ Se precisa un nivel de conocimientos suficiente para interpretar los datos que se obtienen y actuar en consecuencia.

Nivel de monitorización recomendable

En anestesia humana se recomiendan unos estándares mínimos en cuanto a monitorización se refiere (SaO_2 , ECG, TA) (tabla 1).

Sin embargo, todavía son pocos los hospitales, clínicas y centros veterinarios, incluso en países muy desarrollados, que alcancen este nivel en la práctica clínica veterinaria.

Uno de los monitores que debe figurar en primer lugar en la lista de adquisición es el que suministre información sobre el estado del aparato cardiovascular. Tanto la frecuencia cardíaca (FC) como la presión arterial (PA) son parámetros que requieren un seguimiento constante.

El ECG es menos útil para indicar el estado de la circulación, pero es único para controlar la aparición de arritmias.

Algún monitor respiratorio también debe tener prioridad. Podemos utilizar respirómetros (volumen corriente: V_t y volumen minuto: V_m), aunque un capnógrafo (ETCO_2) es ideal para evaluar la mecánica ventilatoria y el intercambio gaseoso. A continuación detallamos de forma más concreta cómo monitorizar un animal anestesiado.

Monitorización respiratoria

El mantenimiento de una adecuada función respiratoria es el requisito más indispensable para la realización de una anestesia segura. Elevaciones excesivas de la presión arterial de CO_2 (PaCO_2) o decrecimientos moderados pero sostenidos de la presión arterial de O_2 (PaO_2) durante la anestesia tienden a provocar alargamientos en los tiempos de despertar o problemas de insuficiencia renal, hepática o cardíaca en el periodo postoperatorio. Durante la anestesia general hay siempre una tendencia a que la PaO_2 sea menor (hipoxemia) que la observada en la misma especie cuando están despiertos y respirando

Tabla 1

Normas de monitorización intraoperatoria básica de la Sociedad Americana de Anestesiólogos¹

Norma I. Personal cualificado de anestesia.

Personal cualificado de anestesia debe de estar presente en los quirófanos para la realización de anestias generales, regionales y vigilancia anestésica monitorizada durante todo el procedimiento.

Norma II. La oxigenación, ventilación, circulación y temperatura deberán ser evaluadas continuamente.

Oxigenación

1. Analizador de oxígeno para gases inspirados.
2. Observación del paciente.
3. Pulsioximetría.

Ventilación

1. Auscultación.
2. Observación del paciente.
3. Observación de la bolsa de reserva.
4. Capnometría/capnografía (ETCO_2).

Circulación

1. ECG continuo.
2. Frecuencia cardíaca y presión arterial (cada 5 minutos).
3. Auscultación cardíaca.
4. Palpación del pulso.
5. Plestimografía del pulso.
6. Pulsioximetría.
7. Trazo de presión intraarterial.

Temperatura

1. Temperatura corporal y cutánea.

¹ Aprobadas el 21/10/86, y enmendadas el 23/10/90, para entrar en vigor el 01/01/91.

el mismo porcentaje de oxígeno. También la PaCO₂ suele presentar valores superiores en animales anestesiados (hipercapnia).

La anestesia modifica la respiración de tres formas:

① Reduciendo la respuesta de los quimiorreceptores centrales sensibles a las subidas del CO₂.

Al reducir la respuesta de los quimiorreceptores centrales sensibles a las subidas del CO₂, va a permitir que se produzca ventilación deprimida con incremento de los niveles de CO₂ y decrecimiento del pH.

A mayor profundidad anestésica mayor depresión de los receptores y mayor acumulación de CO₂.

② Provocando reducciones del volumen minuto, bien reduciendo la frecuencia respiratoria o bien el volumen tidal.

Esta reducción del volumen minuto se debe a la depresión de la musculatura respiratoria (intercostal y diafragmática) y a la pérdida de elasticidad de la vía aérea. Dicha reducción depende del anestésico y de la especie sobre la que está actuando.

③ Incrementando los desequilibrios ventilación/perfusión.

Se incrementan las áreas pulmonares que, estando correctamente perfundidas, no están correctamente ventiladas (shunt de perfusión) y las áreas pulmonares que, estando adecuadamente ventiladas, no están perfundidas (ventilación con espacio muerto alveolar). Las razones de los desequilibrios ventilación/perfusión son la reducción del gasto cardíaco y del volumen tidal que tienen lugar durante la anestesia y que alteran las presiones hidrostáticas a nivel pulmonar.

Estos desequilibrios se acentúan con el decúbito y son mucho más intensos en los grandes animales (équidos y bovino).

Como resumen podemos señalar que la anestesia provoca depresión respiratoria y que ésta se pone de manifiesto:

- ⇒ Aumentando la PaCO₂.
- ⇒ Disminuyendo el volumen minuto.
- ⇒ Disminuyendo la PaO₂.

Conocidos ya los efectos adversos de la anestesia sobre la ventilación, se indican las distintas técnicas de monitorización en cada caso con sus ventajas e inconvenientes.

¿Respira el paciente?

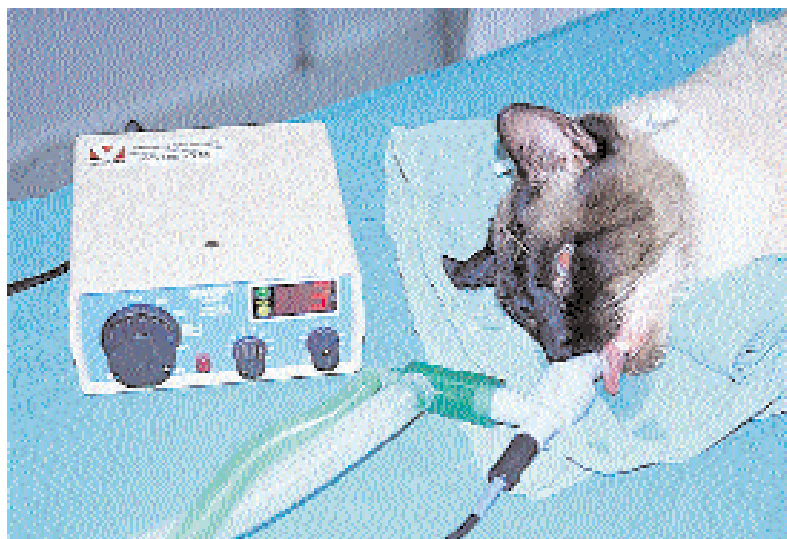
Desde el punto de vista respiratorio, lo primero y más básico que precisamos conocer es si el paciente respira y con qué frecuencia.

• MÉTODOS VISUALES

Para detectar los movimientos respiratorios se puede recurrir a técnicas visuales tales como observar las oscilaciones del balón de reserva del circuito anestésico o las excursiones de la caja torácica. El gran inconveniente de este sistema es que muchas veces el paciente está cubierto con paños de campo y es difícil observar las excursiones del tórax y otras veces lo que no es visible es el balón de reserva. Además, normalmente en la práctica privada quien anestesia y quien practica la cirugía coinciden, por lo que no puede estar muy pendiente de otras cosas.



Fotografía 1. Fonendoscopio esofágico conectado a un amplificador, con sondas esofágicas de diferentes calibres.



Fotografía 2. Monitor de apnea. El termistor colocado por dentro del conector del tubo endotraqueal detecta cambios en la temperatura del aire espirado, indicando el intervalo en segundos entre dos movimientos respiratorios.

• MÉTODOS SONOROS

Para solventar las deficiencias reseñadas se recurre a dispositivos sonoros.

El estetoscopio esofágico

Consta de una sonda, que se introduce por el esófago hasta situar su extremo distal a la altura del pericardio, conectada a un amplificador de sonido que permite escuchar los latidos cardíacos y los movimientos respiratorios (fotografía 1).

El monitor de apnea

Dispositivo electrónico que conectado al tubo endotraqueal detecta el flujo de aire y emite un pitido coincidiendo con cada espiración (fotografía 2).

Presenta dos botones de control; uno que permite ajustar la sensibilidad del equipo y en pacientes de pequeño tamaño, cuyo volumen tidal es reducido se suele colocar la sensibilidad al máximo; otro botón controla el tiempo de apnea en segundos y está

conectado a una alarma. En función del tamaño del paciente y de su frecuencia respiratoria tendremos que ajustar el tiempo de apnea.

- **INCONVENIENTES DEL MONITOR DE APNEA**

Los veterinarios tienden a seleccionar máxima sensibilidad por lo que el paciente puede estar mal intubado (en esófago) y el monitor emitir un pitido con cada respiración al detectar flujo de aire procedente del estómago.

Con estos dispositivos lo único que se conoce es la frecuencia respiratoria, con valor muy limitado si no se referencia el volumen tidal.

Asimismo, se desconoce los niveles sanguíneos y alveolares de O₂ y CO₂.

Espirometría

El siguiente nivel de monitorización respiratoria es conocer la cantidad de aire que intercambia el paciente.

La espirometría o ventilometría permite conocer de forma continua e inmediata el volumen tidal, la frecuencia respiratoria y el volumen minuto. El volumen tidal normal suele estar entre 10-20 ml/kg. El volumen minuto se encuentra entre 150-250 ml/kg/min. Valores de volumen minuto inferiores a 100 ml/kg/min se consideran insuficientes y requieren de terapia ventilatoria.

Lo que realmente interesa conocer no es el volumen tidal ni el volumen minuto sino el volumen alveolar o la ventilación alveolar por minuto, es decir, el aire que realmente alcanza los alveolos y participa en el intercambio gaseoso.

- **INCONVENIENTE DE LA ESPIROMETRÍA**

El gran inconveniente de la espirometría es que proporciona información de la cantidad de aire que entra y sale de los pulmones, pero no informa si el intercambio gaseoso a nivel alveolo-capilar es adecuado o no.

Si existe una porción importante del pulmón que está correctamente ventilada pero mal perfundida (ventilación con espacio muerto alveolar) en estos alveolos no hay intercambio gaseoso, aunque sí que participan en el intercambio boca-nariz/pulmón.

Fotografía 3.
Conexión del capnógrafo aspirativo al tubo endotraqueal. La muestra de aire espirado llegará al módulo paciente donde será analizada para el CO₂ por medio de rayos infrarrojos.



Al aumentar el volumen de espacio muerto alveolar, aumenta el espacio muerto fisiológico y disminuye el volumen alveolar.

Para tratar de solventar el defecto de la espirometría sería interesante conocer los niveles sanguíneos de O₂ y CO₂ a nivel arterial ya que de esta forma podemos determinar si se produce un adecuado intercambio gaseoso a nivel alveolar.

Gasometría

La gasometría es la única técnica invasiva que permite conocer los niveles de O₂ y CO₂, el pH y el exceso de bases en sangre arterial o venosa y de esta forma determinar el estado ventilatorio del paciente.

- **INCONVENIENTE TIENE LA GASOMETRÍA**

☞ Es una técnica invasiva y complicada que requiere de cateterización de una arteria.

☞ La información que proporciona no es continua ni inmediata, pues una vez extraída la muestra hay que realizar la prueba laboratorial. En la práctica se suele realizar una gasometría cada 20-30 minutos de anestesia.

☞ Es una prueba económicamente costosa.

¿Qué arteria se cateteriza en función de la especie?

☞ Perro: femoral o metatarsiana dorsal.

☞ Gato: femoral.

¿Cómo extraer y conservar la muestra?

☞ Siempre con jeringas con heparina.

☞ Evitar la oxigenación de la muestra.

☞ Realizar el análisis inmediatamente.

☞ Se puede almacenar durante 1-2 horas en hielo picado.

Para solventar los defectos de la **gasometría** se han diseñado una serie de monitores que permiten conocer aproximadamente los niveles de O₂ y CO₂ a nivel arterial de forma continua, e instantánea, sin necesidad de cateterización arterial y con menor coste.

Capnometría / capnografía

El capnógrafo/capnómetro es un monitor que mide de forma continua la concentración de CO₂ en el aire espirado.

El capnógrafo muestra una gráfica que representa los valores de CO₂ a lo largo de todo el ciclo respiratorio; y el capnómetro proporciona un valor numérico que representa la concentración de CO₂ máxima al final de la espiración.

- **CONOCER EL VALOR DEL CO₂**

- AL FINAL DE LA ESPIRACIÓN**

Se está estimando la presión de CO₂ a nivel arterial a partir de la fracción espiratoria final de CO₂. Cuando la función pulmonar es normal, teóricamente se produce un equilibrio de forma que la presión arterial de CO₂ es igual a la presión alveolar de CO₂ e igual a la fracción espiratoria final de CO₂.

$$PaCO_2 = PACO_2 = FEFCO_2$$

En condiciones normales la PaCO₂ es ligeramente inferior a la FEFCO₂ (3-5 mm Hg).

• ERROR DE LA CAPNOMETRÍA/CAPNOGRAFÍA

Cuando existen alveolos ventilados pero no perfundidos la FEFCO₂ tiende a ser inferior a la PaCO₂ ya que se mezcla aire rico en CO₂ procedente de los alveolos en los que hay intercambio gaseoso con aire sin CO₂ procedente de alveolos en los que no hay intercambio.

• CONEXIÓN DEL CAPNÓGRAFO

Se conecta siempre al tubo endotraqueal, pero en animales con un peso superior a los 10 kg se puede conectar mediante una pieza intermedia (fotografía 3).

En animales de menos de 10 kg nunca colocar pieza intermedia entre el tubo endotraqueal y el circuito de anestesia ya que incrementaríamos mucho el espacio muerto del circuito. Para evitarlo se conecta al tubo endotraqueal directamente.

• SIGNIFICADO DE LA CURVA DEL CAPNÓGRAFO (figura 1)

Zona A

Representa la primera porción de aire exhalado. Procede del espacio muerto anatómico y del circuito. No tiene CO₂.

Zona B

Es el aire espirado de la última porción del espacio muerto y mezclado con aire alveolar. La concentración de CO₂ va aumentando.

Zona C

En esta zona el aire espirado es completamente alveolar, con abundante carga de CO₂. El punto máximo de la meseta es el punto E que representa la concentración espiratoria final de CO₂ (FEFCO₂) que se aproxima a la PaCO₂.

Zona D

Corresponde a la fase inspiratoria. La tasa de CO₂ cae rápidamente y debe llegar a cero.

• CARACTERÍSTICAS DE LA CURVA DEL CAPNÓGRAFO

Altura

Es el valor de la FEFCO₂. Puede expresarse en mmHg o en %. Los valores normales se encuentran entre 35-45 mm Hg (3,9-5,2%)

❶ Cuando el valor de la FEFCO₂ es superior al 5% hablamos de hipercapnia o hipoventilación. Situación muy frecuente durante la anestesia.

❷ Si el valor de la FEFCO₂ es inferior a 3,9% se denomina hipocapnia o hiperventilación. Es una situación frecuente cuando se realiza ventilación a presión positiva intermitente (IPPV) o en pacientes que presentan un plano anestésico superficial.

Amplitud

Depende directamente de la frecuencia respiratoria. A menor amplitud, mayor frecuencia respiratoria. La imagen muestra un capnograma de un animal neonato que tiene una frecuencia respiratoria muy alta.

Forma

Solo hay una onda normal del capnograma, por lo que cualquier alteración en la forma debe ser investigada.

Algunas alteraciones típicas de la forma del capnograma son:

☞ Oscilaciones cardiogénicas: el corazón al golpear contra los pulmones durante el latido cardíaco origina un flujo de aire al final de la espiración. Es frecuente con frecuencias respiratorias bajas y volúmenes tidales bajos.

☞ Relajación insuficiente: pacientes sometidos a bloqueo neuromuscular y ventilados mecánicamente, el capnógrafo permite determinar el final del bloqueo.

Línea basal

El capnograma normal siempre debe arrancar de 0, lo que equivale a afirmar que no existe reinhalación de CO₂. Las principales causas de reinhalación son:

- ☞ Cal sodada gastada del circuito circular.
- ☞ Demasiado espacio muerto en el circuito
- ☞ Volumen minuto insuficiente.

• INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CAPNOGRAMA

Conectado al tubo endotraqueal y midiendo la concentración espiratoria de CO₂, ofrece una doble información.

Directamente. Mecánica ventilatoria:

¿Está el animal intubado?

Es el monitor que con mayor rapidez permite conocer si se ha realizado correctamente la intubación de la tráquea. Al colocar el tubo endotraqueal y realizar presión sobre el tórax se debe observar que el monitor mide la FEFCO₂.

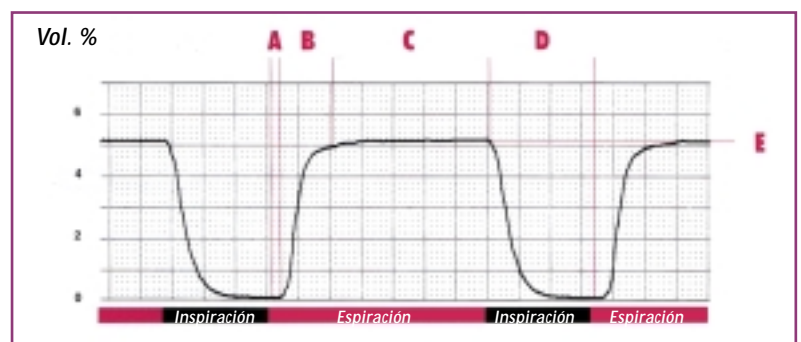
Es el único monitor que nos informa sobre si el circuito de anestesia conectado al paciente es adecuado, si funciona correctamente la cal sodada y las válvulas unidireccionales del circuito circular y si el flujo de gases frescos es adecuado. Además, informa de la frecuencia respiratoria, de si el paciente ventila con normalidad y si el intercambio gaseoso es adecuado (no se acumula CO₂).

En el caso de IPPV indica si la frecuencia respiratoria y el volumen tidal son adecuados.

Indirectamente: Estatus cardiovascular

Para que el intercambio gaseoso a nivel alveolar se produzca de forma normal, el sistema cardiovascular tiene que ser eficaz y el aporte de sangre a los pulmones no verse comprometido.

Figura 1.
Significado de la curva del capnógrafo





Fotografía 4. Metahemoglobinemia en un gato, originada por una intoxicación por antisépticos empleados en la limpieza del utillaje anestésico. En estos casos la pulsioximetría carece de valor como técnica de monitorización.

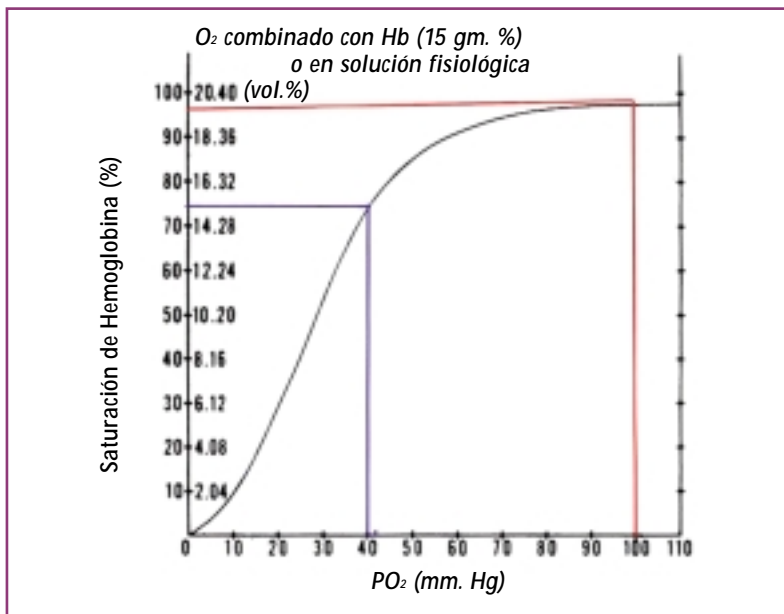


Figura 2. Relación entre la SpO₂ (%) y la PaO₂ (mmHg)

Cuando en el capnograma se observa una caída exponencial de la onda está indicando la existencia de hipotensión o descenso del gasto cardíaco.

Cuando tras una caída exponencial de la onda del capnograma, ésta cae hasta cero, está indicando la presencia de una parada cardiopulmonar; cuando iniciamos las maniobras de reanimación cardiopulmonar el capnógrafo es muy útil para determinar la eficacia de estas maniobras y cuando se restablece la circulación y respiración espontánea.

Pulsioxímetro

El pulsioxímetro informa de forma inmediata y continua de la saturación parcial arterial de la

hemoglobina por oxígeno y de la frecuencia cardíaca, es decir, permite conocer los niveles arteriales de oxígeno de forma no invasiva.

• BASES DE LA PULSIOXIMETRÍA

La pulsioximetría se basa en la absorción de luz infrarroja transmitida a través de una muestra de sangre.

La oxihemoglobina, hemoglobina reducida, carboxihemoglobina y metahemoglobina absorben diferentes longitudes de onda. Los pulsioxímetros están diseñados para medir sólo dos longitudes de onda (oxihemoglobina y hemoglobina reducida), por lo tanto la medida que proporcionan es una saturación parcial al no distinguir la carboxihemoglobina y metahemoglobina.

• ERRORES DE LA PULSIOXIMETRÍA

☞ Saturación parcial: porque no distingue la metahemoglobina y carboxihemoglobina de la oxihemoglobina (fotografía 4), que daría una falsa lectura del pulsioxímetro.

☞ La vasoconstricción, la hipotermia, los pigmentos y pelos y la luz del quirófano y sala de recuperación van a provocar lecturas erróneas.

• COLOCACIÓN DE LA SONDA DEL PULSIOXÍMETRO

En general se puede colocar sobre mucosas no pigmentadas y sobre piel no pigmentada y desprovista de pelo.

En el gato, debido a que las papilas gustativas cornificadas que presentan en la lengua tienden a medir mal, se suelen colocar en otras zonas como el recto o la vagina.

• TIPOS DE SONDAS

Rectales

En la misma cara presentan el emisor y lector (fotografía 5).

Tipo pinza flexible o rígida

Para lengua, vulva, oreja, etc. El emisor y el lector están situados uno enfrente del otro.

• RELACIÓN ENTRE LA SpO₂ (%) Y LA PaO₂ (MMHG)

Ambas informan sobre la capacidad de los pulmones para oxigenar la sangre que se relacionan a través de una curva sigmoide (figura 2). En situaciones de normofisiología respirando aire ambiente (21% de O₂), la correlación entre ambas es aceptable, siendo la PaO₂ en este caso de 100 mmHg, con una SpO₂ cercana al 100%. En pacientes que respiran 100% oxígeno, como debe ocurrir durante el mantenimiento anestésico, la PaO₂ normalmente va a estar sobre 500 mmHg, ya que la PaO₂ = 5 x FiO₂, siendo FiO₂ la concentración final inspirada de oxígeno.

Podemos comprobar cómo para valores de PaO₂ superiores a 80 mmHg el pulsioxímetro no es capaz de discernir. Del estudio de esta curva sigmoide se extrae que la seguridad del paciente queda garantizada mientras las lecturas del pulsioxímetro no desciendan por debajo del 80%. A

partir de esta cifra se produce una rápida desaturación (**hipoxia**), con una bajada en pendiente de la PaO₂, que puede llegar a la cifra crítica de 60 mmHg, momento en el que el organismo desencadena un mecanismo de vasoconstricción pulmonar (*hypoxic drive*), que sólo se corrige mediante ventilación asistida con O₂ al 100%. Para saturaciones inferiores al 70% se corresponde con una SpO₂ de 40 mmHg, que pueden ser críticas para la vida del animal.

Hay que tener en cuenta que, además de la cifra de SpO₂, conviene conocer la tasa de hemoglobine-mia del animal. En el ejemplo que sigue se relacionan estas tres constantes:

Un animal sano con una Hb= 15 gr/dl, PaO₂=100 mmHg y una SpO₂ del 100%, necesita, en condiciones normales, 7-10 ml /kg/ min de O₂.

Sabiendo que:

CaO₂ (cantidad de O₂ arterial) = O₂ transportado por la Hb + O₂ en solución física, que expresado de otra manera es:

$$CaO_2 = [(1,34 \times Hb \times \% \text{ saturación})] / 100 + (0,003 \times PaO_2) \times 1,34 = \text{ml O}_2/\text{g Hb}.$$

*0,003 = solubilidad del O₂ en el plasma, 0,3 ml/dl.

* PaO₂ = presión parcial del O₂ en la sangre arterial, 100 mmHg.

Nuestro paciente tendrá una CaO₂ de:

$$(1,34 \times 15 \times 100) + (0,003 \times 100) = 20,4 \text{ ml de oxígeno por dl (cifra fisiológica).}$$

Pero si la tasa de Hb desciende hasta 10 gr/dl (anemia, hemorragia), aún oxigenando al 100%, la CaO₂ descenderá hasta 13 ml/100 ml de sangre.

Si además, la SpO₂ desciende por debajo del 70% (común durante la anestesia sin soporte vital), entonces la CaO₂ se va a menos de 10 ml/100 ml de sangre. **Esta cifra origina cianosis y debe ser corregida inmediatamente.**

Es menos importante monitorizar el oxígeno que el dióxido de carbono durante la anestesia

La hipoxia en un paciente se corrige fácilmente incrementando la concentración inspiratoria de oxígeno, mientras que la hipercapnia en un paciente sólo se corrige ventilándolo manual o mecánicamente.

Como resumen podemos señalar que es conveniente suplementar con oxígeno a los pacientes durante la anestesia y monitorizar los niveles de CO₂ para determinar cuándo es necesario ventilarlos.

El mejor monitor respiratorio para la anestesia

Admitiendo que los monitores que se han tomado como estándar en anestesia humana para controlar los niveles de O₂ y CO₂ son el pulsioxímetro y capnógrafo respectivamente, y que hoy en día sería impensable realizar una anestesia humana sin disponer de alguno de los dos, la pregunta a plantear en veterinaria, pensando en nuestras limitaciones económicas, es cuál de los dos es más útil para los clínicos.



Fotografía 5. Broncoscopia en un gato, monitorizada por medio de pulsioximetría con sonda rectal, cuando no se puede utilizar la sonda lingual. Nótese la baja cifra de SpO₂ en el momento de introducir el broncoscopio, bloqueando la luz traqueal.

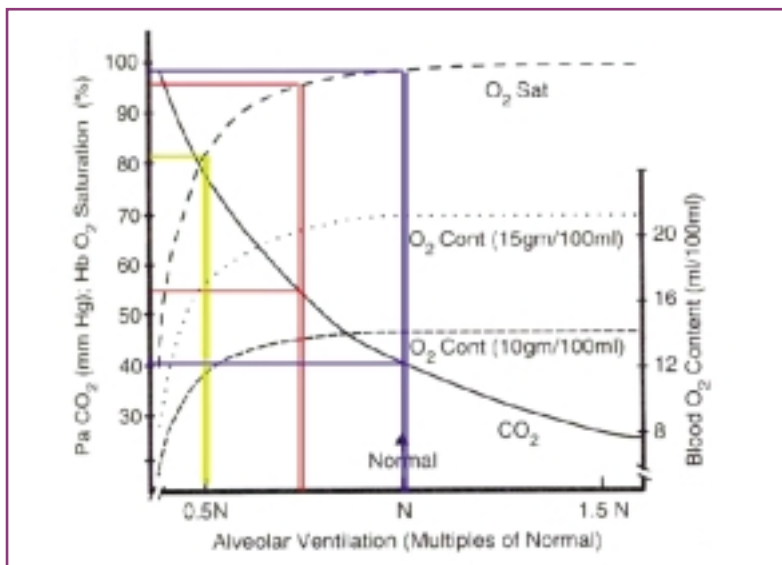


Figura 3. Curva que relaciona la SpO₂, el contenido de oxígeno en sangre circulante y la presión parcial de CO₂ con la ventilación alveolar. Normoventilación en color azul y depresión ventilatoria del 25% en rojo.

Ambos monitores tratan de detectar la hipoventilación lo más tempranamente posible con el objeto de instaurar tratamiento; uno lo hace determinando la SpO₂ y el otro la FEFCO₂.

En la figura 3 se ha representado los niveles de SpO₂ y de ETCO₂ en función de la ventilación respirando 21 % de O₂. Se observa cómo con normoventilación la SpO₂ es > de 95% y la FEFCO₂ es de 40 mmHg. Cuando hay una depresión ventilatoria del 25 % el pulsioxímetro sigue marcando >95, mientras que el capnógrafo está indicando que hay hipoventilación al medir una FEFCO₂ de 55 mmHg (hipercapnia).

Fotografía 6.
Uso del estetoscopio
esofágico básico
para la
monitorización de
las frecuencias
cardíaca y
respiratoria. Es muy
versátil y económico.



Qué ocurriría si el paciente estuviese respirando aire enriquecido con oxígeno (situación habitual cuando se realiza una anestesia). El pulsioxímetro tardaría mucho más tiempo en indicar una situación de hipoventilación debido a que se trabajaría con unas PaO_2 muy superiores a 90-100 mmHg.

CONCLUSIONES

- ☞ Administrar aire enriquecido con O_2 durante la anestesia (inyectable o inhalatoria).
- ☞ Controlar los niveles de CO_2 con un capnógrafo durante la anestesia.
- ☞ En el perioperatorio controlar los niveles de O_2 mediante un pulsioxímetro.

Monitorización cardiovascular

La primera función del sistema cardiovascular es la distribución de la sangre por los tejidos. El corazón debe ser una bomba eficaz, los vasos sanguíneos deben ser conductos eficaces y debe existir un volumen de sangre suficiente. Existe una gran variedad de vías por las que las enfermedades y las drogas anestésicas pueden interferir con la función cardiovascular. Consecuentemente hay una gran variedad de parámetros que deberían monitorizarse para asegurar que la función cardíaca es normal.

Las constantes cardiovasculares más importantes que deben monitorizarse en pequeños animales son la frecuencia cardíaca y la tensión arterial. Manteniendo ambos dentro de los límites fisiológicos se asegura un adecuado gasto cardíaco y una adecuada perfusión orgánica, en especial muscular, hepática y renal).

Frecuencia cardíaca

La frecuencia cardíaca se puede medir por medio de un fonendoscopio, un estetoscopio esofágico convencional (fotografía 6) o conectado a un amplificador. La importancia de una frecuencia cardíaca anormal es por su efecto sobre

el gasto cardíaco. Una medida simultánea de la PA o del gasto cardíaco permitiría diferenciar aquellos ritmos anormales que comprometen la vida del paciente de los que no. En ausencia de estas medidas el clínico debe colocar un límite arbitrario de 60 ppm para la bradicardia (perro y gato) y de 200-250 ppm (perro) o de 250-300 ppm (gato) para la taquicardia. Para valores fuera de estos límites se recomienda tratamiento.

Ritmo

La presencia de ritmos anormales se puede detectar por cualquiera de las técnicas que se utilizan para medir la frecuencia cardíaca. La identificación de la arritmia requiere de electrocardiograma. Las variaciones cíclicas de la frecuencia cardíaca son comunes en pacientes normales debido a las variaciones del tono parasimpático sobre el corazón (pueden estar mediados por receptores pulmonares y/o baroreceptores cardiovasculares). Estas variaciones cíclicas no suelen existir en animales excitados, estresados o atropinizados.

La arritmia más común observada en animales críticamente enfermos o anestesiados (excluyendo las bradicardias y taquicardias) son los marcapasos ectópicos ventriculares que inducen contracciones. En ocasiones también se pueden observar contracciones atriales prematuras, bloqueos atrioventriculares y bloqueos de rama.

Monitorización electrocardiográfica

El electrocardiograma refleja la actividad eléctrica del corazón. Las alteraciones en el electrocardiograma indican la presencia de excitación eléctrica o alteraciones en la conducción que pueden estar relacionados con enfermedades miocárdicas intrínsecas o enfermedades sistémicas. La presencia de una función eléctrica normal no garantiza el que la función mecánica del corazón o del sistema cardiovascular sea adecuada (la PA y la perfusión tisular pueden ser inadecuadas en presencia de un ECG normal).

Para conseguir una amplitud máxima y una mejor visualización de la curva electrocardiográfica es recomendable utilizar las derivaciones II y III (se corresponden con los ejes mayores de despolarización del corazón). Derivación II: electrodo amarillo (polo +) se debe colocar en la extremidad posterior izquierda, el rojo (polo -) en la extremidad anterior derecha y el negro (polo neutro) en la extremidad posterior derecha. Derivación III: Igual pero el electrodo rojo en la extremidad anterior izquierda.

Para la fijación de los electrodos al cuerpo del animal habitualmente se utilizan pinzas de cocodrilo que son impregnadas con gel electrocardiográfico para favorecer el contacto y minimizar la resistencia eléctrica.

Otra forma de monitorización electrocardiográfica es la utilización de una sonda esofágica por la que internamente discurren dos cables a los que externamente en el extremo proximal van conecta-

dos el electrodo amarillo y el rojo y que afloran en el extremo distal donde se establece el contacto a la altura del corazón. La ventaja de este dispositivo reside en la menor interferencia de los electrodos con la mesa de operaciones, en una mayor libertad a la hora de manipular el paciente y en un contacto más perfecto.

Presión arterial

La presión arterial (PA) es el producto final de interrelacionar el gasto cardíaco, la capacidad vascular y el volumen sanguíneo. Si alguno de estos parámetros está alterado de tal forma que decrece la PA, los otros tratarán de compensar y restaurar la PA. Cuando uno o más de estos parámetros están severamente alterados la compensación no es posible, y la PA decrecerá a niveles inaceptables.

La PA es importante porque es la responsable de la circulación coronaria y cerebral. La perfusión de los tejidos periféricos está regulada por el tono arteriolar precapilar.

Las principales partes de la onda de presión son:

- la presión arterial sistólica (PAS): es la presión máxima obtenida con cada eyección cardíaca;
- La presión arterial diastólica (PAD): es la presión mínima antes del próximo ciclo de eyección;
- la presión arterial media (PAM): la PAD más un tercio de la diferencia entre la PAS y PAD;
- la presión de pulso: diferencia entre la PAS y PAD.

La PAS está determinada fundamentalmente por el volumen de eyección y por la elasticidad de la pared arterial. La PAD depende del discurrir de la sangre por los capilares y el sistema venoso y del ritmo cardíaco. Ritmos cardíacos lentos, vasodilatación y volúmenes de eyección reducidos provocan PAD bajas. La PAM es fisiológicamente la más importante porque representa la presión media circulante que determina la perfusión a nivel cerebral y coronario.

En ocasiones se piensa que la presencia de un pulso fuerte es garantía para una circulación eficiente con valores de presión arterial elevados. No obstante, la presión y fuerza del pulso no está en relación directa a la presión arterial media (PAM), sino en relación a la diferencia entre la presión sistólica (PS) y diastólica (PD). Por tanto, el pulso puede ser fuerte a pesar de que la presión sistólica sea baja siempre que la presión diastólica sea correlativamente mucho más baja; por el contrario puede ser débil si la presión sistólica es alta, pero la diastólica también lo es y por ello presenta pocas diferencias con la sistólica:

Pulso fuerte: PS = 75 mm Hg; PD= 20 mm Hg

Pulso débil: PS =140 mm Hg; PD=125 mm Hg

La PA se puede medir por métodos directos o indirectos. La técnica indirecta con esfigmomanómetro implica la aplicación de un manguito ocluidor sobre una arteria en un apéndice cilíndrico. El inflado del manguito aplica presión sobre el tejido subyacente y ocluirá totalmente el flujo sanguíneo cuando la presión exceda la PAS. A medida que la presión del manguito va decreciendo, la sangre vuelve a fluir intermitentemente cuando la presión extraluminal cae por debajo de la PAS. La PAS es aquella presión



del manguito a la que se detecta, distal al manguito ocluidor, flujo sanguíneo o presión arterial. El flujo sanguíneo será continuo cuando la presión extraluminal caiga por debajo de la PAD. Las técnicas indirectas requieren de una arteria que sea lo suficientemente grande y superficial para que las pulsaciones puedan ser determinadas por algún método externo. Las arterias más utilizadas en pequeños animales son la metatarsiana dorsal, metacarpiana y metatarsiana ventral, ulnar y coxígea.

La anchura ideal del manguito es un 38% de la circunferencia de la extremidad. Si el manguito se coloca excesivamente apretado, las medidas que se obtienen pueden ser erróneamente bajas ya que el propio manguito estará ocluyendo parcialmente la arteria y se necesitará muy poca presión adicional para ocluir totalmente la arteria. Si el manguito es colocado muy flojo las lecturas obtenidas serán erróneamente altas ya que se necesitará mucha presión adicional para ocluir la arteria. Asimismo, la posición de la extremidad es fundamental para obtener medidas exactas, ya que si la extremidad está demasiado flexionada las lecturas pueden ser bajas ya que los vasos pueden encontrarse parcialmente ocluidos a la altura de las articulaciones.

Existen diversos métodos para detectar el flujo sanguíneo distal al manguito. Si la arteria es suficientemente grande o el sistema de auscultación suficientemente sensible se pueden detectar los sonidos de Korotkoff a medida que el manguito es desinflado. También se puede recurrir a la palpación digital del primer pulso a medida que el manguito es desinflado que se corresponderá aproximadamente con la PAS.

Existe otro método, el oscilométrico, basado en las oscilaciones de la aguja del manómetro, a medida que el manguito se va desinflando, causadas por la onda pulsátil que golpea el manguito y que se corresponde aproximadamente con la PAS. Los valores obtenidos son ligeramente superiores a las medidas directas. En este método oscilométrico están basados los instrumentos comerciales que automáticamente inflan y desinflan el manguito, y que miden la PAS, PAM, PA y frecuencia cardíaca (fotografía 7).

Fotografía 7.
Modelo de esfigmomanómetro oscilométrico, que de forma automática e intermitente mide la presión arterial sistólica, diastólica, media y la frecuencia cardíaca. Es muy útil en pequeños animales.



Fotografía 8. Método Doppler para la medición de la presión arterial. Con estos dispositivos se obtienen cifras de presión arterial sistólica, que suelen ser ligeramente inferiores a los que se obtendrían por métodos cruentos o invasivos. En el gato, la cifra de presión corresponde con este sistema a la presión arterial media.

El otro método para detectar el flujo sanguíneo distal al manguito es mediante un doppler. Existen distintos modelos en el mercado:

- Unos que detectan el flujo sanguíneo (Transcutaneous Doppler Blood Flow Detector, Parks Electronics, Beaverton, Ore) que nos permiten medir la PAS.

- Otros que detectan el movimiento de las paredes de las arterias (Doppler Ultrasonic Blood Pressure Instruments, Roche Medical Electronics, Cranbury, NY) que permiten medir la PAS, PAM y PAD (fotografía 8).

La medida directa de la presión arterial permite una medición continua y más exacta que la medida indirecta, pero requiere la cateterización de una arteria por un procedimiento de punción percutánea o abordaje quirúrgico. En el perro despierto las arterias más accesibles para la cateterización percutánea son la femoral, metatarsiana dorsal, radial y braquial (hay que prestar un especial cuidado dado que se encuentran rodeadas de numerosos nervios). En el perro anestesiado se puede cateterizar la arteria lingual o se puede realizar un abor-

daje quirúrgico a cualquier otra arteria. En el gato se suelen abordar quirúrgicamente la femoral o la carótida.

Tiempo de llenado capilar (CRT)

El tiempo que tarda la sangre en rellenar la cama capilar que ha sido comprimida está determinado por el tono vasomotor arteriolar y normalmente inferior a 1 segundo. Puede estar aumentado por cualquier proceso que incremente el tono simpático y la vasoconstricción periférica (hipovolemia, shock hemorrágico, dolor). Un CRT prolongado no tiene por qué estar relacionado con una hipotensión. Un animal que ha recibido una inyección de simpaticomiméticos va a estar muy hipertenso, pero también con vasoconstricción. Una parada cardíaca en un paciente normovolémico está asociada a una presión media de 10-15 mmHg y un CRT de 1-2 segundos; mientras que un paciente con un shock hipovolémico profundo puede presentar una PAM de 40-60 mmHg y un CRT de 3-5 segundos. La diferencia es la vasodilatación frente a la vasoconstricción.

Presión venosa central

La presión venosa central (PVC) equivale a la presión interna de la vena cava anterior intratorácica o del atrio derecho. Mide la habilidad del corazón para bombear los fluidos que llegan hasta él y, siendo una estimación de la relación entre el volumen sanguíneo y la capacidad sanguínea. Debería ser medida siempre que se sospechase de un fallo cardíaco o cuando se espera que se produzca un cambio rápido en el volumen sanguíneo (figura 4).

La PVC tiende a aumentar cuando la bomba comienza a fallar, con la venoconstricción (existe una disminución en la capacidad) y con la hipervolemia. La PVC decrecerá con la vasodilatación (se incrementa la capacidad) y con la hipovolemia (decrece el retorno venoso). La PVC va a estar afectada por los cambios en la presión intrapleurales durante la ventilación espontánea (causa decrecimiento rítmico) o a la presión positiva (causa un incremento). Las toracotomías causan un incremento en la PVC de 2-6 cm de H₂O. Las obstrucciones del retorno venoso periféricos al sitio de medida durante cirugía abdominal alta o cirugía torácica pueden decrecer la PVC. Ya que la PVC está afectada por numerosas variables, todas las medidas deben de correlacionarse con la historia reciente del paciente, con otras medidas previamente realizadas y con la medida de otros parámetros cardiovasculares antes de realizar una interpretación.

El catéter se posiciona en la vena cava anterior, evitando el contacto con el endocardio del atrio derecho o del ventrículo derecho ya que podríamos estimular la aparición de marcapasos ectópicos, verificando la correcta colocación del catéter por las fluctuaciones que se observan en el menisco del fluido que se corresponden con los latidos cardíacos y otras oscilaciones más grandes que se corres-

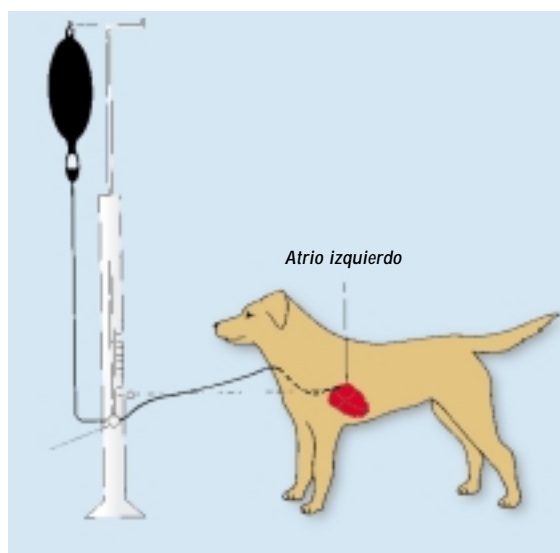


Figura 4. Representación de la medición de la PVC en un perro.

ponden con la ventilación. El catéter debe ser de un calibre superior a 20 G. En situaciones de clínica habitual, careciendo de cateteres adecuados como el de Swan-gantz, se canaliza la vena yugular, hasta una longitud cercana a la entrada el tórax.

Una vez que el catéter es insertado se conecta a un tubo de extensión, y mediante una llave de tres vías a una columna (manómetro) y a una bolsa de solución salina fisiológica. El cero se sitúa a nivel de la aurícula derecha del animal. En primer lugar se cierra la llave hacia el paciente y se llena la columna con fluido de la botella. A continuación se cierra la llave hacia la bolsa y se abre hacia el paciente de forma que el fluido de la columna se equilibre con la PVC al final del catéter. Siempre se debe sobrellenar la columna para que el fluido entre en el paciente durante la equilibración. Posteriormente el nivel de fluido en la columna es comparado con el cero y la diferencia es la PVC. La presión venosa central normalmente está entre 0 y 10 cm de H₂O, sin embargo, lo más común es obtener medidas entre 0 y 5 cm de H₂O. Medidas entre 15 y 20 cm de H₂O son muy altas y se debería conocer la causa para tratar de corregirla. La presencia de una PVC alta no contraindica la administración de fluidos cuando otros parámetros cardiovasculares indican hipovolemia. De hecho en ocasiones la PVC decrece tras la fluidoterapia debido a que se elimina la vasoconstricción simpática.

Gasto cardíaco

El equipamiento que se precisa para medir el GC es muy caro y no es práctica habitual en la clínica, aunque sería muy útil. El gasto cardíaco se calcula en base a la fórmula:

$$GC = SV \times FC$$

donde el SV es el volumen que bombea el corazón en una contracción y la FC es la frecuencia cardíaca.

Para medirlo se emplea la técnica de termidilución, para lo cual se coloca un catéter de Swan-Gantz en la arteria pulmonar a través de la yugular. Se inyecta un bolo de dextrosa al 5% a 4° C en la aurícula derecha y a continuación se mide la temperatura de la sangre que fluye a través de la arteria pulmonar. A partir de ahí se calcula el volumen de eyección y el gasto cardíaco.

El GC también se puede medir de forma incruenta con un sistema Doppler. La sonda se coloca en el esternón o intraesofágica y mide la velocidad de la sangre en la aorta. Conociendo el diámetro de la aorta se calcula el gasto cardíaco.

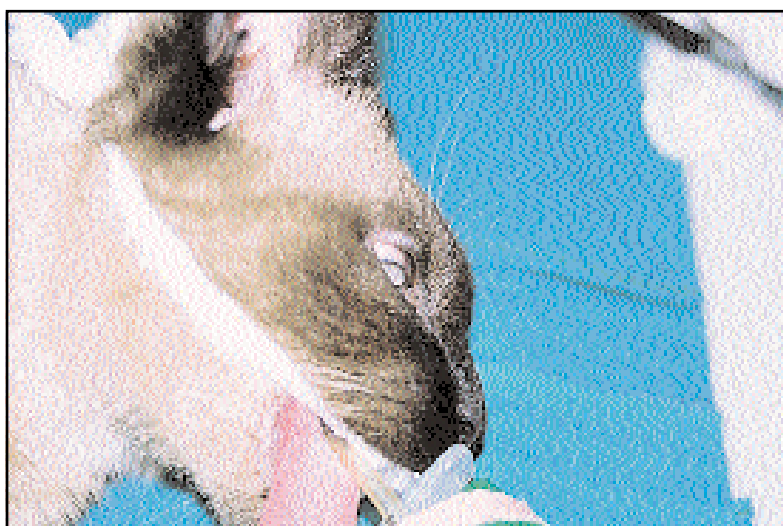
Temperatura

El termómetro es la pieza más económica del equipo de monitorización.

La hipotermia es una de las principales causas, si no la más importante, de morbilidad y mortalidad



Fotografía 9. Medición de la temperatura por medio de un termómetro digital con sonda rectal. De gran ayuda, especialmente en animales muy jóvenes o en las razas miniatura, muy propensas a la hipotermia.



Fotografías 10 y 11. Monitorización de la profundidad anestésica en el perro y gato. Ambos casos se encuentran en plano anestésico quirúrgico, con una rotación ventromedial del globo ocular y ausencia de reflejo palpebral.

anestésica en pequeños animales.

Se puede tomar la temperatura bien rectal o, mejor aún, intraesofágica (*core temperature*). Para ello son más útiles los termómetros electrónicos de lectura digital continua, con una sonda que se introduce vía rectal o esofágica. Algunos modelos que existen en el mercado son el Aacomonitor® y el Digithermo® (fotografía 9).

Diuresis

Mediante la cateterización de la vejiga se recoge y mide en una bolsa plástica el volumen de orina producida. La producción de orina es en perros y gatos de 1-2 ml/kg/hora. Este parámetro es también indicativo del grado de perfusión renal que, a su vez, depende del gasto cardíaco y de la presión arterial media.

Profundidad anestésica

Se suele monitorizar mediante la atenta observación y comprobación de los reflejos palpebral, podal y anal.

También es preciso valorar la posición del globo ocular (fotografías 10 y 11).

En algunas circunstancias estos signos no son fiables, como cuando se emplean relajantes musculares, en cuyos casos hay que fiarse de otros cambios como frecuencia cardíaca, tensión arterial, lagrimeo o salivación excesivos.

Actualmente se está investigando el campo de la EEG (electroencefalografía), pero es temprano para poder emplear esta técnica en la clínica diaria, estando reservada únicamente a protocolos experimentales.

Relajación muscular

Los relajantes musculares no son drogas de uso rutinario en anestesia veterinaria, aunque puede estar indicada su administración en algunos procedimientos como laparotomías, toracotomías y cirugía ocular.

En estos casos es de gran ayuda el disponer de algún método que permita ajustar el grado de relajación que se quiera conseguir.

Todos los sistemas disponibles funcionan de forma similar estimulando un nervio motor con electrodos de superficie. Una vez aplicado el estímulo se valora la respuesta obtenida en cuanto a contracción muscular se refiere.

Conviene recordar que ningún aparato o máquina debe sustituir a los sentidos del propio anestesista. La atenta observación del paciente evitará la mayoría de accidentes.

Tres palabras deben recordarse con relación al estado del animal anestesiado: **seco, sonrosado y caliente.** ❖

Bibliografía

Expuesta al final del monográfico.