



gta

XXIV Congreso de Especialidades Veterinarias
ZARAGOZA - 25-26 abril 2025

VENTILACIÓN MECÁNICA EN CIRUGÍA TORÁCICA

Mario Arenillas Baquero.

Anestesia y Cirugía Veterinarias, Servicio Ambulante.

Facultad de Veterinaria. Universidad Complutense de Madrid.

Avda. Puerta de Hierro s/n. 28040 Madrid,

Introducción

La cirugía torácica presenta desafíos singulares en relación con la ventilación del paciente, debido a la necesidad de acceder al interior de la cavidad torácica y, en muchos casos, a la interrupción transitoria de la ventilación en uno de los pulmones. La correcta aplicación de la ventilación mecánica (VM) resulta fundamental no solo para mantener una adecuada oxigenación e intercambio gaseoso, sino también para minimizar complicaciones intra- y postoperatorias. En esta ponencia repasamos la fisiología asociada y el manejo de la VM en la anestesia para cirugía torácica, así como sus implicaciones clínicas y técnicas asociadas.

Conceptos básicos en ventilación mecánica

Es importante entender algunos conceptos relacionado con la VM para llevar a cabo el manejo ventilatorio más adecuado en cada caso. Entre ellos, destacan los siguientes:

Volumen corriente o tidal (V_t) y volumen minuto. El V_t es la cantidad de aire que se moviliza en cada ciclo respiratorio. Su valor suele situarse entre 10 y 15 mL/kg de peso corporal ideal en condiciones normales, aunque en VM torácica se tiende a reducirlo para evitar complicaciones asociadas al exceso de presión y/o de volumen, lo que conocemos tradicionalmente como barotrauma y volutrauma. El volumen minuto (V_m), es el resultado del producto entre el V_t y la frecuencia respiratoria (FR) y determina la ventilación total por minuto, lo cual es esencial para mantener la normocapnia ($\text{PaCO}_2 = 35\text{-}45$ mmHg).

Las presiones involucradas en la mecánica ventilatoria incluyen:

- Presión alveolar (Palv): presión dentro de los alvéolos.
- Presión de la vía aérea (Paw): la presión en cualquier punto del circuito respiratorio que genera el flujo de gas.
- Presión pleural (Ppl): presión dentro del espacio pleural, normalmente negativa.
- Presión transpulmonar: diferencia entre Palv y Ppl ; refleja el gradiente que distiende el parénquima pulmonar.

El espacio muerto representa la fracción del aire inspirado que no participa en el intercambio gaseoso y puede clasificarse en:

- Anatómico: vías aéreas de conducción.
- Alveolar: alvéolos ventilados, pero no perfundidos.
- Del equipamiento: volumen añadido por el sistema de ventilación.

Un aumento del espacio muerto, particularmente el alveolar, puede comprometer la eficacia ventilatoria y aumentar la PaCO_2 .

Distensibilidad o compliancia (*compliance*) es la capacidad del pulmón para expandirse ante un cambio de presión. Durante la cirugía torácica disminuirá por la reducción en el volumen para proporcionar espacio a la cirugía, ya sea por un abordaje abierto o por toracoscopia. La resistencia se refiere a la oposición al flujo aéreo, y puede estar incrementada en patologías obstructivas o por factores mecánicos como secreciones o tubos endotraqueales de pequeño calibre.

Un concepto muy importante es el desequilibrio entre la ventilación y la perfusión (*V/Q mismatch*) que se genera normalmente bajo anestesia general, pero que puede incrementarse considerablemente durante la cirugía torácica y, especialmente, durante la ventilación unipulmonar. Las áreas bien perfundidas, pero mal ventiladas contribuyen al *shunt*, mientras que zonas bien ventiladas, pero mal perfundidas, aumentan el espacio muerto, afectando tanto la oxigenación como la eliminación de CO_2 .

La capacidad residual funcional (CRF) representa el volumen de aire presente en los pulmones al final de una espiración pasiva y reúne varias funciones:

- Es el punto de partida del ciclo tidal.
- Actúa como reservorio de oxígeno durante la apnea.
- Previene el colapso alveolar.



gta

XXIV Congreso de Especialidades Veterinarias
ZARAGOZA - 25-26 abril 2025

- En condiciones de CRF óptima, la compliancia es máxima y la resistencia vascular pulmonar mínima.

Una reducción de la CRF por debajo de la capacidad de cierre puede provocar colapso alveolar, aumento del shunt y, en consecuencia, hipoxemia.

Ventilación espontánea y necesidad de VM

Durante la ventilación espontánea, los pulmones se inflan por la generación de una presión negativa en la cavidad pleural, resultado del retroceso elástico de la pared torácica. Al abrir el tórax, se pierde esta presión pleural negativa y la presión de retroceso hacia el exterior, lo que aumenta el trabajo respiratorio y hace ineficaz la ventilación espontánea. Este fenómeno justifica la instauración de VM al abrir la cavidad torácica. Además, la ausencia de presión positiva al final de la espiración (PEEP), tras la apertura torácica disminuye la PaO_2 , debido al *shunt* y la reducción de la CRF, siendo más marcado en pacientes con enfermedad pulmonar de base.

Modalidades de ventilación mecánica

En cirugía torácica, los dos modos de VM pueden aportar diferentes características:

- Ventilación controlada por presión: permite aumentar la compliancia del sistema respiratorio ya que ajusta la presión a la programada por el anestesista, reduciendo el V_t según las necesidades de cada momento (extirpación de lóbulo pulmonar, reducción del volumen disponible por colocación del equipo quirúrgico, etc.).
- Ventilación controlada por volumen: garantiza la entrega de un V_t constante, lo que puede ser útil para mantener parámetros estables; sin embargo, puede generar presiones elevadas en las situaciones comentadas anteriormente si no se reduce el V_t programado.

Dos procesos fisiopatológicos relevantes son el *shunt* y la vasoconstricción pulmonar hipóxica. Tanto el *shunt* como la alteración V/Q son efectos colaterales comunes de la ventilación unipulmonar. Normalmente, como mecanismo compensador, se activa la vasoconstricción pulmonar hipóxica (VPH), redirigiendo el flujo sanguíneo hacia zonas mejor oxigenadas. No obstante, esta respuesta puede estar atenuada por factores como:

- Patología pulmonar preexistente.
- Sepsis.
- Hipocapnia.
- Hipotermia.
- Posición de Trendelenburg.
- Administración de vasodilatadores.
- Anestésicos inhalatorios a dosis superiores a una CAM.

Antes de iniciar una toracotomía o toracoscopia, es esencial disponer del equipamiento adecuado y realizar una evaluación cuidadosa. En algunos pacientes se puede mantener la ventilación espontánea hasta el momento de la apertura torácica. No obstante, una vez abierta la cavidad, se impone el uso de VM, ya sea en modalidad de ventilación bipulmonar o unipulmonar, según las exigencias quirúrgicas. Cabe destacar que el pulmón derecho es aproximadamente 1,5 veces mayor que el izquierdo y recibe cerca del 60% del flujo sanguíneo pulmonar, lo que condiciona la distribución de la ventilación y la perfusión.

La VM produce una serie de efectos fisiológicos para tener en cuenta:

Efectos hemodinámicos adversos:

- Disminución del gasto cardíaco (GC) por reducción del retorno venoso ($\downarrow$ precarga).
- Aumento de la poscarga del ventrículo derecho por elevación de las resistencias intrapulmonares.
- Reducción de la perfusión pulmonar y de la precarga del ventrículo izquierdo.

Estos cambios son más marcados en pacientes con compromiso cardiovascular previo, por lo que la monitorización avanzada (presión arterial invasiva) está especialmente indicada.

En cuanto a los efectos sobre el propio sistema respiratorio, la VM puede provocar lesión por el empleo de una presión transpulmonar elevada (tensión), por el exceso de volumen con respecto a la CRF (deformación) y/o por el exceso de energía suministrada al sistema respiratorio. Estos efectos pueden producir el concepto conocido como VILI, por sus siglas en inglés *Ventilator-Induced Lung Injury* o daño pulmonar inducido por ventilación. A la larga, la VM prolongada o inadecuadamente ajustada puede provocar una reacción inflamatoria con daño alveolar difuso, activación de respuestas inflamatorias (celular, humoral, bioquímica, genética) y la liberación de citocinas proinflamatorias. Las estrategias de



gta

XXIV Congreso de Especialidades Veterinarias
ZARAGOZA - 25-26 abril 2025

protección pulmonar, como el uso de Vt bajos y PEEP adecuados, son fundamentales para minimizar este riesgo.

Técnicas de ventilación unipulmonar

Durante procedimientos que requieren el colapso de un pulmón, se pueden emplear diversas técnicas. Una limitación importante en veterinaria es la ausencia de material especialmente diseñado para los animales. Por lo tanto, en muchas ocasiones, la estrategia habitual es la intubación selectiva del bronquio del pulmón a colapsar, empleando tubos endotraqueales (TET) convencionales con la ayuda de técnicas de imagen.

Tubos endotraqueales de doble luz (DLT): consisten en dos tubos unidos con distintos tamaños y longitudes, permitiendo ventilar un solo pulmón, el otro o ambos. Permiten un cambio rápido entre modalidades de ventilación sin recolocar el tubo. No obstante, tienen limitaciones de tamaño, normalmente válidos solo para perros entre 5 y 20 kg y riesgo de desplazamiento con los movimientos del paciente. Los tipos más habituales son el Robertshaw y el Carlens (con un gancho para fijar en la carina) para la ventilación selectiva del bronquio izquierdo, y el White para el derecho, que también dispone de un pequeño gancho para la carina.

Bloqueadores bronquiales: son dispositivos con un balón distal que ocluye el bronquio correspondiente, permitiendo la ventilación selectiva. Están diseñados para los humanos y, por tanto, tienen ventajas en situaciones anatómicas difíciles y en pediatría, pero no tanto para veterinaria. Pueden colocarse a través de un TET convencional y permiten la oxigenación del pulmón colapsado. Su colocación precisa requiere de fibrobroncoscopia y su manipulación puede ser compleja. Hay muchos tipos de bloqueadores, algunos de los más conocidos son: el *Univent*, con un TET con la luz en forma de "D" y con un bloqueador por un paso diferente; el *Arndt*, con un pequeño gancho que permite su colocación con el fibroendoscopio; el *EZ blocker*, con forma de "V" y que se sitúa en la carina con dos balones; o el *Cohen* que dispone de una pequeña rueda en la parte proximal de manera que se desvía la punta del bloqueador hacia donde se requiera. En veterinaria, no existen unas guías establecidas para la utilización de estos dispositivos y la mayoría de los reportes de su uso en animales es la publicación de casos clínicos.

Consideraciones específicas según el procedimiento

Esternotomía media: requiere una planificación anestésica cuidadosa por la intensa nocicepción. En determinados momentos, se interrumpe brevemente la VM durante la apertura esternal para evitar la lesión en el pulmón.

Toracoscopia: para el abordaje lateral se realiza ventilación unipulmonar, frecuentemente sin neumotórax artificial, mediante intubación selectiva. El uso de CO₂ puede agravar los efectos adversos hemodinámicos. No obstante, en abordajes subxifoideos, se suele emplear ventilación bipulmonar.

Algunas recomendaciones generales para la VM en cirugía torácica se enumeran a continuación:

- Evitar el colapso alveolar mediante maniobras de reclutamiento (importante evitarlo cuando hay colapso crónico).
- Uso de PEEP individualizada.
- Ventilación con Vt conservadores (< 10 mL/kg).
- Aceptar una leve hipercapnia (hipercapnia permisiva).
- Evitar la VM en situaciones de taponamiento o derrame pericárdico.
- Realizar análisis de gases arteriales de forma periódica.
- Mantener la FiO₂ lo más baja posible para evitar toxicidad por oxígeno, sin comprometer la saturación.
- En ventilación unipulmonar, mantener buena oxigenación durante la ventilación bipulmonar y considerar la aplicación de CPAP al pulmón colapsado o flujo continuo a través del bloqueador, cuando se inicie la unipulmonar. Este procedimiento es difícil en veterinaria por la ausencia del equipamiento necesario en muchas ocasiones.

Conclusiones

La ventilación mecánica en cirugía torácica requiere una comprensión profunda de la fisiología pulmonar y cardiovascular, así como una aplicación precisa de técnicas y estrategias que aseguren un entorno quirúrgico adecuado sin comprometer la función respiratoria del paciente. La elección entre ventilación uni o bipulmonar, el uso de DLT o bloqueadores, y la programación individualizada de los parámetros ventilatorios son decisiones críticas que deben tomarse en función de la anatomía, la patología subyacente y el tipo de intervención quirúrgica. Finalmente, el conocimiento de los riesgos y



gta

XXIV Congreso de Especialidades Veterinarias
ZARAGOZA - 25-26 abril 2025

complicaciones asociados con la VM, así como su monitorización avanzada, permite al anestesta optimizar los resultados clínicos en este contexto tan exigente.

Bibliografía

Petersson J, Glenny RW. Gas exchange and ventilation-perfusion relationships in the lung. *Eur Respir J*. 2014;44(4):1023-41.

Rodrigues RR, Ambrósio AM, Engbruch AM, Gonçalves LA, Villela PA, Sanchez AF, Fantoni DT. Intraoperative Protective Mechanical Ventilation in Dogs: A Randomized Clinical Trial. *Front Vet Sci*. 2022;9:842613.

Kudnig ST, Monnet E, Riquelme M, Gaynor JS, Corliss D, Salman MD. Effect of positive end-expiratory pressure on oxygen delivery during 1-lung ventilation for thoracoscopy in normal dogs. *Vet Surg*. 2006;35(6):534-42.

Verdier N, Mattaliano G, Degasperis B, Mosing M. Fluoroscopy-assisted endobronchial intubation in a cat undergoing thoracoscopy. *Vet Anaesth Analg*. 2025;3:S1467-2987(25)00010-8.