



LA VENTILACIÓN DEL PACIENTE BAJO ANESTESIA: ¿PORQUÉ ES TAN IMPORTANTE ECHARLE UNA MANO?

Gaspar Soler Aracil

Servicio Ambulante de Anestesia (VETANIA ANESTESIA)

Sevilla (Andalucía)

España

LA VENTILACIÓN Y RESPIRACIÓN. BREVE RECUERDO FISIOLÓGICO

Tanto la ventilación y la respiración de son fenómenos fisiológicos vitales en todos los animales y están muy presentes, cuando se habla de anestesia y sobre todo cuando nos referimos a anestesia inhalatoria. De forma general podemos definir que la función vital de ambos fenómenos (ventilación/respiración) es la de captar oxígeno (O₂) del aire a través del árbol alveolar, transportarlo adecuadamente a las células de los diferentes tejidos por el entramado vascular arterial y eliminar el dióxido de carbono (CO₂), deshecho metabólico celular a través de los vasos venosos hasta los alveolos y de ahí hacia el exterior. Ambos fenómenos no se entienden el uno sin el otro. La ventilación se refiere principalmente a los mecanismos del organismo necesarios para introducir el aire dentro de los alveolos a través de las vías respiratorias altas hasta los alveolos y a los fenómenos mecánicos para eliminar el CO₂, fruto del deshecho celular, a través de esos mismos alveolos hacia el exterior del animal. Cuando hablamos de ventilación nos vamos a referir a los movimientos mecánicos activos que se producen en las vías altas, contracción de la musculatura torácica y diafragmática, y también a los fenómenos pasivos de relajación de dicha musculatura. A los fenómenos activos de la musculatura en ventilación los denominamos INSPIRACIÓN y a los fenómenos pasivos los denominamos ESPIRACIÓN. Al fenómeno de inspiración seguido del fenómeno de espiración, es lo que conocemos y llamamos CICLO VENTILATORIO.

Un ciclo ventilatorio completo consta de varias fases:

- 1) Pausa al inicio de cada inspiración
- 2) Fase inspiratoria (inspiración)
- 3) Pausa inspiratoria (tiempo entre el final de la inspiración y el inicio de la espiración)
- 4) Fase espiratoria (espiración)

Realmente es prácticamente imposible identificar todas estas fases de un ciclo ventilatorio y las vamos a resumir en inspiración y espiración (tras una pausa inspiratoria).

Cada ciclo ventilatorio, con todas su fases, se va repitiendo a lo largo del tiempo y es lo que denominamos como FRECUENCIA RESPIRATORIA (FR) (número de ciclos ventilatorios que se repiten a lo largo de un minuto). Cada ciclo ventilatorio tiene una duración (en segundos) y que se compone del tiempo que dura la inspiración más el tiempo que dura la espiración. En condiciones fisiológicas y de reposo, el tiempo espiratorio dura el doble que el tiempo inspiratorio; es lo que denominamos relación I:E, y que como hemos indicado el índice de relación es de 1:2 (doble tiempo espiratorio que el tiempo inspiratorio).

Vamos a poner un ejemplo para que se pueda entender mucho mejor esto de los tiempos inspiratorio, espiratorio, I:E, etc. Si un animal ventila con una frecuencia respiratoria de 15 respiraciones por minuto (rpm), podemos saber que cada ciclo ventilatorio dura 4 segundos y esto lo hemos calculado dividiendo la FR entre los segundos que tiene un minuto (60 segundos) $60 : 15 = 4$ segundos. Ahora sabemos que un ciclo ventilatorio completo dura 4 segundos; si la relación I:E es fisiológica (1:2), podremos concretar que el tiempo inspiratorio en este caso sería de 1.33 segundos y el tiempo espiratorio 2,66 segundos ($1,33+2,66= 3,99(4)$).

Durante la inspiración (fenómeno activo) se produce una contracción de la musculatura torácica (mm intercostales y mm diafragmática). Los músculos intercostales y el diafragma, al contraerse, provocan una expansión de la caja torácica, lo que provoca también una expansión del parénquima pulmonar (a través de la pleura parietal). Esta expansión crea un gradiente de presión negativa dentro del parénquima pulmonar, lo que provoca la entrada de aire a través de la nariz, laringe, tráquea, bronquios, bronquiolos y hasta los alveolos. Allí en los alveolos es donde se produce el intercambio gaseoso (del que nos ocuparemos más adelante).

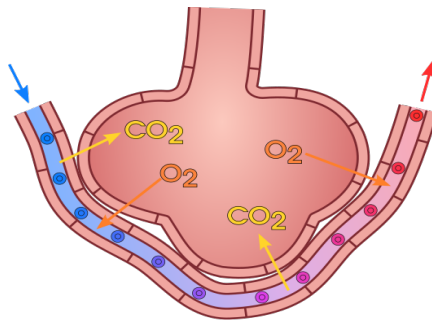
Durante la espiración (fenómeno pasivo) toda la musculatura que ha intervenido en la inspiración se relaja y entonces la caja torácica expandida vuelve a su posición original y el diafragma, que se había contraído y desplazado hasta el abdomen, vuelve también a su posición original y normal. Al relajarse toda esta musculatura provoca que la caja torácica vuelva su posición original, empujando el contenido de los

alveolos más lo que queda en bronquiolos, bronquios y tráquea, hacia el exterior del animal. Todos estos fenómenos y mecanismos son los que ocurren durante una ventilación o ciclo ventilatorio.

¿Y por qué se produce el inicio de un ciclo ventilatorio y para qué se produce?

Aunque el fenómeno de la ventilación/respiración se puede provocar de forma consciente, lo normal es que se produzca de forma espontánea y sin que nos demos cuenta de que se produzca. Todo este fenómeno de la ventilación/respiración está regulado por el sistema nervioso central (SNC) y específicamente por el CENTRO RESPIRATORIO. El centro de respiratorio del SNC es el responsable de iniciar la ventilación de un animal y se activa cuando detecta en sangre valores pobres de oxígeno (PaO_2 presión parcial de O_2) o valores elevados de dióxido de carbono (PaCO_2 presión parcial de CO_2). Cuando se producen estos valores, se activan unos quimiorreceptores en sangre que avisan al centro respiratorio para que éste inicie la ventilación, contrayendo la musculatura de la caja torácica y diafragma. Estos quimiorreceptores activan al centro respiratorio cuando la $\text{PaO}_2 < 60$ mm Hg (hipoxemia) o cuando la $\text{PaCO}_2 > \text{de } 35\text{-}40$ mm Hg (hipercapnia). Cualquiera de estas dos situaciones, hipoxemia o hipercapnia, activarán al centro respiratorio para que inicie una ventilación

Ahora nos vamos a ocupar de lo que ocurre dentro del alveolo cuando se llena de aire consecuencia de una fase inspiratoria. Como hemos explicado antes, durante la inspiración se produce la entrada de aire hacia los pulmones a través de la nariz, laringe, tráquea, bronquios y hasta los alveolos. Es aquí, en los alveolos donde se produce el INTERCAMBIO GASEOSO. Durante el intercambio gaseoso en el alveolo, el oxígeno que transporta el aire (21% oxígeno, 78% nitrógeno, 1% otros gases) es captado por los vasos sanguíneos alveolares y el CO_2 que transportan los vasos capilares venosos, pasa al interior del alveolo a través de la membrana alveolo-capilar.



El oxígeno captado por los vasos capilares arteriales es transportado por todo el entramado arterial hacia todos los órganos para entregar dicho oxígeno a las células. Y el CO_2 que ha pasado al interior del alveolo es expulsado hacia el exterior junto al aire no aprovechado, mediante la espiración del animal. Este intercambio de gases (O_2 y CO_2) entre los vasos sanguíneos y los alveolos, el transporte del oxígeno hacia las células de todos los órganos y la eliminación del CO_2 fruto del metabolismo celular es lo que denominamos RESPIRACIÓN. Podemos concluir que el objetivo principal de los fenómenos de ventilación y respiración son fundamentalmente, la captación de OXÍGENO (O_2) y la eliminación del DIÓXIDO de CARBONO (CO_2). Si no se cumplieran estos dos fenómenos fundamentales, se produciría la muerte celular, la muerte tisular, la muerte orgánica y como consecuencia, la muerte del organismo.

EFFECTOS Y CONSECUENCIAS DE LA ANESTESIA SOBRE LOS MECANISMOS DE VENTILACIÓN Y RESPIRACIÓN DEL PACIENTE

Después de realizar un breve recordatorio de la fisiología respiratoria, vamos a indicar las consecuencias y efectos de la anestesia general sobre estos mecanismos fisiológicos de la ventilación/respiración.

Tenemos que asumir que el órgano diana de casi todos los fármacos utilizados en anestesia es el SNC (sistema nervioso central), que es el órgano que regula casi todos los sistemas orgánicos del organismo, incluyendo el sistema respiratorio. Ante cualquier protocolo anestésico, lo primero que se produce, es una depresión del SNC y también de su centro respiratorio. Los primeros causantes de esta depresión son los fármacos que más habitualmente se utilizan en anestesia : hipnóticos (sedantes, inductores, mantenedores), analgésicos (opiáceos sobre todo) y relajantes musculares (alfa-2 agonistas, benzodiacepinas). La mayoría de estos fármacos se utilizan habitualmente en un protocolo de anestesia general, provocando una fuerte depresión del SNC y de su centro respiratorio. Esta depresión tiene como principal consecuencia que la respuesta por parte del SNC ante determinados estímulos es pobre o ausente, y a mayor depresión del SNC, peor sería esta respuesta. En el caso de la ventilación/respiración

tendremos como primera consecuencia que el centro respiratorio no responde igualmente a esos quimiorreceptores de hipoxemia ($\text{PaO}_2 < 60 \text{ mmHg}$) o de hipercapnia ($\text{PaCO}_2 > 35\text{-}40 \text{ mmHg}$); es decir que para que el centro respiratorio se active necesita valores de hipoxemia más graves y valores de hipercapnia superiores a los indicados. Esto provoca que el paciente, si no realizamos alguna maniobra, tienda a la hipoxemia y a la hipercapnia con valores más preocupantes y peligrosos; como consecuencia de ello vamos a provocar una frecuencia respiratoria más baja que la fisiológica; es lo que llamamos BRADIPNEA. Esta bradipnea está provocada principalmente por los fármacos sedantes/hinóticos y por los analgésicos (sobre todo los opiáceos). Por otro lado, el empleo de relajantes musculares (alfa-2 y benzodiacepinas) en nuestros protocolos provocan una relajación muscular de toda la musculatura del paciente, incluyendo a los músculos intercostales y del diafragma (músculos que intervienen directamente en la ventilación del paciente). Al relajarse esta musculatura se provoca una mayor contracción y trabajo de estos músculos, lo que tiene como consecuencia que la caja tórica se expande en peores condiciones, provocando una menor entrada del volumen de aire en los pulmones; esto es lo que conocemos como HIPOVENTILACIÓN. Cuando un paciente, bajo los efectos de la anestesia, ventila menos veces (bradipnea) y ventila con menos volumen (hipoventilación), es un paciente que tiende a la hipoxia/hipoxemia y a la hipercapnia, que pueden llegar a ser graves y provocar la muerte del paciente.

EL TRABAJO Y EL ESFUERZO RESPIRATORIO

A parte de los fenómenos de bradipnea e hipoventilación que siempre se producen en un paciente bajo efectos de la anestesia general, existen otras consecuencias importantes que la mayoría de las veces no tenemos en cuenta y que podrían ser las causas de otras muchas complicaciones que aparecen durante una anestesia; hablamos del esfuerzo y el trabajo que tiene que realizar un paciente por ventilar bajo condiciones normales de anestesia general. En condiciones normales y fisiológicas, los animales necesitan realizar un esfuerzo y un trabajo cada vez que realizan una ventilación, lo que conlleva un consumo de energía (ATP); pero en condiciones normales este consumo de energía está equilibrado por el organismo de manera fisiológica. El problema aparece cuando este esfuerzo o trabajo aumenta considerablemente y se tiene que realizar en condiciones no tan fisiológicas y normales, como puede ser la anestesia. Además debemos saber que no todos los pacientes pueden soportar adecuadamente este esfuerzo y trabajo que exige la ventilación en condiciones especiales (pej. Pacientes obesos, pacientes geriátricos, pacientes con enfermedades cardio-respiratorias, etc.). Ya se han comentado las consecuencias directas sobre el paciente sometido a una anestesia general (bradipnea e hipoventilación) y que son fácilmente medibles y monitorizables con monitores adecuados. Ahora queremos llamar la atención de otras consecuencias directamente relacionadas con las maniobras de una anestesia general y que no son tan reconocibles y medibles con ningún monitor; nos referimos al consumo de energía que se produce bajo el esfuerzo y trabajo que tiene que realizar en condiciones especiales. Nos referimos sobre todo a todas esas maniobras que realizamos sobre nuestro paciente cuando lo conectamos a una máquina de anestesia inhalatoria y que por otro lado, son maniobras esenciales e imprescindibles en cualquier procedimiento anestésico.

- 1) **LA INTUBACIÓN OROTRAQUEAL:** La intubación orotraqueal es una de las maniobras fundamentales que hay que realizar en un paciente que lo vamos a someter a una anestesia general. Es imprescindible en protocolos de anestesia inhalatoria pero también es muy recomendable en otros protocolos (TIVA, procedimientos cortos, etc.). Hay que saber que incluso realizando una muy buena maniobra de intubación, el hecho de que el paciente tenga un tubo en el interior de su tráquea provoca un esfuerzo extra en el trabajo que debe realizar un paciente. Cuanto más estrecho sea este tubo (TET) en relación al calibre de la tráquea, este trabajo y esfuerzo aumentan de manera exponencial.
- 2) **EL ESPACIO MUERTO MECÁNICO.** El espacio muerto mecánico lo definimos como todo aquel artefacto que se encuentra entre el hocico del paciente y la Y del circuito anestésico; nos referimos a filtros, conectores, codos, sensores que colocamos en este espacio; incluso esa porción de tubo endotraqueal (TET) que sobresale de la boca del paciente. Todo esto que se coloca en este espacio y que tiene una función más o menos importante, hace que el esfuerzo y el trabajo por parte del paciente para ventilar, aumente considerablemente.
- 3) **LOS CIRCUITOS ANESTÉSICOS.** Los circuitos anestésicos son esos elementos (tubuladuras) que conectan el paciente (desde el tubo endotraqueal) a la máquina de anestesia. Son muchos los tipos de circuitos que existen pero en general podemos hablar de circuitos abiertos o semi-abiertos y circuitos semicerrados circulares o coaxiales; también los podemos clasificar en circuitos con absorbedor de gas sodado o sin absorbedor (Canister). Para el tema que nos ocupa, diremos que los circuitos abiertos o sin canister de gas sodado son los que menos esfuerzo requieren por

parte del paciente y que los circuitos circulares o coaxiales semicerrados son los que mayor esfuerzo requieren por parte de paciente. Dentro de los circuitos semicerrados, existe un elemento que es el tubo corrugado y que también deberíamos adaptar dependiendo del tamaño del paciente para minimizar este esfuerzo.

- 4) **LA MÁQUINA DE ANESTESIA.** La máquina de anestesia también se puede considerar un factor que puede aumentar el esfuerzo por ventilar que debe realizar un paciente, sobre todo en su sistema valvular (válvula inspiratoria y espiratoria) que son componentes de un circuito semicerrado circular. Dependiendo de la sensibilidad de estas válvulas pueden provocar un mayor o menor trabajo para poder moverlas. También es importante que estas válvulas estén secas y limpias (sobre todo la espiratoria) ya que mojadas o sucias funcionan mucho peor y aumentan el trabajo ventilatorio

¿QUÉ PODEMOS HACER POR AYUDAR A NUESTRO PACIENTE?

Hay que entender es que todo lo que se ha explicado y definido como consecuencias negativas para un paciente en condiciones son maniobras que se hacen o se tienen que hacer en un protocolo anestésico.

- a) Se debe conseguir una hipnosis adecuada con el uso de sedantes, inductores e hipnóticos lo que va a provocar siempre una depresión del SNC
- b) Se recomienda el uso de opiáceos puros como fármacos complementarios de una analgesia multimodal, lo que provoca también depresión del centro respiratorio
- c) Se recomienda el uso de relajantes musculares como elemento de la triada anestésica (hipnosis-analgésia-relajación muscular) lo que va a provocar una menor actividad en la musculatura que interviene en la ventilación, lo que provoca fenómenos de hipoventilación

El uso de estos tres tipos de fármacos, son altamente recomendables dentro de un protocolo anestésico así que no podemos evitar su efecto sobre el SNC. Así que para evitar sus consecuencias sobre el SNC y Centro respiratorio (bradipnea e hipoventilación) sólo podemos realizar maniobras de SOPORTE VENTILATORIO (total o parcial) es decir, aplicar VENTILACIÓN MECÁNICA (manual o automática) a todos los pacientes bajo anestesia general.

En cuanto a lo referente al equipamiento y los elementos que pueden aumentar el esfuerzo y trabajo ventilatorio, podemos aliviar y minimizar este esfuerzo:

- a) Intentar que el TET (tubo endotraqueal) que utilicemos se adapte lo más posible al calibre de la tráquea del paciente y que no sobresalga mucho de la boca del paciente. Hay que ajustarlos tanto en calibre como en longitud.
- b) Hay que evitar colocar el mínimo de artefactos o aparatos entre la conexión del TET y la "Y" del circuito anestésico. Evitar colocar filtros y otro tipo de artefactos en este espacio. Procurar que las conexiones (CO₂, del circuito) sean lineales y no acodadas o en ángulo recto)
- c) Tener la seguridad que un circuito abierto (sin absorbedor de CO₂) proporciona mucha menor resistencia que un circuito semicerrado-circular (con absorbedor de CO₂). Por eso es mejor para cualquier paciente el uso de circuitos abiertos o semiabiertos (T de Ayre, Magill, Bain).
- d) Deberíamos ajustar el tubo corrugado de los circuitos semicerrados circulares al tamaño del paciente, pudiendo poder elegir entre tubos corrugados neonatales, pediátricos y adultos.
- e) En cuanto a las válvulas de la máquina de anestesia hay que procurar mantenerlas limpias y secas (sobre todo la válvula espiratoria), ya que su falta de mantenimiento puede provocar un mayor esfuerzo por parte del paciente y también producir reinhalación del CO₂ espirado.
- f) Hay que tener en cuenta siempre las condiciones especiales del paciente en cuanto a la raza, condición corporal, edad, posicionamiento durante el procedimiento...etc.
- g) También hay que tener en cuenta y mucho, los tiempos anestésicos. No es lo mismo una anestesia de ½ hora o menos de una hora, que una anestesia de 2-3 horas. Hay pacientes que pudiendo resistir una anestesia de 1 hora, no serían capaces de aguantar anestésias de más de dos horas.

A parte de todas las recomendaciones que se han descrito a la hora de aliviar el esfuerzo y trabajo ventilatorio por parte del paciente, es importante saber y conocer también que el empleo de VENTILACIÓN MECÁNICA (VPPI) en todos los procedimientos anestésicos eliminan o alivian o minimizan todas estas consecuencias negativas de protocolo y manejo que aparecen durante una anestesia general.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Soler Aracil G. Manual de Anestesia para el ATV. Cap 4 (pag. 37-44). Multimédica ediciones veterinarias. 2024
2. Martínez Pino J. Manual de Ventilación mecánica en pequeños animales. Cap 1 (pag 12-14). Multimédica Ediciones Veterinarias 2018
3. Tratado de ventilación mecánica en Anestesiología, cuidados intensivos y trasplantes. VENTIMEC. Cap 1 (pag 3-12). Editorial Médica Panamericana. 2022
4. Tratado de ventilación mecánica e Anestesiología, cuidados intensivos y trasplantes. VENTIMEC Cap 2 (pag 13-17). Editorial Médica panamericana. 2022