

Las técnicas de anestesia inhalatoria permiten un control muy exacto del plano anestésico del paciente, aunque para ello se precisa un equipo sofisticado y un buen conocimiento de las características farmacológicas de los anestésicos empleados. Este capítulo describe los anestésicos inhalatorios de uso clínico en pequeños animales, así como revisa la máquina anestésica y de los circuitos de respiración que se utilizan habitualmente en estas especies.

Anestesia inhalatoria: bases, drogas y equipamiento

Los anestésicos inhalatorios (AI) se administran y en gran parte se eliminan vía pulmonar, lo que permite, a diferencia de los agentes inyectables, controlar y modificar de forma rápida y predecible la profundidad anestésica. Además, la administración de AI **obliga** a utilizar oxígeno o combinaciones de gases ricos en oxígeno, así como a intubar la tráquea del paciente, lo que sirve para reducir la morbilidad anestésica. Con ello se aporta mayor control del anestesista sobre la técnica de anestesia, lo que se traduce en una mayor seguridad.

Concepto de concentración alveolar mínima (CAM)

Los anestésicos inyectables se dosifican en mg/kg. Los AI se cuantifican y dosifican en términos de concentración (expresada en %) a la que se incorporan dentro de un *gas portador* (normalmente O₂ ó bien

O₂ + óxido nítrico) vehículo del anestésico y soporte respiratorio del paciente. En ocasiones la administración de los AI se cuantifica en términos de presión parcial (P_{anest}), la cual se relaciona con la concentración mediante la siguiente fórmula:

$$P_{anest} = (C_{anest}/100) \times P_{atm}$$

Aunque en la práctica siempre se dosifica un AI en términos de concentración, físicamente es más correcto utilizar la P_{anest} ya que en el equilibrio ésta se iguala entre los diferentes compartimentos orgánicos (alveolo, sangre, cerebro), luego implica un valor absoluto; mientras que la C_{anest} no es más que un valor relativo entre compartimentos al estar influida por la solubilidad (S) del anestésico.

Conviene recordar que clínicamente los AI se dosifican en términos de la C_{anest} a la que se administran al paciente. **En la práctica la CAM es la unidad de dosificación y es la concentración alveolar mínima de un AI capaz de producir inmovilidad en el 50% de individuos sometidos a un estímulo doloroso supramaximal a una presión de 1**

Autores

Dr. Fco. Laredo
*Profesor Titular
Responsable del
Servicio de Anestesia
Hospital Clínico
Veterinario. Facultad
de Veterinaria,
Universidad de
Murcia*

Dr. Rafael Gómez-Villamandos
*Profesor Titular
Departamento de
Medicina y Cirugía
Animal. Facultad de
Veterinaria,
Universidad de
Córdoba*

Dr. J. Ignacio Redondo
*Dpto de Medicina y
Cirugía Animal.
Facultad de
Veterinaria,
Universidad de
Córdoba*

Dr. J. Ignacio Cruz
*CertVA, DECV. A.
Profesor Titular
Responsable del
Servicio de Anestesia
del Hospital y Clínica
Quirúrgica. Facultad
de Veterinaria.
C/ Miguel Servet, 177
50013 Zaragoza*

Dra. Olga Burzaco
*Becaria de Anestesia
Servicio de Anestesia.
Hospital y Clínica
Quirúrgica. Facultad
de Veterinaria,
Universidad de
Zaragoza*

Inhalational anaesthesia: bases, drugs and equipment

Summary
Anaesthesia by inhalational techniques in small animals allows for an accurate control of the depth of anaesthesia in the species, although a deep knowledge of the pharmacology of the inhalatory drugs is necessary. The chapter describes in detail all aspects of this technique, the drugs of clinical use and the anaesthetic machine as well as breathing systems used in dogs and cats.

Palabras clave:
Anestesia inhalatoria, anestésicos inhalatorios, máquina anestésica, circuitos anestésicos.

Key words:
Inhalational anaesthesia, inhalatory anaesthetics, breathing systems, anaesthetic machine.

Abreviaturas

AI: anestésicos inhalatorios.

CAM: concentración alveolar mínima.

LCR: Líquido cefalorraquídeo.

Panest: presión parcial del anestésico.

Canest: concentración del anestésico.

PaO₂: presión parcial de oxígeno en sangre arterial.

PaCO₂: presión parcial de carbónico en sangre arterial.

DE95: dosis eficaz 95 SNC Sistema nervioso central.

CP: Coeficiente de partición.

I: coeficiente de solubilidad.

S: solubilidad.

T°: temperatura.

GC: Gasto cardíaco.

Pv: presión de vapor.

Fa: fracción alveolar.

Fi: fracción inspirada.

Part: presión parcial del anestésico en sangre arterial.

Pven: presión parcial del anestésico en sangre venosa.

atmósfera. La CAM es, pues, la dosis eficaz 50 (DE50) de un AI determinado. Este valor se calcula en animales sanos sin el concurso de otras drogas anestésicas. El uso de agentes dentro de la preanestesia e inducción anestésica reducirá la CAM de los AI requiriéndose de una Canest más baja para mantener la anestesia. La CAM en el perro del halotano es 0,87% y para el isoflurano es de 1,25%. La CAM en el gato del halotano es 1,2% y del isoflurano 1,63%.

La DE 95 para cualquier AI se sitúa en torno a 1,3 x CAM y una anestesia quirúrgica profunda se alcanza a 2 x CAM. **Por tanto, en la clínica se realiza el mantenimiento con agentes inhalatorios en niveles de 1 ó 1,5 veces la CAM del AI utilizado.**

En humana el uso de N₂O junto a O₂ como *gas portador* reduce en un 55% la CAM de halotano necesaria para mantener la anestesia. En el perro esta reacción es de tan solo el 20%. Este hecho, junto a los riesgos del N₂O (hipoxia por difusión), y a su escaso poder anestésico, hace que el uso de este gas en veterinaria sea controvertido actualmente.

Factores que disminuyen la CAM

- ☞ Hipertermia (más de 42° C) e hipotermia.
- ☞ Edad avanzada (geriátricos).
- ☞ Anemia.
- ☞ Hipoxia (PaO₂ < 40 mm Hg).
- ☞ Hipercapnia (PaCO₂ > 95 mm Hg).
- ☞ Hipotensión arterial.
- ☞ Hipercalcemia.
- ☞ Hiponatremia (cambios en el LCR).
- ☞ Todas las drogas usadas en preanestesia e inducción.

Factores que aumentan la CAM

- ☞ Edad temprana (cachorros, animales muy jóvenes).
- ☞ Hipernatremia (cambios en el LCR).
- ☞ Drogas estimulantes del SNC (efedrina, clenbuterol, doxapram, yohimbina, atipamezole).

Factores que no modifican la CAM

Especie, sexo y duración del procedimiento

Clasificación de los anestésicos volátiles según su CAM

- N₂O: 188%
- Desflurano: 9,7%
- Eter: 3%
- Sevoflurano: 2,5%
- Enflurano: 2,2%
- Isoflurano: 1,7%
- Halotano: 0,8%

Propiedades químicas de los AI

Los AI más clásicos eran gases o líquidos volátiles (vapores) inflamables como el óxido nitroso, éter y cloroformo. Estos agentes posibilitaron el desarrollo histórico de la anestesia desde 1844 aunque en las décadas de los 30 y 40 cedieron terreno frente a agentes inyectables como los barbitúricos, considerados superiores. Posteriormente se desarrollaron

nuevos productos no inflamables, menos reactivos y más potentes que devolvieron la supremacía a las técnicas de anestesia inhalatoria; supremacía e interés que se mantiene hasta la actualidad. En los años 50 se desarrolló el halotano, hidrocarburo alifático halogenado que posee átomos de Br, Cl y F. Su molécula no es del todo estable, ya que sufre descomposición en contacto con luz ultravioleta y con cal sodada. La descomposición que sufre frente a la cal sodada es, junto a su metabolismo orgánico posterior, responsable de la aparición de productos de degradación tóxicos, en ocasiones, para el paciente. Además, se observó que el halotano sensibilizaba al miocardio frente a catecolaminas lo que convertía a este producto en un agente arritmogénico. **Con posterioridad, se desarrollaron éteres halogenados al apreciar que la introducción de uniones de tipo éter hacia desaparecer la actividad arritmogénica.** Estas nuevas moléculas entre las que destacan el metoxiflurano, enflurano, isoflurano y más recientemente el sevoflurano y desflurano incorporan además, más átomos de flúor con el fin de aumentar su estabilidad. No obstante, la adición de flúor en los que sufren cierta descomposición química y degradación metabólica (metoxiflurano y probablemente sevoflurano) podría ser responsable de fenómenos de nefro y hepatotoxicidad. Actualmente el único gas con interés anestésico es el óxido nitroso (N₂O) aunque su utilización en veterinaria, dada su escasa potencia, resulta cada vez más discutida.

Propiedades físicas de los AI

Los gases anestésicos son solubles en líquidos y sólidos, por tanto se solubilizan en la sangre y en otros compartimentos orgánicos hasta alcanzar el equilibrio en función de su Solubilidad (S), P_{anest} ó C_{anest} a la que se administran y temperatura (T). La S se expresa en anestesiología como coeficiente de partición (CP). Los CP que más influyen la farmacocinética de los AI son el CP sangre/gas y el CP aceite/gas.

El CP sangre/gas determina la S de un AI en la sangre. Este valor determina la velocidad de inducción y de recuperación anestésica. **Los AI de uso actual presentan CP sangre/gas muy bajos con el objeto de aumentar estas velocidades y mejorar el control de la profundidad anestésica pudiéndola modificar de forma rápida** (ej. sevoflurano, desflurano y N₂O presentan CP s/g muy pequeños, metoxiflurano lo presenta muy alto, halotano e isoflurano se sitúan en un nivel intermedio). La razón de este hecho estriba en que si el CP s/g es pequeño se precisará que se disuelva una pequeña Canest en sangre para alcanzar el equilibrio, lo que posibilita un paso más rápido de AI desde la sangre a compartimentos diana como el cerebro, no actuando la sangre como un reservorio ineficiente.

El CP aceite/gas se relaciona con la liposolubilidad de los AI y, por tanto, dada la riqueza en lípidos de las membranas celulares y del SNC, con su potencia

anestésica. A más potencia de un AI menor será su C_{anest} alveolar efectiva (CAM) luego **el CP aceite/gas es inversamente proporcional a la CAM.**

En relación a la P_{anest} o C_{anest} conforme ésta aumenta mayor será la cantidad de AI solubilizada en los diferentes compartimentos orgánicos y más rápidamente se alcanzará la anestesia en el paciente. **Por esta razón, cuando se induce la anestesia directamente con AI (mediante mascarilla o cámara de inducción) se utilizan una C_{anest} de 3 ó 4 x CAM.**

Si se analiza la influencia de la T^a sobre la S de los AI, cabe considerar que **cuando disminuye la temperatura en el paciente (hipotermia) aumentará la S del AI en sangre, luego la velocidad de inducción y de recuperación anestésica se reducirán de forma considerable.**

Los AI son gases como el óxido nitroso (N_2O) o líquidos volátiles a T^a y presión ambiente (halotano, isoflorano, etc). La transición de líquido a gas se denomina evaporación y es un proceso dinámico. Así, dentro de un contenedor cerrado y a temperatura constante un líquido volátil (como los AI), se evaporará hasta saturarse su fase gaseosa, saturación que ocurre en el equilibrio. La fase gaseosa de saturación ejerce una presión de vapor (P_v) característica de cada AI, y que varía en función de la temperatura y presión atmosférica. Por tanto, la P_v de un AI indica su capacidad para evaporarse y debe ser suficientemente alta como para permitir que se alcance una C_{anest} eficaz a T^a ambiente. Un gas como el N_2O u O_2 puede administrarse dentro de una mezcla de gases en un rango que oscila entre el 0-100%. No obstante, los AI que son líquidos volátiles presentan un límite en función de su P_v característica, T^a y presión ambiental (C_{anest} máxima = P_v / P_{atm}).

En el caso del halotano y a $20^{\circ}C$ la C_{anest} máxima es $244/760 = 32\%$. Se observa que en condiciones normales la P_v de saturación de la mayoría de los AI supera a la C_{anest} que va a necesitarse para anestesiarse a un paciente. Se precisa pues de vaporizadores que permitan administrar los AI de forma controlada y ajustada a su CAM. En la actualidad los vaporizadores de uso más general son máquinas complejas termocompensadas y calibradas de forma específica de acuerdo a las propiedades físicas del AI que van a administrar. El gas portador (O_2 , O_2/N_2O) al entrar en estos vaporizadores se divide en un componente que penetra en la cámara de vaporización saturándose completamente y otro que no penetra en la cámara de vaporización sino que sirve para diluir al gas saturado de AI hasta alcanzar la C_{anest} de trabajo seleccionada en el botón de control del vaporizador.

Farmacocinética de los AI

Captación alveolar de los AI

Cuando se administra un AI se persigue alcanzar una C_{anest} adecuada para alcanzar un estado de anestesia general. En la fase gaseosa $P_{anest} = (C_{anest}/100) \times P_{atm}$, no así en la sangre ni en los tejidos donde la C_{anest} se ve influenciada por la S del AI utilizado. La

P_{anest} alcanzada a nivel cerebral depende, por tratarse de un órgano muy vascularizado, de la P_{anest} arterial, la cual se ve directamente influida por la P_{anest} alveolar. Resulta obvio que aumentos de la P_{anest} o C_{anest} alveolar (F_a) resultan en incrementos sucesivos a nivel sanguíneo y posteriormente cerebral y, viceversa. En la clínica, y siempre que nuestros sistemas de monitorización así lo permitan, se utiliza la C_{anest} alveolar para controlar la profundidad anestésica, determinada a nivel del aire espirado, o, bien, se utiliza de forma indirecta la C_{anest} a nivel del aire inspirado que se aproxima, más o menos, al porcentaje de AI seleccionado en el vaporizador.

La C_{anest} alcanzada a nivel alveolar (F_a) va a depender de la concentración de AI inspirada (F_i) y de la ventilación alveolar.

• CONCENTRACIÓN INSPIRADA (F_i)

Con el uso de vaporizadores de precisión, específicos, y termocompensados **la F_i es prácticamente ajena a las condiciones ambientales y depende del porcentaje seleccionado en el vaporizador.**

• VENTILACIÓN ALVEOLAR

La ventilación alveolar afecta de forma directa la captación de AI a nivel pulmonar. **Las situaciones de hiperventilación aumentan la F_a , lo que acelera la inducción anestésica y viceversa.** El uso de AI muy poco solubles en sangre como el N_2O , facilita la captación alveolar de un segundo AI (ej: Halotano por el denominado *efecto del segundo gas*).

Captación sanguínea de los AI

La absorción sanguínea de un AI se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Absorción} = S \times GC \times (P_{art} - P_{ven}) / P_{atm}$$

Aumentos del gasto cardíaco aumentan la absorción del AI reduciendo por ello la F_a , lo cual implica que aquellos pacientes excitados sufran un retraso en la inducción anestésica ya que la P_{anest} alveolar se ve reducida. Por el contrario, pacientes anestésicos o en shock la hacen muy rápida, lo que aumenta el riesgo anestésico.

El gradiente ($P_{art} - P_{ven}$) es alto al principio de la anestesia inhalatoria, lo que implica una captación anestésica rápida en esta fase, la velocidad de captación se reducirá a lo largo del tiempo y desaparecerá cuando $P_{art} = P_{ven}$. Los órganos más perfundidos: cerebro, corazón, sistema hepatoportal reciben el 75% del GC y por ello son los que primero se saturan, seguidos de la piel y el músculo, y finalmente de la grasa.

Eliminación de los AI

La eliminación de los AI del organismo es la base de la recuperación anestésica. **La eliminación cerebral del anestésico implica que la P_{anest} alveolar sea 0 para lo cual hay que cerrar el vaporizador y elevar el flujo de gas fresco que alimenta el circuito respiratorio.** Esta fase se ve influida por los mismos factores físicos que afectan la absorción de AI. **La eliminación del anestésico se ve favorecida por aumentos de**

Fotografía 1.
Bombona de óxido nitroso con la tulipa de color azul. La sujeción al armazón de la central de gases es una medida de seguridad para evitar su caída al suelo o sobre el manipulador.



Fotografía 2.
Presentación comercial del halotano.

la ventilación alveolar y gasto cardíaco y por un bajo CP sangre/gas del AI utilizado. En caso de utilizar O_2 y N_2O como mezcla de gas portador **hay que desconectar el N_2O y administrar solo oxígeno durante unos 10 minutos** con el objeto de impedir el desarrollo de una hipoxia, por difusión masiva de N_2O desde la sangre hacia los alvéolos.

La gran ventaja de los AI frente a los agentes inyectables radica en que al metabolismo apenas le afecta la eliminación de los AI, ya que su eliminación se realiza prácticamente vía pulmonar. No obstante, en anestias muy prolongadas puede influir en la recuperación del paciente especialmente si se ha utilizado metoxifluorano, ya que sufre degradación metabólica y presenta un CP sangre/gas muy elevado. La degradación metabólica del metoxifluorano, halotano, y en menor medida sevoflurano puede generar metabolitos nefro y hepatotóxicos. Durante la recuperación es impor-

tante evitar situaciones de hipotermia que aumentan el CP sangre/gas y retrasan la eliminación anestésica.

Anestésicos inhalatorios más utilizados

Gases

• OXIDO NITROSO (fotografía 1)

Generalmente se considera que los pequeños animales no pueden ser anestesiados solo con una mezcla de óxido nitroso y oxígeno sin que se produzca hipoxia, por lo que se utiliza en combinación con un anestésico volátil líquido. Al ser poco soluble en sangre logra su efecto de manera rápida, pero por su baja potencia solo llega a planos superficiales de anestesia. No deprime la respiración y tiene un pequeño efecto depresor del miocardio, estando contraindicado en neumotórax, obstrucción intestinal, torsión gástrica y hernia diafragmática. No logra relajación muscular. Y puede tener, por exposición prolongada, efectos tóxicos sobre la médula ósea. Debe utilizarse como máximo a concentraciones del 66,6% con niveles del 33,3% de oxígeno (mínimo un 30% de O_2).

Líquidos

• HALOTANO (fotografía 2)

El más utilizado en la actualidad, es un buen anestésico, de gran potencia y no inflamable, con una relativa rápida inducción y buena recuperación, no siendo irritante ni desencadenando la producción de secreciones salivares ni bronquiales. Produce una pequeña relajación muscular, es hepatotóxico y está contraindicado en disfunciones cardíacas (puede producir arritmias). Reduce el volumen tidal y aumenta la frecuencia respiratoria. Para la inducción se utilizan concentraciones del 2-4% y para el mantenimiento de la anestesia del 0,8-1,5%.

• METOXIFLUORANO

Es un excelente analgésico, incluso durante la recuperación, debido a su lenta eliminación que hace que ésta sea prolongada. No se comercializa en España.

• ISOFLUORANO

Se elimina por los pulmones rápidamente, presentando una velocidad de inducción y de recuperación muy rápida ya que presenta una baja solubilidad s/g. No obstante, la rapidez de inducción está limitada por su olor penetrante. No se le conocen efectos tóxicos sobre hígado o riñones. La relajación muscular es muy buena. Deprime levemente el miocardio y causa leve hipotensión por disminución de la resistencia periférica. Produce depresión respiratoria, incluso mayor que la del halotano. La concentración para la inducción es del 3-5% y para el mantenimiento del 1,2-2%.

• SEVOFLURANO Y DESFLURANO (fotografía 3)

El sevoflurano es un anestésico inhalatorio de reciente incorporación en nuestro país y novedoso en anes-

tesología veterinaria. El sevoflurano se revela como un potente anestésico inhalatorio halogenado no explosivo y no inflamable. Su bajo coeficiente de partición sangre/gas de 0,6 es el que lo caracteriza clínicamente como el agente de elección para inducir la anestesia por su rapidez, facilitando asimismo recuperaciones anestésicas rápidas y suaves. Este agente, al igual que los agentes inhalatorios conocidos, necesita un vaporizador mecánico específico que se presenta con rotámetro ajustable de 0 a 8% ya que, como se expone a continuación, los porcentajes de anestesia son superiores a los del halotano e isoflurano.

El desflurano se describe como menos potente que el sevoflurano, isoflurano y halotano. Sin embargo, al presentar el más bajo coeficiente de partición sangre/gas, de 0,4, resulta el agente ideal para realizar una inducción rápida y suave promoviendo igualmente una recuperación anestésica rápida y suave. El principal inconveniente del agente es que al presentar una elevada presión de vapor va a necesitar un vaporizador especial, térmico y presurizado, para poder administrarlo correctamente al paciente. El vaporizador, aunque de elevado coste, viene graduado del 0 al 18% ya que el desflurano también requiere elevados porcentajes para inducir y mantener la anestesia.

Ambos agentes pueden ser administrados mediante mascarilla para inducir la anestesia, bien empleando incrementos de concentración de 0,5-1% para el sevoflurano y 2-3% para el desflurano, o bien empleando desde el principio concentraciones elevadas, del 5 al 8% para el sevoflurano y del 10 al 18% para el desflurano. La inducción anestésica es rápida y generalmente sin excitación. La premedicación anestésica con sedantes y/o analgésicos reducirán el porcentaje requerido de agente en la inducción y mantenimiento anestésico.

El mantenimiento anestésico con sevoflurano y desflurano viene caracterizado por la seguridad y rapidez en el control de la profundidad anestésica, consiguiéndose una mayor precisión en la respuesta del paciente a cambios del porcentaje inhalado. Debido a su baja solubilidad y a la eliminación tan rápida del agente, se recomienda continuar su administración casi hasta el final del procedimiento quirúrgico con el objetivo de evitar un despertar prematuro del paciente.

Los incrementos de la concentración de flúor en sangre durante la anestesia con estos anestésicos no indican que puedan producir nefrotoxicidad ni alterar la función renal, alcanzándose en menos de 24 horas las concentraciones plasmáticas normales. La administración de sevoflurano o desflurano no está asociada con incrementos de actividad cerebral ni ataques o reacciones violentas y no originan aumento de la presión intracraneal manteniendo el flujo cerebral estable. Así mismo, mantienen la circulación hepática y el sistema metabólico hepático mejor que el halotano, incluso bajo condiciones de hipoxia, induciendo cambios mínimos y reversibles en las concentraciones en sangre de AST, ALT, LDH y bilirrubina.

La frecuencia cardíaca experimenta mínimos cambios durante la anestesia con sevoflurano. Respecto al desflurano se aporta que la depresión cardíaca inducida es clínicamente aceptable en el perro. Ambos inducen un descenso dosis-dependiente de presión arterial. Estos



Fotografía 3. Presentación comercial del sevoflurano con dispositivo de llenado de seguridad.

cambios vasculares han sido asociados a un descenso del gasto cardíaco con el uso de todos los agentes halogenados. Así mismo, los nuevos anestésicos no inducen arritmias cardíacas, no sensibilizan al corazón a las catecolaminas, tal y como ha sido ampliamente observado con el uso del halotano. Este hecho ha sido constatado también en la inducción anestésica con mascarilla, sin premedicar a los pacientes.

Finalmente, indicar que inducen depresión respiratoria dosis-dependiente en el perro, como ha sido también referida para el halotano, enflurano e isoflurano. Los pacientes deben monitorizarse vigilando la oxigenación y la profundidad anestésica con la finalidad de prevenir situaciones de hipoventilación, hipercapnia, hipoxia y acidosis.

RESUMEN DE ANESTÉSICOS INHALATORIOS

- ➔ Todos los anestésicos inhalatorios que se emplean hoy día, son derivados del éter o son hidrocarbonos halogenados.
- ➔ El anestésico inhalatorio ideal es aquel que posee una gran potencia (CAM muy baja) y una solubilidad en sangre muy reducida, con mínimos efectos sobre el aparato cardiovascular.

Isoflurano (Forane)

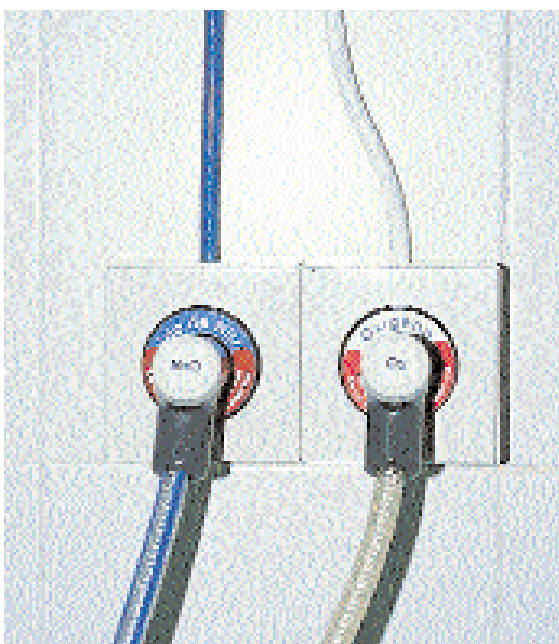
- No irritante, no explosivo.
- No se descompone en presencia de cal sodada o de la luz.
- Potente depresor respiratorio: hipoventilación e hipercapnia.
- Produce hipotensión por vasodilatación, aunque mantiene una adecuada estabilidad cardiovascular.
- No sensibiliza el miocardio frente a catecolaminas (útil en arritmias).
- Muy poco soluble en sange: $\lambda = 1,4$.
- CAM: 1,2% (perro) y 1,6% (gato).
- Muy buen relajante muscular.
- Sólo se biotransforma un 0,2% (recomendado para hepatopatías).
- No induce estados de excitación (recomendado en epileptiformes).



Fotografía 4.
Carro de anestesia
con monitor de ECG
y respirómetro.



Fotografía 5.
Central de gases.
Debe situarse al
aire libre y estar
convenientemente
señalizada.



Fotografía 6.
Conexiones rápidas
de la máquina
anestésica a la
pared en un sistema
centralizado. Los
conectores no son
intercambiables,
evitando el riesgo
de conectarlos
equivocadamente.

Sevoflurano

- No es irritante ni pungente.
- CAM para el gato: 2,58% y para el perro 2,36%.
- $\lambda = 0,65$ (muy poco soluble en sangre).
- Se biotransforma en un 3%.
- Reacciona con la cal sodada produciendo FI libre y hexafluorisopropanol, que son tóxicos.

Desflurano (Suprane®)

- Irritante para la vía aérea.
- Necesita un vaporizador especial.
- CAM: 7,2% para el perro.
- $\lambda = 0,42$ (el más bajo de los conocidos).
- Muy caro.

Hidrocarburo halogenado: halotano (Fluotano®)

- No inflamable, ni explosivo. Olor dulzón característico.
- Estable con la cal sodada.
- De amplísima utilización en anestesia veterinaria y humana.
- Depresor cardiovascular y respiratorio.
- Sensibiliza el miocardio frente a catecolaminas (arritmogénico).
- Buen analgésico y relajante muscular.
- Produce hipotermia y temblor postoperatorio.
- CAM: 0,8%
- $\lambda = 2,36$ (solubilidad en sangre intermedia).
- Metabolizado en un 30% por el hígado, produciendo ácido trifluoroacético e ión bromo libre de efectos sedantes postanestésicos.
- Vasodilatador directo cerebral.
- Depresor de la función renal (hipotensión).
- Puede provocar hipertermia maligna.

Otros gases: Oxido nitroso, N₂O

- Presente en forma de gas (en botellas a presión).
- Inerte y no sufre biotransformación.
- Relativamente insoluble en sangre.
- Muy escaso poder anestésico con una CAM de 188%.
- Aporta analgesia. Leve incremento del sistema simpático.
- No es hepatotóxico ni nefrotóxico.
- Efecto del segundo gas.
- Hipoxia por difusión. Difunde a espacios orgánicos.
- Debe mantenerse, al menos, un 30% de oxígeno en la mezcla.

El carro de anestesia

En la presente sección se actualiza el artículo publicado en el número 45, febrero'98, págs 31-38, de la revista Consulta Difus. Vet.

La máquina anestésica, también denominada *carro de anestesia* puesto que normalmente todos los componentes van montados sobre una estructura con ruedas (fotografía 4), permitiendo su traslado cómodamente de un lugar a otro de la clínica (quirófano, sala de rayos, UCI), es un conjunto de elementos que tiene como fin último el suministro de la mezcla anestésica gaseosa de forma controlada y controlable al animal, desde el exterior hasta el

alveolo pulmonar. En conveniente describir todos los elementos que la componen de firma separada.

Fuente de gases: oxígeno y N₂O

En los hospitales y clínicas grandes, con un gran volumen de trabajo, se impone el suministro centralizado desde una batería conectada en serie (fotografía 5), que supe mediante las tomas correspondientes tanto a las máquinas anestésicas, como a las jaulas de cuidados intensivos, incubadoras, etc (fotografía 6).

Se debe instalar un presostato con alarma sonora y luminosa (fotografía 7) que avise cuando la presión en el sistema de conducción descienda por debajo de 4 bar, que es la presión de trabajo de la mayoría de los equipos de anestesia.

Si se trata de un hospital o clínica pequeña con uno o dos quirófanos, es preferible el suministro desde las botellas situadas en el mismo quirófano o incorporadas al carro de anestesia. Las bombonas o botellas en las que se almacenan los gases de uso medicinal, oxígeno y óxido nitroso en este caso, pueden ser de varios tamaños, siendo más frecuente el empleo de las que contienen 10,6 m³ de O₂ a 200 kg/cm² y 28-37,5 kg de N₂O que contienen 17 m³ aproximadamente.

El cuerpo de las botellas es de color negro y el de la tulipa varía según el gas que contenga y de acuerdo a un código internacional. Así, en España será blanco con una cruz roja para el O₂ (verde en USA) y azul (cuerpo y ojiva en el Reino Unido) para el N₂O (fotografía 8).

Es conveniente adoptar las medidas de seguridad en lo referente al almacenaje y manipulación que indique el distribuidor. Recordemos que tanto el O₂ como el N₂O son gases comburentes, es decir, soportan y mantienen la combustión.

Todas las botellas deben haber pasado las pruebas de estanqueidad y de presión, que quedarán reflejadas mediante unas marcas en la parte superior del cuerpo, cerca de la ojiva. Al recibir la botella en la clínica, es preciso comprobar que presenta el precinto de llenado del distribuidor.

Aparatos de medición del flujo de gases

- **MANORREDUCTOR O REGULADOR DE PRESIÓN** (fotografía 9)

Son elementos básicos en el equipo de anestesia que se conectan directamente a la botella del gas correspondiente y tienen tres funciones importantes, derivadas del hecho de que las máquinas anestésicas están diseñadas para trabajar a una presión muy por debajo de la presión de llenado de las botellas (normalmente 4 bar).

El manorreductor reduce la presión a la que sale el gas desde la botella, de esta forma:

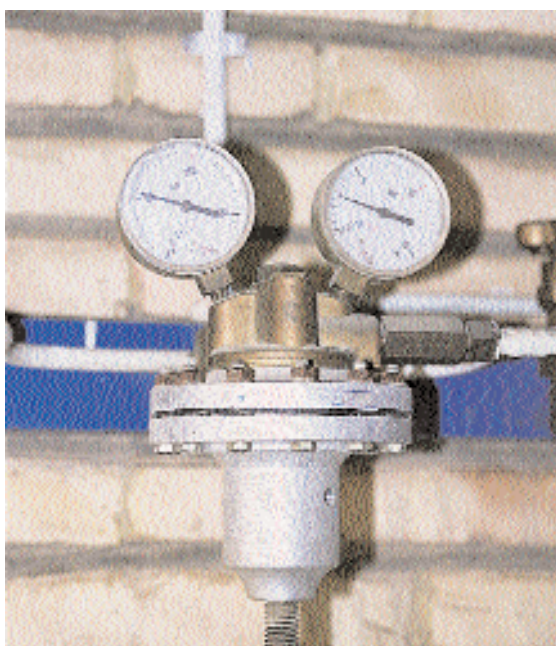
- ☞ Previene el daño que puedan causar las altas presiones al resto de elementos de la máquina anestésica, como por ejemplo a los flujómetros.
- ☞ Mantiene una presión de trabajo continua y constante previniendo cambios bruscos de la misma que originarían modificaciones en los flujos que se administran al paciente.



Fotografía 7. Alarma sonora y visual (presostato) localizada en el área clínica.



Fotografía 8. Botellas de óxido nitroso. Es conveniente identificar los envases vacíos, llenos y en uso.



Fotografía 9. Manorreductores de presión de la central de gases.

Fotografía 10.
Rotámetros de oxígeno (izquierda) y óxido nitroso (derecha) de la máquina anestésica.



La válvula reductora más conocida y que sirve de modelo, aunque ya superada por la tecnología, es la de Adams, que posee un diafragma de caucho y un muelle ajustador de presión accionado por un tornillo regulador, que controla la presión de salida.

Las modernas válvulas reductoras incorporan dos manómetros, uno de alta presión, que indica la presión de la botella, y otro de baja presión, que señala la presión de salida, o lo que es lo mismo, de trabajo.

En el caso del oxígeno, cuando la reserva de la botella vaya agotándose, la aguja del manómetro de alta presión se moverá hacia la izquierda, en dirección al 0. No sucede lo mismo con el N_2O , ya que al permanecer en forma líquida dentro de la botella, la presión se mantendrá constante mientras quede líquido en la botella. La única manera de saber cuánto N_2O queda en la botella es por diferencia de peso entre la nueva y la ya usada.

• FLUJÓMETRO O CAUDALÍMETRO

También elementos imprescindibles en la máquina anestésica. Tienen la misión de medir el flujo de los gases en unidades de volumen por unidades de tiempo (l/min).

Existen dos tipos de flujómetros.

☞ De orificio fijo. Es el denominado manómetro de Bourdon, en el que el flujo es proporcional a la presión a la entrada del orificio.

☞ De orificio variable. Son los que se utilizan actualmente en todos los equipos de anestesia. A su vez pueden ser de bola, o de bobina, también llamados rotámetros (fotografía 10). Se colocan inmediatamente después del manorreductor, conectados al mismo.

La bobina se encuentra en el interior de un tubo de vidrio calibrado en unidades de volumen/unidades de tiempo (l/min), que tiene forma de cono truncado con el vértice hacia abajo y por donde entra el gas cuyo flujo se va a medir.

Abriendo la válvula situada en esta parte inferior, el gas que entra en el tubo hace que la bobina

ascienda tanto más alta cuanto más gas penetra.

La lectura del flujo se realiza en la parte superior de la bobina. Para reducir los errores causados por la fricción, la bobina posee unas ranuras que la hacen rotar al pasar el gas entre ella y la pared del tubo.

Debido a la diferente viscosidad y densidad de cada gas, los rotámetros se calibran independientemente para cada uno de ellos.

Aparatos para vaporizar los anestésicos

• VAPORIZADOR:

DE BAJA RESISTENCIA Y DE FLUJO CONTÍNUO

Los anestésicos de uso habitual por vía inhalatoria, salvo el óxido nitroso, vienen presentados en forma líquida, y precisan ser vaporizados para administrarlos a los pacientes. Algunos detalles sobre la física de la vaporización ayudarán a comprender cómo funcionan los vaporizadores.

En un líquido, las moléculas se encuentran en estado de movimiento continuo debido a la fuerza de atracción mutua o fuerza de Van der Waals. Algunas moléculas adquieren velocidad suficiente para escapar de esa fuerza, y si se encuentran en la superficie del líquido pasan a la fase de vapor.

Al aumentar la temperatura del líquido se incrementa también la energía cinética de las moléculas y una mayor cantidad de ellas pasan a la fase de vapor, a la vez que la temperatura del líquido desciende.

La cantidad de calor que se precisa para convertir una unidad de masa de líquido en vapor, sin que cambie la temperatura del líquido, es la que se denomina calor de vaporización.

Si se deja un líquido en un recipiente cerrado, se alcanzará un equilibrio entre la fase líquida y la fase gaseosa. Las moléculas de la fase gaseosa crean una presión denominada presión de vapor.

Punto de ebullición es la temperatura a la que la presión de vapor se iguala con la presión ambiental. Si se conoce la presión de vapor, se puede expresar la cantidad de vapor en la mezcla gaseosa en forma de concentración de ese vapor, en el momento del equilibrio con la presión atmosférica.

A modo de ejemplo:

Presión de vapor del halotano (a 20°C): 243 mm Hg

Es decir, $(243/760) \times 100 = 32\%$

Esta concentración es mucho mayor que la concentración alveolar mínima o CAM, necesaria para anestesiarse al animal (0,8 %). Por lo tanto, se requiere un aparato de precisión que diluya y vaporice el líquido anestésico de forma perfectamente controlada, compensando y corrigiendo, a ser posible, los errores producidos por los cambios de temperatura y de presión en el momento de la vaporización. Este aparato es el vaporizador.

Existen otros principios que deben tenerse en cuenta cuando se construye un vaporizador para que proporcione una concentración clínicamente efectiva:

☞ Volatilidad del anestésico con el que va a utilizarse (presión de vapor).

☞ Temperatura del líquido en el momento de vaporizarlo.

☞ Temperatura del gas que va a vehiculizar el anestésico.

☞ La superficie de contacto entre el líquido y el gas.

Atendiendo a estos planteamientos físicos, se han diseñado dos tipos principales de vaporizadores.

VAPORIZADORES DE BAJA RESISTENCIA

Los vaporizadores de baja resistencia, también denominados *drawover*, se caracterizan por no precisar flujo de gases a presión y representa el método más sencillo para conseguir vaporizar los anestésicos líquidos.

Utilizan el flujo gaseoso que origina el propio paciente, ya que se instalan dentro del circuito respiratorio, normalmente en el brazo inspiratorio. Tienen el inconveniente de que no se conocen con tanta exactitud (salvo que se disponga de monitorización de gases anestésicos) las concentraciones anestésicas que proporcionan.

Vaporizador de Goldman, de McKesson y de Komesaroff

Consisten en un recipiente de vidrio (fotografía 11) con un sistema no compensado para los cambios de temperatura, que regula la salida de la mezcla anestésica hacia el paciente. La vaporización, y por lo tanto la concentración anestésica se ven afectadas por la mecánica ventilatoria del paciente y por la temperatura y no pueden ser controladas por el anestesista.

Los vaporizadores de Komesaroff pueden utilizarse en serie, uniendo dos, uno para cada anestésico (halotano + Metoxifluorano, por ejemplo), y así aprovechar las ventajas de cada anestésico (analgesia, relajación, etc). Son muy peligrosos si se emplean con anestésicos que posean una alta presión de vapor, es decir anestésicos muy volátiles, ya que al no poseer ningún mecanismo de control, pueden alcanzarse concentraciones de vapor anestésico muy altas, con el consiguiente riesgo para el paciente.

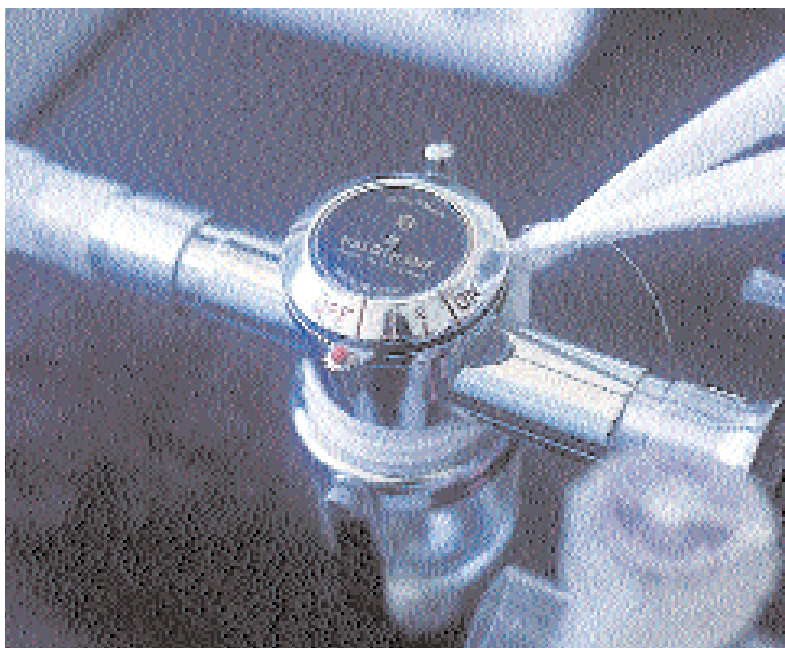
Oxford miniatura

Está diseñado para equipos portátiles y, a diferencia del anterior, es de cobre recubierto con acero inoxidable. No posee mecanismo para compensar las pérdidas de temperatura, pero posee una cierta cantidad de agua y anticongelante en su base que actúa como aislante, minimizando las fluctuaciones que se producen en las concentraciones anestésicas obtenidas.

Debido a su bajo precio, ha sido muy popular en anestesia veterinaria.

VAPORIZADORES DE FLUJO CONTINUO

Los vaporizadores de flujo continuo o *plenum* son recipientes de cobre revestidos con acero inoxidable y se colocan fuera del circuito respiratorio porque ofrecen mayor resistencia al flujo gaseoso. Se requiere una corriente continua de gas a presión. La concentración de vapor anestésico puede ser controlada de forma muy exacta por el anestesista, y es conveniente recordar que los números del dial



Fotografía 11.
Vaporizador tipo Goldman para halotano.

corresponden a múltiplos de la CAM del anestésico que se esté empleando.

Pueden proporcionar concentraciones variables de vapor anestésico. Así, disponemos de vaporizadores que proporcionan hasta un 8% en volumen para el Halotano y hasta un 6% para el Isoflurano.

Estos vaporizadores están calibrados para ser empleados con un anestésico en particular y no se debe emplear otro anestésico, puesto que las concentraciones que se obtendrían serían desconocidas.

TEC-2 (Ohmeda)

Este es un modelo obsoleto de vaporizador. Sin embargo todavía se utiliza en muchas clínicas y por ello es interesante que conozcamos su funcionamiento. Se denomina Fluotec el que debe emplearse para vaporizar Halotano.

Los gases entran en este vaporizador y se dividen en dos corrientes, una de las cuales pasa por la cámara de vaporización donde se localizan una serie de mechas que se empapan del líquido anestésico para aumentar la superficie de vaporización. La proporción de corriente gaseosa que atraviesa el *by pass*, es decir, la que no va a la cámara de vaporización está regulada por un dial calibrado por el fabricante y permite que cierta cantidad de corriente atraviese la cámara de vaporización.

Para compensar los cambios de temperatura existe una válvula bimetálica termostática que se abre o cierra dependiendo de la temperatura en la cámara de vaporización. Si ésta desciende, la válvula se abre permitiendo que una cantidad mayor de gas fresco atraviese la cámara de vaporización.

El porcentaje de vapor de halotano saliente de este vaporizador depende de la cantidad de gases saturados con el anestésico que se mezclan con los gases frescos que pasan por el *by pass*. Debido a su diseño, la concentración final de anestésico se ve parcialmente afectada por la temperatura y por el flujo que se utilice. Una gráfica que el fabricante incorpora al vaporizador ayuda a interpretar este proceso.



Fotografía 12. Vaporizadores TEC 4 y TEC 5. Los vaporizadores con distintivo violeta son de isofluorano, y los de distintivo rojo para halotano.



Fotografía 13. Vaporizador Penlon.



Fotografía 14. Vaporizador BLEASE. El sevofluorano se identifica con distintivos amarillos.

TEC 3 (Ohmeda)

Versión más moderna que incorpora algunas mejoras que permiten una mayor exactitud en la concentración del agente anestésico obtenido, especialmente cuando se trabaja con flujos gaseosos bajos.

TEC 4 y TEC 5 (Ohmeda)

Son modelos más desarrollados con nuevas aportaciones técnicas en los mecanismos de compensación para las pérdidas de temperatura en la cámara de vaporización, aunque el fundamento es el mismo que el descrito anteriormente (fotografía 12).

VAPOR (Dräger)

Modelo de vaporizador que ofrece algunas ventajas al incorporar un mecanismo para compensar los cambios de presión, además de los ya indicados para los cambios de temperatura.

PPV Sigma y ABINGDON (Penlon)

Estos modelos poseen mechas de malla de acero inoxidable en la cámara de vaporización en lugar de tela como en los modelos TEC, con lo que duran más y precisan menos reajustes y mantenimiento (fotografía 13).

T.C. (Browning Medical Engineering)

Existen diversas series de este vaporizador, fabricado y comercializado para su uso en veterinaria. Responde a las mismas características de los modelos TEC y Penlon expuestos, pero el precio es más asequible.

También posee un mecanismo de *by pass* variable que regula y controla la concentración de anestésico que se desee obtener.

Como detalles técnicos proporciona 200 ml de vapor anestésico por cada ml de líquido. Para calcular el consumo horario se multiplica por 3 la cifra que resulte de multiplicar el flujo por el 95 de saturación. Como ejemplo:

$$2\% \times 3 \text{ l/min} = 6$$

$$6 \times 3 = 18 \text{ ml/h de consumo}$$

VAPAMASTA (M & IE) y BLEASE

Son otros modelos muy avanzados técnicamente con mecanismos de compensación de temperatura y de presión (fotografía 14).

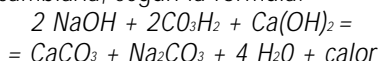
Sistemas de respiración o circuito-paciente

El sistema de respiración es el conjunto ensamblado de componentes a través de los cuales el paciente respira durante el mantenimiento anestésico.

Cuando se considera qué tipo de sistema debe emplearse en un determinado animal, se debe tener en cuenta aquél que sea más económico en cuanto a gasto de anestésico y, a la vez, que cause la menor resistencia a la respiración con una eliminación efectiva del carbónico espirado.

Dejando aparte lo que podríamos denominar sis-

tema no controlado de administrar anestesia inhalada, es decir, el empleo de mascarillas donde se gotea el líquido anestésico (uso clásico del eter o cloroformo), y que hoy en día está en desuso, y el empleo de cámaras anestésicas (fotografía 15), resulta muy conveniente exponer los sistemas con cal sodada y sistemas sin cal sodada. Recordemos que la cal sodada (soda lime) es una mezcla de un 90% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 5% de $\text{Na}(\text{OH})$, 1% de $\text{K}(\text{OH})$ y el resto salicilatos, que previenen la formación de polvo (fotografía 16). Este compuesto tiene la propiedad de adsorber el carbónico produciendo calor hasta una cierta cantidad, momento en el que es preciso cambiarla, según la formula:



• **SISTEMAS SIN CAL SODADA**

Están diseñados de forma que todo el volumen espirado, y el CO_2 principalmente, es empujado al exterior y se pierde en el ambiente. Es decir, no se reutiliza la espiración del animal. Si el flujo de gases espirado es demasiado pequeño, existe la posibilidad de que el animal reinhale CO_2 , y por ello estos sistemas necesitan flujos relativamente altos en el hombre adulto (70 kg). Esto puede llegar a ser un verdadero problema en cuanto a gasto y contaminación ambiental, pero en pequeños animales los pesos no alcanzan estas cifras, por lo que los flujos empleados se mantendrán en límites razonables (fotografía 17).

En este tipo de sistemas debemos incluir la serie de Mapleson: Mapleson A o Magill (fotografía 18), que consta de una válvula espiratoria que se situa cerca del paciente, un tubo corrugado de 1 m de longitud y una bolsa reservorio de diferente capacidad, aunque normalmente se acompaña la de 2,5 l.

El flujo que se precisa para prevenir la reinhalación de carbónico debe ser igual o ligeramente superior al volumen/min del paciente. La bolsa de respiración debe tener un volumen 6 X vol tidal.

Recordemos que:

$$\text{vol/min} = \text{vol tidal} \times \text{frecuencia respiratoria.}$$

$$\text{Vol tidal } 10 \text{ ó } 15 \times \text{FR (frecuencia respiratoria).}$$

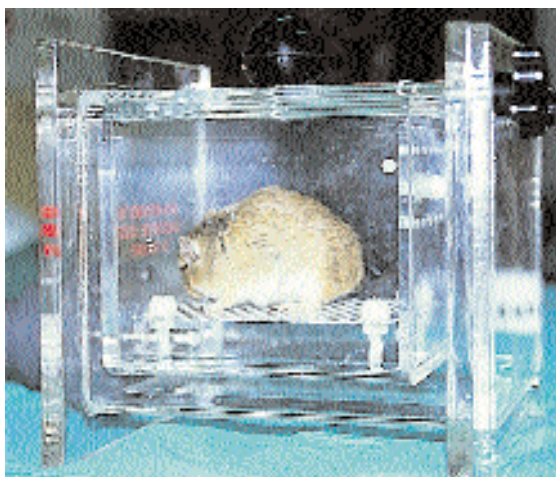
El carbónico es empujado o arrastrado al exterior por la corriente de gases frescos que vienen desde la máquina anestésica. La válvula espiratoria permanece cerrada en la inspiración y se abre al final de la espiración, permitiendo que la última porción espiratoria o aire alveolar, rico en CO_2 salga a la atmósfera.

Mediante un sistema de aspiración conectado directamente a la válvula espiratoria se dirige la espiración fuera del quirófano, previniendo la contaminación ambiental y protegiendo al personal.

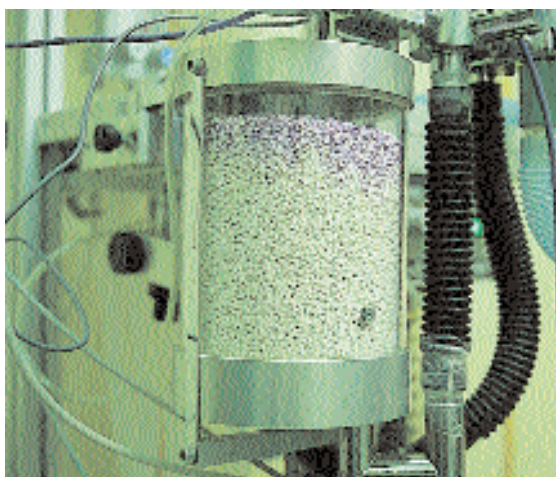
Este sistema es muy eficaz y mantiene la tensión inspiratoria de anestésico muy constante durante todo el acto anestésico.

Puede ser empleado en animales a partir de los 10 kg. En animales de más de 35-40 kg puede suponer un costo algo elevado del procedimiento.

La presencia de la válvula espiratoria muy cerca de la boca del paciente supone un estorbo para las cirugías de la cabeza, de la boca y del cuello.



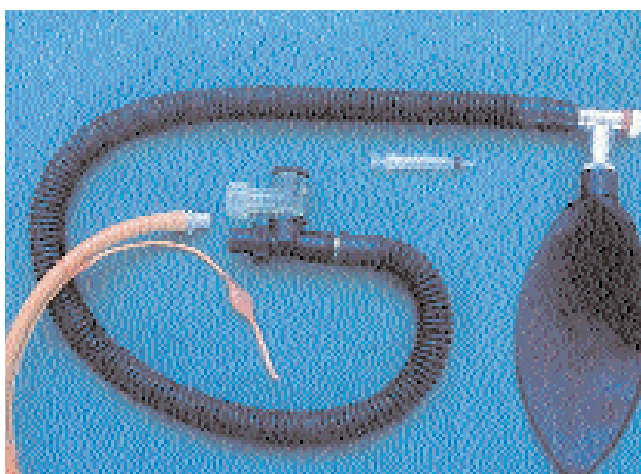
Fotografía 15. Caja anestésica muy útil para la anestesia de animales pequeños y de manejo difícil (roedores, pájaros, etc).



Fotografía 16. Caníster de cal sodada. Las modernas mezclas incluyen un indicador que, en presencia de CaCO_3 , vira de color, pasando al violeta (en la cal sodada blanca) o al blanco (en la cal sodada rosa).

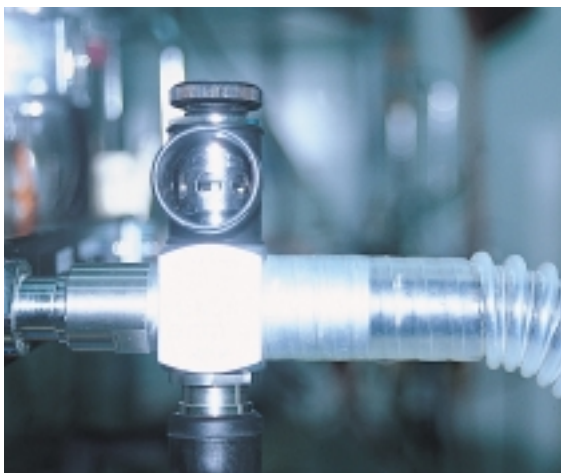


Fotografía 17. Filtro de carbón activado conectado a la válvula de descarga mediante una manguera. Muy aconsejable si no se dispone de salida exterior.

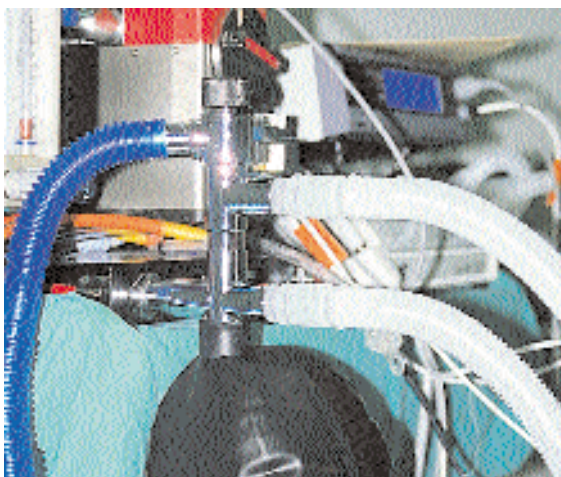


Fotografía 18. Sistema Magill.

Fotografía 19.
Sistema
Lack coaxial.
Válvula de
descarga.



Fotografía 20.
Sistema Lack
paralelo.
El tubo azul está
conectado al sistema
de extracción.



Fotografía 21.
Sistema en T de
Ayre con
modificación de
Jackson-Reed.

Fotografía 22.
Sistema Bain.



Además, el control de la propia válvula por parte del anestesista en casos de tener que ventilar manualmente al paciente lo convierte en muy complicado. Por ello se diseñó el sistema Lack coaxial (fotografía 19) con un tubo introducido dentro de otro tubo, la válvula espiratoria se coloca lejos del paciente y la bolsa de respiración conecta directamente con el tubo inspiratorio. La mezcla anestésica circula por el tubo externo de 28 mm de diámetro y la espiración por el interior de 12 mm de diámetro.

Es un sistema algo más eficiente que el Magill puesto que la diferente geometría en el extremo del paciente impide que se mezcle el gas del espacio muerto con el gas alveolar y la creación de turbulencias. Requiere un flujo de 120 ml/kg/min, por lo que en nuestra opinión, es de elección para perros de tamaño mediano y grande.

Existe un modelo de Lack no coaxial (fotografía 20), con el que se puede utilizar un respirador mecánico

El sistema en T de Ayre (Mapleson E) con bolsa de respiración (Mapleson F) (fotografía 21), es más simple de cuantos se emplean en anestesia inhalatoria y fue diseñado para hacer frente a la necesidades de anestesia pediátrica, buscando un método con la mínima resistencia y mínimo espacio muerto. En anestesia veterinaria es el ideal para animales de pequeño tamaño y peso, hasta 10 kg.

Consta de un brazo inspiratorio y un brazo espiratorio de doble diámetro que el primero. Se conecta este brazo espiratorio a una bolsa de respiración de 500 ml de capacidad, abierta en uno de sus extremos. Los dos brazos se unen con una conexión en T (o en Y) que se une directamente al tubo endotraqueal o a la mascarilla. El sistema no posee válvulas.

Para prevenir la reinhalación de carbónico se precisa 2 x vol / min del animal. Este flujo es muy alto pero tan sólo será de 4 l/min en el caso de un animal de 10 kg.

Para ventilar manualmente con este sistema, se ocluye cuidadosamente y de forma intermitente el extremo abierto de la bolsa de respiración teniendo precaución de no elevar excesivamente la presión intratorácica, observando cómo se insufla la caja torácica del animal.

El sistema Bain (fotografía 22) es, en esencia, un sistema en T, pero coaxial. En este caso se incorpora una válvula espiratoria, que se sitúa lejos del paciente. La bolsa de respiración, cerrada, se une directamente al brazo espiratorio. El brazo inspiratorio en este caso es más estrecho, con 7 mm de diámetro, mientras que el espiratorio es de 22 mm. Por ello, y aunque haya descripciones de su uso en animales de hasta 35 kg, no creemos conveniente recomendar este sistema en animales de tamaño mediano-grande pues ofrece cierta resistencia a la respiración (hay que tener presente el diámetro de la vía aérea del animal). El flujo requerido por este sistema para prevenir la reinhalación de carbónico ha sido y sigue siendo motivo de estudio. En general, se recomienda 1,5-3 x vol /min.

Como ventajas de este sistema coaxial se ha descrito el hecho de mantener el calor y la humedad

de la mezcla inspirada, aunque el beneficio general de su empleo en pequeño animales no es tan evidente.

• **CON CAL SODADA**

En este grupo de sistemas, el carbónico espirado es retenido y eliminado haciendo pasar la espiración por un recipiente (caníster) que contiene un cierto volumen de este compuesto, cuya descripción y fórmula ya han sido descritas. Por lo tanto, en este tipo de sistemas la espiración libre de carbónico es reciclada hacia el paciente.

Existen dos clases de sistemas con cal sodada:

- ☞ De flujo unidireccional, o circuito cerrado circular (fotografías 23 y 24).
- ☞ De flujo bidireccional o sistema vaivén (*To and Fro*) (fotografía 25).

El circuito cerrado circular incluye dos válvulas unidireccionales, inspiratoria y espiratoria, para lograr que el flujo de gases circule siempre en la misma dirección (fotografía 26). La resistencia es mayor en este circuito debido no solamente a la presencia de estas válvulas, sino también al caníster de cal sodada y a la válvula de escape, que también incorpora. Los elementos que forman parte de un circuito cerrado pueden ensamblarse de múltiples formas, aunque el funcionamiento será siempre el mismo.

El volumen del caníster (fotografía 27), en teoría, debe ser igual al del volumen tidal del paciente. Sin embargo, en la práctica no siempre se respeta este hecho debido a que normalmente la válvula de escape (espiratoria), se mantiene abierta. De esta manera parte de la espiración se pierde, ganando en eficacia la retención de carbónico. Si se utilizase como circuito cerrado propiamente dicho, es decir, con reinhalación completa, tan solo sería necesario un aporte de gases frescos (oxígeno fundamentalmente) igual al que consume el animal por unidad de tiempo, es decir, 10 ml/kg/min (necesidades metabólicas).

En este tipo de circuitos es muy importante monitorizar la fracción inspirada de oxígeno (FiO₂), pues el nitrógeno que forma parte de la espiración ocuparía el circuito con el riesgo de provocar una hipoxia. Por eso es más recomendable dejar la válvula espiratoria abierta o semiabierta. Entonces el flujo que se requiere será algo mayor al volumen tidal. Como complemento, incorporan un manómetro para medir la presión en la vía aérea (fotografía 28).

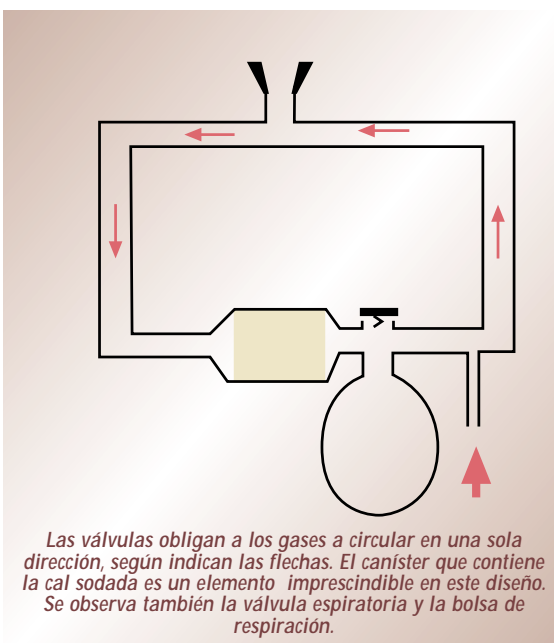
En la práctica, el circuito cerrado se debe emplear en animales de tamaño grande, a partir de 30-40 kg, y debe comprobarse que la cal sodada esté nueva, es decir, que no haya perdido su capacidad de captar el carbónico.

El sistema vaivén lo forman un recipiente o caníster, una bolsa de respiración y una válvula respiratoria con una conexión para la entrada de gases frescos.

El paciente con este sistema respira a través de la bolsa y la espiración pasa dos veces por el caníster, la primera vez con CO₂ y después sin él. Para reducir el espacio muerto el caníster debe situarse muy cerca del paciente, añadiendo un factor de resisten-

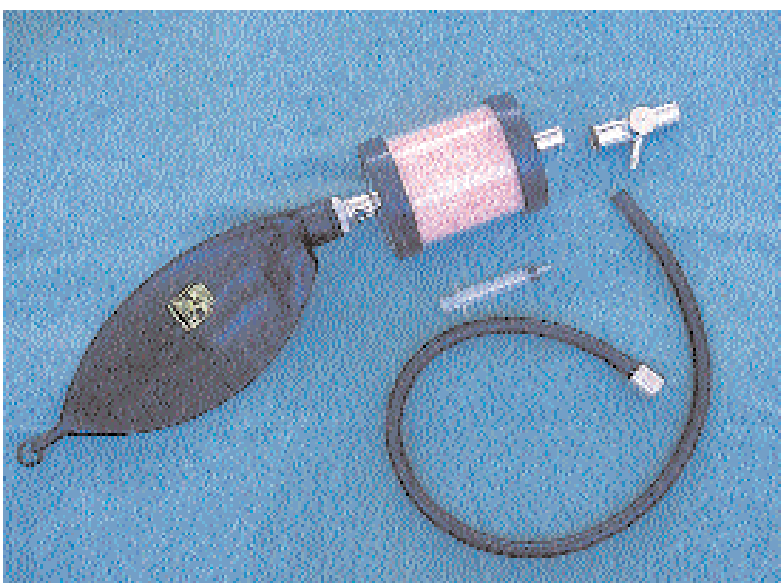


Fotografía 23. Sistema circular. El tubo más estrecho está conectado al suministro de mezcla anestésica de la máquina.



Las válvulas obligan a los gases a circular en una sola dirección, según indican las flechas. El canister que contiene la cal sodada es un elemento imprescindible en este diseño. Se observa también la válvula espiratoria y la bolsa de respiración.

Fotografía 24. Esquema de sistema circular cerrado.



Fotografía 25. Sistema To and Fro o Vaivén.



Fotografía 26. Válvula unidireccional (tipo Ambú) de un sistema circular.



Fotografía 27. Caníster de tamaño mediano para la anestesia de pacientes de pesos medios-altos. Los animales de menos de 20 kg deberían ser anestesiados con canisteres de menor tamaño.



Fotografía 28. Manómetro del circuito circular para medición de la presión en vías aéreas.

cia, que limita el empleo de este diseño para pacientes de tamaño grande, al igual que el anterior. El caníster debe situarse en posición horizontal con la precaución de haberlo llenado completamente de cal sodada.

De nuevo, la válvula espiratoria se mantiene ligeramente abierta. Así, parte de la espiración se pierde. Se precisa un flujo de 1-2 l/min.

El mantenimiento de estos dos sistemas es algo más engorroso para el clínico, quien debe asegurarse de cambiar la cal sodada cuando haya agotado su capacidad de retener el carbónico (se produce un viraje de color indicativo) (fotografía 16).

Los sistemas de respiración que aprovechan la espiración ofrecen la ventaja de humidificar y calentar la mezcla inspiratoria. Sin embargo, la mayor resistencia y volumen de espacio muerto que poseen los hacen desaconsejables para animales de pequeño tamaño y peso.

Se entiende por resistencia la medida del gradiente de presión que se establece entre los extremos de un tubo cuando un gas pasa a su través. La máquina anestésica proporciona a menudo una resistencia a la respiración que es mayor a la que puede superar el aparato respiratorio. En un animal consciente la respuesta a un aumento en la resistencia se suple por un incremento en el esfuerzo ventilatorio por parte de los músculos de la respiración. Esto incrementa el trabajo para mantener una adecuada ventilación. Si la resistencia es lo suficientemente alta, la respiración se paraliza, sobre todo si el animal está anestesiado, y por lo tanto deprimido. Las fuentes de resistencia en la máquina anestésica son las válvulas, las conexiones, los codos y las zonas de estrechamiento que provocan turbulencias en la corriente de flujo que pasa por ellas.

El espacio muerto del aparato es aquella parte de la máquina que al final de la espiración queda llena con mezcla exhalada, que en el caso de los sistemas de no-reinhalación, es decir, los que no tienen cal sodada, será reinhalada; y en los sistemas con reinhalación, es decir, con cal sodada, lo hará sin pasar previamente por ella donde debe quedar retenido el carbónico. Por lo tanto el espacio muerto favorece la reinhalación de CO₂.

En el paciente anestesiado, si la depresión respiratoria es mínima la ventilación se estimulará para mantener una concentración final espirada de CO₂ dentro de los límites normales o ligeramente elevada. Si existe depresión respiratoria, no se estimulará la ventilación y se producirá un acúmulo de CO₂, es decir, acidosis respiratoria.

La reinhalación de los gases espirados que no han sido liberados del CO₂ provoca también una reducción en la concentración inspiratoria de O₂ en la mezcla anestésica.

Anestesia inhalatoria de bajos flujos

La técnica de Anestesia Inhalatoria a Bajo Flujo se instaura cuando se emplea un flujo de oxígeno igual o ligeramente superior al consumo metabólico de

oxígeno del paciente, 4-7 ml/kg/min, en un sistema de reinhalación (circuito circular, cerrado o semicerrado) con captación del CO₂ circulante (canister de cal sodada).

Equipamiento

Si se dispone de máquina anestésica no es necesario realizar inversiones adicionales. La máquina anestésica debe estar equipada con circuito circular, válvula de descarga, válvulas inspiratoria y espiratoria, bolsa reservorio, canister de cal sodada y caudalímetro de oxígeno con medición inferior a 1 l. Para realizar esta técnica de bajo flujo es imprescindible contar con una alta reinhalación del gas exhalado, por lo que no puede ser realizada con circuitos abiertos o semiabiertos.

Ventajas

- ☞ Reduce emanaciones atmosféricas de óxido nitroso y de anestésicos halogenados.
- ☞ Reduce gastos de oxígeno, de óxido nitroso y de anestésico inhalatorio. El coste puede reducirse en más del 70%.
- ☞ Posibilita el uso más rutinario de isoflurano en nuestros pacientes al reducirse considerablemente su gasto. En bajos flujos un frasco de isoflurano puede emplearse en más del doble de pacientes que si empleamos altos flujos.
- ☞ El sistema de bajos flujos conserva una mayor proporción del calor y la humedad del aire exhalado, lo que resulta en un mejor mantenimiento de la temperatura corporal durante la anestesia y en una protección de la desecación de las vías aéreas.

Técnica

Una vez inducida la anestesia e intubado el paciente, se conecta a la máquina anestésica a un flujo de unos 100-200 ml/kg/min durante 15-20 minutos con la válvula de sobrepresión abierta. Este flujo permite administrar la cantidad de gas anestésico adecuada al paciente para que se instaure una concentración alveolar apta para la cirugía. El uso de bajos flujos desde el inicio puede ocasionar la falta de plano anestésico.

Transcurrido este tiempo se reduce el flujo de oxígeno a 4-7 ml/kg/min y la válvula de alivio de presión puede cerrarse. Debido a que los bajos flujos tienen un efecto limitado en el aporte de gas anestésico y éste sólo depende del flujo de oxígeno, la ruleta del vaporizador debe situarse por encima del porcentaje utilizado con altos flujos. Si no se incrementa el porcentaje en el vaporizador se puede desencadenar pérdida de la profundidad anestésica. En el caso que el paciente pierda el plano anestésico debemos incrementar el flujo de oxígeno, abrir la válvula de alivio y situar el vaporizador a la concentración que se desea mantener en la máquina.

Precauciones

Si la bolsa reservorio se encuentra vacía indica que estamos aportando un escaso flujo de oxígeno. Por el contrario, si la bolsa está hinchada significa que el aporte es excesivo.

Es recomendable un mínimo de monitorización respiratoria para prevenir situaciones de hipoxia e

hipoventilación (pulsioxímetro, capnómetro). La monitorización ideal consistiría en un monitor de gases respiratorios.

El óxido nitroso no debe emplearse en la anestesia de bajos flujos. Este gas no es metabolizado por el paciente y podría darse la situación de tener en el circuito un altísimo porcentaje de óxido nitroso con mínima disponibilidad de oxígeno. Esta situación implicaría inducir hipoxia al paciente por dos vías: por el escaso oxígeno y por ser el óxido nitroso un gas hipoxémico.

El dial del vaporizador debe ajustarse en bajos flujos ligeramente superior al porcentaje empleado en flujos altos. De esta forma se consigue proporcionar una adecuada concentración inspirada de anestésico que mantenga al paciente en el plano quirúrgico deseado.

Si durante el mantenimiento anestésico el paciente pierde el plano anestésico el flujo de oxígeno se debe incrementar a la vez que debemos fijar el rotámetro del vaporizador en el porcentaje que deseamos que haya en el circuito.

Tras la inducción anestésica se trabaja con flujos altos durante 15 ó 20 minutos para conseguir la concentración alveolar de anestésico óptima para cirugía. Este tiempo se puede acortar forzando respiraciones profundas con la bolsa reservorio. El uso de óxido nitroso en esta fase inicial acelera el proceso al facilitar la captación alveolar de los anestésicos inhalatorios. Una vez finalizada esta fase la administración de óxido nitroso debe cesar. ♦

Bibliografía

Referencias bibliográficas indicadas al final del monográfico.

ANEXO

Método para calcular mililitros de vapor y mililitros de líquido anestésico

$$\text{Mililitros de vapor} = (\text{valor del vaporizador (\%)} \div 100) \times \text{flujo a vaporizar (ml/min)} \times \text{tiempo (min)}$$

$$\text{Mililitros de líquido anestésico} = \text{mililitros de vapor} \div \text{mililitros de vapor/ml de líquido a 20°C}$$

Anestésico	% del vaporizador	Flujo***	Tiempo (min)	Vapor (ml)	Líquido (ml)	Coste (ptas)
Halotano*	2	3	120	7200	31,7	444
	2	1	120	2400	10,6	148
	2	0,14	120	336	1,5	21
	1	3	120	3600	15,9	223
	1	1	120	1200	5,3	74
Isoflurano**	2	3	120	7200	37,0	2664
	2	1	120	2400	12,3	886
	2	0,14	120	336	1,7	122
	1	3	120	3600	18,5	1332
	1	1	120	1200	6,2	446

* Halotano: 3.500 pts por 250 ml ó 14 pts por ml

** Isoflurano: 18.000 pts por 250 ml ó 72 pts por ml

*** Flujo de gas fresco a través del vaporizador r (l/ml)

USO CLINICO DE LA MEDETOMIDINA (Domitor®) Y ATIPAMEZOLE (Antisedan®) EN EL HOSPITAL Y CLINICA QUIRURGICA DE LA FACULTAD DE VETERINARIA DE ZARAGOZA.

J.I. Cruz ; R. Pascual ; J.López; O.Burzaco
Facultad de Veterinaria. Zaragoza.

A.- Introducción.-

Uno de los más significados avances en anestesia veterinaria en los últimos diez años ha sido la introducción de nuevos compuestos que se unen a los receptores alfa-adrenérgicos. Sin embargo la explicación de sus efectos fisiológicos o de sus interacciones con otros agentes anestésicos es un nuevo desafío. Se ha producido un considerable progreso, no obstante, en la comprensión de la farmacología de los adrenerreceptores alfa, que marca las directrices de futuras investigaciones tanto clínicas como farmacológicas. Se conocen dos subtipos de receptores alfa-adrenérgicos denominados alfa-1 y alfa-2. Los agonistas alfa-1 como la Fenilefrina son conocidos por sus efectos vasopresores y bradicardizantes. Los antagonistas de los receptores alfa-1, como el Prazosin producen hipotensión y taquicardia. Sin embargo los compuestos de interés en anestesia veterinaria son los agonistas alfa-2.

La Clonidina fue el primer compuesto que mostró un efecto selectivo sobre el receptor alfa-2 y es muy conocido por su capacidad de producir hipotensión y bradicardia, debido a su acción sobre el centro vasomotor, reduciendo el tono simpático y aumentando la actividad vagal. Existe un efecto adicional a nivel periférico, que potencia la hipotensión y que consiste en una inhibición por retroalimentación de la liberación de neurotransmisores, atenuando el efecto simpático.

Los efectos cardiovasculares de los agonistas alfa-2 son particularmente problemáticos y han impedido su uso sistemático en anestesia humana, excepto cuando se busca un efecto hipotensor. Además estas drogas tienen varias acciones muy beneficiosas en el contexto quirúrgico. Estas acciones dependen de la dosis e incluyen: sedación, ansiolisis, relajación muscular y analgesia. El efecto sedante y ansiolítico de la Clonidina se debe a la inhibición de la liberación de noradrenalina en el cerebro, como consecuencia de la activación de los adrenerreceptores alfa-2 en los axones y cuerpos celulares de las neuronas adrenérgicas. Mientras que es claro que el efecto analgésico depende de la activación de los adrenerreceptores y no es dependiente de receptores opiáceos, la localización del mismo en el SNC no es conocida, aunque hay evidencias a favor de la participación de mecanismos pre y postsinápticos en la médula espinal y centros superiores.

Se ha invertido un gran trabajo en el desarrollo de drogas con una mayor selectividad para los receptores alfa-2 que la Clonidina, considerada en esta introducción como modelo. Muchos de estos compuestos como la Xilacina y la Detomidina se emplean en la práctica clínica veterinaria y son objeto de investigaciones. La Medetomidina, que es el derivado metilado de la Detomidina, es otro de estos com-

puestos que ha comenzado a utilizarse en un contexto quirúrgico en pequeños animales. La Medetomidina tiene una afinidad mil quinientas veces mayor que la Clonidina para unirse al receptor alfa-2. Se ha mostrado también más potente en estudios de medición de respuestas fisiológicas a este tipo de drogas. Otros estudios experimentales con Medetomidina han mostrado que es diez veces más potente que la Detomidina para inhibir la actividad espontánea locomotriz en ratas. Sin embargo los sitios concretos y los mecanismos por los que la Medetomidina produce anestesia y sedación no son todavía concidos en detalle. Los estudios de farmacocinetica de la Medetomidina en el perro dan como vida media de eliminación entre 1.0 y 1.3 horas; aclaramiento plasmático entre 27.5 y 33.4 ml/Kg/min y volumen de distribución entre 2.8 y 3.0 l/Kg.

A la vista de los estudios actuales, no puede recomendarse el uso rutinario de Anticolinérgicos intravenosos para revertir la bradicardia inducida por la Medetomidina. Si se desean utilizar anticolinérgicos como ayuda para prevenir las bradicardias, deben administrarse por las vías subcutánea o intramuscular entre 10 y 15 minutos antes que la administración intramuscular de Medetomidina.

La Medetomidina produce bradicardia, pero las mediciones de la presión sanguínea y de la SaO₂ demuestran que ambos parámetros permanecen dentro de parámetros normales con una adecuada ventilación. Por lo tanto en sujetos sanos no es preciso incrementar la frecuencia cardiaca con anticolinérgicos. Si ello es preciso deberá considerarse el empleo de cloruro cálcico, gluconato cálcico, dobutamina o alguna otra droga que tenga su acción a nivel de Sistema Nervioso Simpático, en lugar de administrar parasimpaticolíticos. Si se presenta una crisis importante debe inyectarse Atipamezole, que mejorará la situación sin causar otros problemas.

Antagonistas alfa-2:

Los antagonistas selectivos para los receptores adrenérgicos alfa-2 (Idazoxán y Atipamezole) fueron desarrollados originalmente por sus efectos potencialmente beneficiosos en el tratamiento de la depresión humana. Sin embargo, estos objetivos han sido eclipsados por su efecto para revertir la sedación producida por los agonistas alfa-2 en anestesia veterinaria. El Atipamezole tiene una selectividad 8.500 veces superior para el receptor alfa-2 que para el receptor alfa-1. Los efectos psicológicos y cambios neuroquímicos inducidos por la Medetomidina son revertidos completamente por el Atipamezole, el cual, a dosis clínicas, no tiene ningún otro efecto cuando se administra sólo. A dosis más altas produce hiperventilación, excitación y un aumento en la liberación de noradrenalina y 5-HT en el cerebro

La concentración de Atipamezole en la preparación ANTISEDAN® es 5 veces mayor que la de Medetomidina en DOMITOR®, y esto hace que el volumen a administrar sea el mismo para las dos drogas. En el perro, una dosis de 200 µg/kg de

Atipamezole revierte la sedación de 40 µg/kg de Medetomidina entre 3 y 7 minutos después de su administración intramuscular. El relato de los hechos es como sigue: La frecuencia cardíaca y respiratoria se incrementa. Se observa parpadeo y movimientos de la cola y de la cabeza, que comienza a girar de un lado para otro. Se recupera la posición de decúbito esternal y, si no se tiene cuidado, el perro saltará de la mesa. Es más conveniente administrar el Atipamezole con el animal en el suelo para reducir el riesgo de posibles fracturas. Los perros pueden andar normalmente a los 10 minutos.

B.- Casos clínicos.-

A continuación se presenta el uso clínico de la Medetomidina (DOMITOR®, Smithkline Beecham) y Atipamezole (ANTISEDAN®, Smithkline Beecham) en las especies canina y felina, llevado a cabo en el Servicio de Anestesiología y Reanimación del Hospital y Clínica Quirúrgica de la Facultad de Veterinaria de Zaragoza, durante los meses de Enero a Mayo de 1.994.

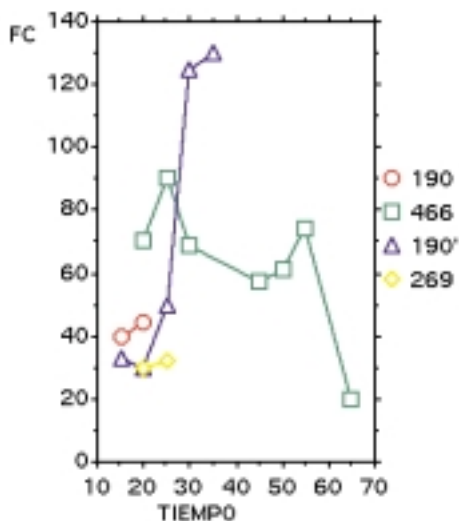
ESPECIE CANINA

DOMITOR® se ha utilizado como agente preanestésico en la especie canina en seis ocasiones, y para la sedación en la especie canina en cuatro ocasiones. El mantenimiento se realizó con halotano:

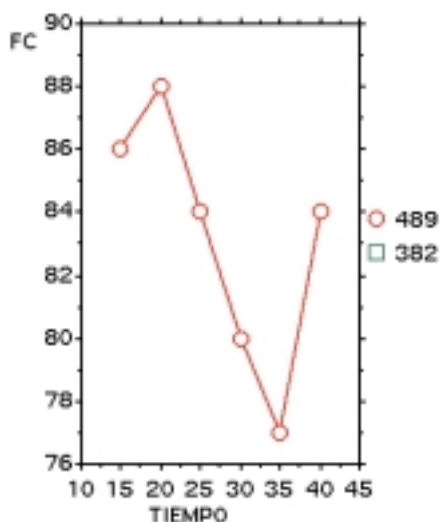
ESPECIE FELINA

DOMITOR® fue empleado en la especie felina como único agente para producir la sedación en dos casos y para la inducción de la anestesia y posterior intubación en 4 gatos, en dos de ellos en asociación con Ketamina. El mantenimiento se realizó con halotano. DOMITOR® se utilizó junto con una anestesia local o regional para permitir la orquidectomía en cinco gatos.

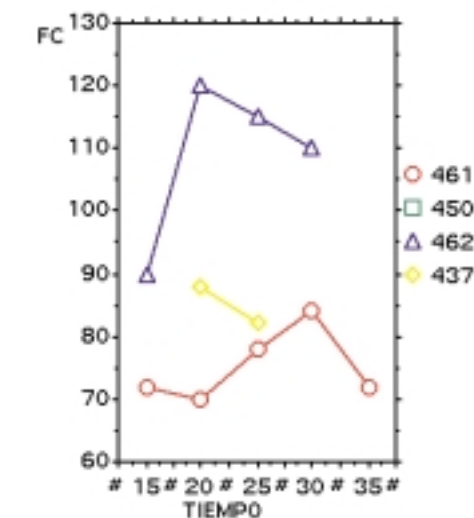
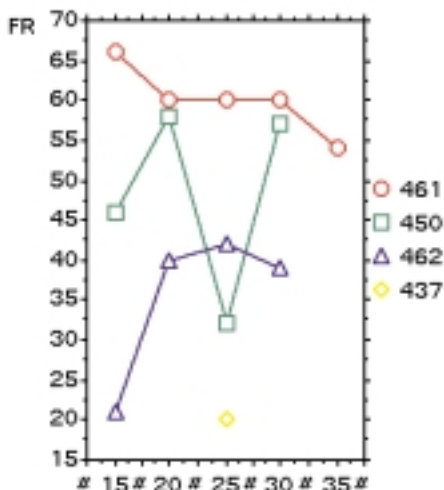
C.- Gráficas.-



Gráfica 1: Monitorización de las frecuencias respiratoria y cardíaca durante la sedación con DOMITOR® en la especie canina.



Gráfica 2: Monitorización de la frecuencia cardíaca durante la sedación con DOMITOR® en la especie felina.



Gráfica 3: Monitorización de las frecuencias respiratoria y cardíaca durante la utilización de DOMITOR® junto con analgesia local en la especie felina.

D.- Discusión y Conclusiones.-

El uso de DOMITOR® bien sea como preanestésico o como sedante en la especie canina, ha permitido, en las condiciones descritas en este trabajo, un manejo razonablemente aceptable desde el punto de vista anestésico, de todos los casos descritos. Se observaron en seis casos complicaciones que afectaron fundamentalmente al sistema cardiorrespiratorio. Afortunadamente, todos ellos pudieron ser solucionados convenientemente, mediante la administración de ANTISEDAN® y Atropina.

Es necesario señalar que, en dos casos, se observaron contracciones involuntarias de la musculatura de las extremidades posteriores, para las que no tenemos una clara explicación. No hemos encontrado referencias bibliográficas que describan estos fenómenos. Por último, en un caso apareció sialorrea que no produjo obstrucción de la vía aérea.

De todas las observaciones clínicas efectuadas en la especie canina concluimos que la Medetomidina es una droga útil en el arsenal anestésico, debido a su gran potencia y a la rapidez de aparición de sus efectos, aun inyectada por vía im, pero debe reservarse su uso a pacientes ASA I y II, con una adecuada valoración cardiorrespiratoria. No debe emplearse nunca si se sospechan problemas de ritmicidad cardíaca o depresión vascular.

El uso de Atropina, aunque contradictorio y confuso en la bibliografía no ha producido en nuestro caso mayores problemas, habiéndose administrado antes, después y al mismo tiempo que la Medetomidina (ver Gráfica 1). A la hora de la inducción con Barbitúricos, hay que tener en cuenta la bradicardia que haya producido la Medetomidina; el tiempo circulatorio estará muy enlentecido y por lo tanto es relativamente fácil la sobredosificación, pues el "sueño" anestésico tarda en llegar, lo que hace pensar que la dosis de Barbitúrico ha sido insuficiente.

El uso clínico de DOMITOR® en la especie felina ha originado vómitos en 2 casos, que no revistieron mayor peligro, pero que obligan a tener en cuenta este hecho y estar preparado para aspirar e intubar la tráquea. También se observaron depresiones cardiorrespiratorias y arritmias de similar evolución e importancia a las que se observaron en la especie canina. Donde quizás DOMITOR® se ha mostrado más eficaz, con resultados satisfactorios, ha sido en los casos de orquidectomías, pues permitió las inyecciones intratesticulares o epidurales, quedando el animal en un estado de relajación con analgesia profunda, muy necesarias para este tipo de intervención.

La administración de ANTISEDAN® revirtió en todos los casos los efectos de DOMITOR®, si bien es preciso señalar la posibilidad de recuperaciones violentas con gran excitación del animal, que pueden hacer peligroso su manejo en esos momentos. Pensamos que en algunos casos es preferible dejar que el animal se recupere más lentamente para evitar esta posibilidad y facilitar su manejo. Además, hay que pensar que al antagonizar los efectos de la Medetomidina también se bloquea la analgesia, imprescindible en un postoperatorio inmediato.