



Colombian Journal of Anesthesiology

Revista Colombiana de Anestesiología

www.revcolanest.com.co

OPEN

 Wolters Kluwer

¿Cómo ventilar al niño anestesiado con las máquinas de anestesia modernas?

How to ventilate the anesthetized child with the modern anesthesia machines?

Palabras clave: Ventilación, Anestesia, Pediatría, Niños, Respiración Artificial

Keywords: Ventilation, Anesthesia, Pediatrics, Child, Respiration, Artificial

Daniel Rivera-Tocancipá^a, Elizabeth Díaz-Sánchez^b

^a Servicio de Anestesiología, Hospital Universitario Hernando Moncaleano Perdomo, Universidad Surcolombiana, Neiva, Colombia

^b Servicio de Anestesiología, Clínica EMCOSALUD, Neiva, Colombia.

Resumen

Cómo sacar lo mejor de las nuevas máquinas y poner su tecnología al servicio de los niños es el objetivo central de este artículo de reflexión. Para este efecto se definirá a qué llamamos “Máquinas de Anestesia Modernas”, sus principales bondades, los conceptos básicos de ventilación mecánica en el niño anestesiado con las principales estrategias ventilatorias y por último, cómo aprovechar la monitoría gráfica que nos ofrecen estas nuevas máquinas.

Abstract

The principal goal of this article is to determine how to get the best out of the new machines and place their technology at the service of children. With this in mind, we will give a definition for “Modern Anesthesia Machines”, their main benefits, the basic concepts regarding mechanical ventilation of the anesthetized child using the major ventilation strategies, and lastly, how to make the best use of graphic monitoring offered by these machines.

Introducción y objetivos

Es frecuente que las instituciones de salud hayan renovado sus máquinas y monitores de anestesia al menos en el último lustro y que el anestesiólogo general ocasionalmente se vea enfrentado a anestesiarse un paciente pediátrico con estas máquinas. Igualmente hay diferentes tipos de circuitos anestésicos en cuanto a tamaño y longitud de acuerdo a cada paciente. Este artículo de reflexión se desarrolla pensando en aquellos anestesiólogos cuyo trabajo con niños es esporádico, de tal manera que podamos disminuir el estrés de sincronizar adecuadamente las máquinas de anestesia con el niño, brindándole herramientas de seguridad y calidad en la ventilación mecánica para mejorar las posibilidades de éxito. Para este efecto se definirá a qué llamamos “Máquinas de Anestesia Modernas”, sus principales bondades, los conceptos básicos de ventilación mecánica en el niño anestesiado describiendo las principales estrategias ventilatorias y por último, cómo aprovechar la monitoría gráfica que nos ofrecen estas nuevas

Cómo citar este artículo: Rivera-Tocancipá D, Díaz-Sánchez E. ¿Cómo ventilar al niño anestesiado con las máquinas de anestesia modernas?. Rev Colomb Anesthesiol. 2018;46:63-70.

Read the English version of this article at: <http://links.lww.com/RCA/A113>.

Copyright © 2018 Sociedad Colombiana de Anestesiología y Reanimación (S.C.A.R.E.). Published by Wolters Kluwer. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Correspondencia: Calle 8 # 81-02, Neiva, Colombia. Correo electrónico: riverato@hotmail.com

Rev Colomb Anesthesiol (2018) 46:Sup

<http://dx.doi.org/10.1097/CJ9.0000000000000047>

máquinas. Así, al final del artículo podremos respondernos el interrogante ¿Cómo sacar lo mejor de las nuevas máquinas de anestesia y poner su tecnología al servicio de los niños?

Las máquinas de anestesia modernas

Hemos denominado así de manera arbitraria y por conveniencia, a aquellas máquinas de anestesia que cuentan con 3 características: realizan un autochequeo previo, tienen modos ventilatorios diferentes al típico controlado por presión o por volumen y cuentan con curvas de monitoría de la mecánica ventilatoria.

Autochequeo de las máquinas de anestesia

Las máquinas de anestesia deben ser calibradas antes de su uso por dos razones: La primera es que ella realiza una prueba del correcto funcionamiento de sus sensores y dispositivos internos y la segunda es que evalúa el circuito anestésico que se va a utilizar midiendo su distensibilidad, realizando test de fugas y calculando el volumen interno. Ambos procesos buscan garantizar de manera fidedigna un volumen corriente (V_t) que puede ser suficientemente pequeño (hasta 5 ml de V_t en algunas marcas y hasta 20 ml en la mayoría) y que el porcentaje de agente anestésico inhalado entregado sea preciso y varíe lo menos posible con cambios en el flujo de gases frescos (FGF), permitiendo entonces volúmenes pequeños y flujos bajos o incluso metabólicos (menores a 1L/min). Estas 2 características hicieron que durante muchos años el modo ventilatorio preferido en pediatría fuera el controlado por presión, que además compensaba pequeñas fugas del circuito, además la variabilidad del agente anestésico con cambios en el FGF obligó durante muchos años a no usar flujos metabólicos ni bajos en la población pediátrica. Ambas cosas son hoy confiablemente posibles: bajo V_t y bajo FGF.^{1,2}

Distensibilidad

Se denomina distensibilidad al cambio de volumen con el cambio de presión. A nivel de los circuitos anestésicos esta se determina por la capacidad para distenderse que tenga la pared del circuito utilizado y por otro lado a la compresión de las moléculas de aire que ocurra dentro del circuito al momento de presurizarlo, pues estas moléculas primero se comprimen y luego generan presión sobre las paredes. Así un circuito pequeño, corto y rígido tendrá mayor distensibilidad a una más amplia, blanda y larga. Se busca que la distensibilidad del circuito sea cercana a la distensibilidad pulmonar del paciente pues algunas máquinas además realizan un ajuste “dinámico” durante cada ciclo respiratorio, detectando cambios bruscos de la distensibilidad para corregirlos, de tal manera que una gran diferencia entre la distensibilidad del circuito y del paciente dificulta o “engaña” los sensores

de la máquina para cumplir esta función. Con esta información la máquina compensa el volumen de aire “perdido” en la distensibilidad del circuito para que así llegue al paciente de manera fidedigna el volumen programado.^{1,2}

Test de fugas

Las máquinas suelen tolerar y compensar fugas menores a 250ml/minuto. Es importante al calibrarlas determinar con el fabricante si la salida de capnografía debe o no estar instalada, pues ella succiona alrededor de 150 ml de aire por minuto que en algunos modelos son devueltos al circuito respiratorio pero en otros salen del mismo y deben ser compensados. Este detalle es fundamental en pacientes menores de 20 Kg, pues esta fuga no compensada puede ser un porcentaje importante del V_t .

Volumen interno

Este volumen hace referencia a toda la cantidad de aire que maneja la máquina de anestesia hasta la “Y” del circuito, es decir el volumen del circuito mismo, del canister, de la bolsa reservorio, de los circuitos internos y del ventilador mecánico. Este volumen oscila entre 4 y 8 litros y por supuesto varía según la bolsa reservorio utilizada (ejemplo 3 litros a 0,5 litros), el sistema del ventilador (pistón o serpentina, adulto o pediátrico) y el circuito mismo de anestesia. La importancia de este volumen es que la máquina debe saturarlo de agente anestésico para entregarlo de una manera confiable y precisa al paciente. El tiempo de saturación de este volumen interno es denominado constante “K” de tiempo. A mayor volumen interno, toma más tiempo en que cambios en el dial del vaporizador se reflejen realmente en la vía aérea del paciente. Por eso es importante en el chequeo que la máquina calcule este volumen y ajuste con sus sensores la entrega de agente anestésico. Además, ganando precisión y confiabilidad en los dos aspectos anteriores terminamos ajustando una ventilación mecánica con parámetros adecuados.

Ventilación mecánica en el niño anesthesiado

Las diferencias y aspectos fisiológicos más importantes a tener en cuenta al momento de ventilar un niño son:

Distensibilidad: el parénquima pulmonar del niño tiene una baja distensibilidad que va aumentando con la edad. La pared torácica es muy distensible debido principalmente al carácter cartilaginoso horizontal de las costillas y a la poca masa muscular del niño. Esto se traduce en la necesidad de una adecuada presión para abrir los alveolos (distensibilidad pulmonar baja) con un riesgo de volutrauma y barotrauma por la poca resistencia que luego ofrece la pared torácica por su alta distensibilidad.^{3,4}

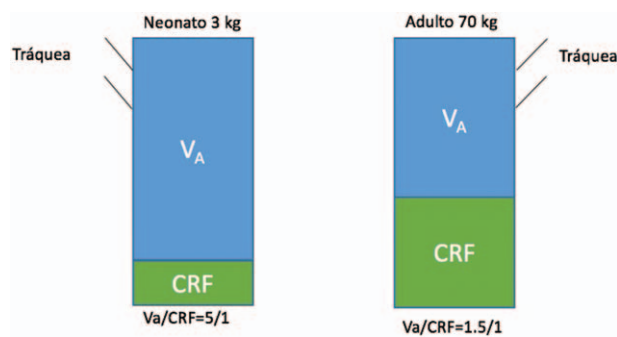


Figura 1. Capacidad Residual Funcional. CRF=capacidad residual funcional; V_A =ventilación alveolar; V_a/CRF =ventilación alveolar / capacidad residual funcional. Fuente: autores.

Resistencia en la vía aérea: los recién nacidos tienen una resistencia muy elevada en la vía aérea, que va disminuyendo hasta alcanzar el valor de los adultos sobre los 8 años. La inserción de un tubo endotraqueal de pequeño diámetro aumenta aún más esta resistencia.⁴

Capacidad Residual Funcional (CRF): está conformada por el volumen de reserva espiratorio más el volumen residual, en el niño es proporcionalmente menor respecto al adulto y a la capacidad pulmonar total. Es la única reserva de oxígeno ante la apnea, de tal manera que el niño queda francamente vulnerable por tener esta reserva disminuida (Figura 1).⁴

Volumen de cierre: es el mínimo volumen que debe quedar dentro de los alvéolos para que estos no colapsen y en el niño este es proporcionalmente mayor al adulto, es decir debe quedar mayor cantidad de aire en los pulmones para que no colapsen, de tal manera que este volumen en adultos se ubica cerca al volumen residual y en el niño cerca al V_t (Figura 2) teniendo una marcada tendencia a la atelectasia.⁴

Ventilación Mecánica: increíblemente a pesar de ventilar todos los días niños bajo anestesia, la literatura existente es pobre, con poca evidencia, de tal manera que la mayoría de las directrices para ventilar el niño bajo anestesia son derivadas de adultos o de niños críticos ventilados en la

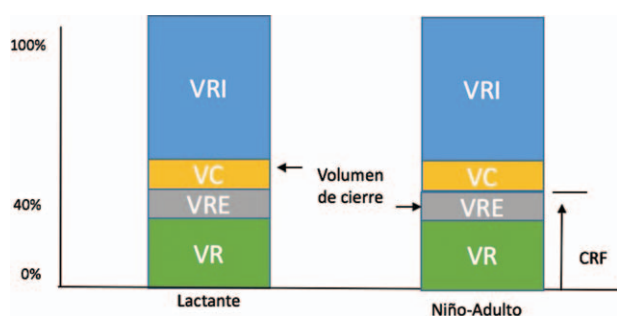


Figura 2. Volumen de cierre. CRF=capacidad residual funcional; VC=volumen corriente; VR=volumen residual; VRE=volumen reserva espiratoria; VRI=volumen reserva inspiratoria. Fuente: autores.

unidad de cuidado intensivo (UCI),^{1-3,5-7} sin duda pacientes de características muy diferentes a los de anestesia que usualmente se presentan con pulmones sanos.⁴ Es así como los principales parámetros derivan de la "Ventilación de Protección Pulmonar" (VPP) que se basa en 3 aspectos, aplicados a cualquiera de los modos ventilatorios escogidos:

- Volumen corriente bajo:** suficientes estudios han demostrado que un V_t alto (mayor de 10 ml/Kg) lleva a mayor daño pulmonar al igual que un V_t extremadamente bajo (menor a 4 ml/Kg), de tal manera que la recomendación es de 6 a 10 ml/Kg.^{1-4,8-11}
- Presión positiva la final de la espiración (PEEP):** es el parámetro que tiene mayor consenso; es indispensable para ayudar a mantener el alveolo abierto. Al menos debe programarse el PEEP fisiológico que oscila entre 5 y 8 cmH₂O. Valores mayores serían necesarios para mejorar la oxigenación o cuando el niño llega de UCI en ventilación mecánica con parámetros altos. A partir del primer año de vida aproximadamente el 40-50% de la presión positiva en la vía aérea se traduce en presión positiva intrapleural con los efectos sobre el gradiente de presión sobre las venas extratorácicas y la presión en la aurícula derecha, de tal manera que la recomendación es mantener una adecuada expansión del volumen circulante efectivo. Debe recordarse que el PEEP está contraindicado en pacientes con hipertensión endocraneana, hipovolémicos, con severo compromiso cardiovascular y ante la presencia de fistula broncopulmonar de alto flujo y en este último caso se busca disminuir lo más rápido posible la ventilación mecánica porque se ha demostrado que al reducir la presión en la vía aérea se disminuye el flujo de escape aéreo favoreciendo el cierre de la fístula.^{1,2,4,9-11} En cuanto a la presión intracraneana (PIC) lo importante es preservar una adecuada presión de perfusión cerebral (PPC) que en lactantes es de 40-50 mmHg, 50 a 60 mmHg en niños y mayor a 60 mmHg en adolescentes. Como usualmente no medimos la PIC en estos pacientes, se toma la presión venosa central (PVC) como una medida indirecta de la PIC, de tal manera que el cálculo de la PPC sería igual a la Presión arterial media (PAM) - PVC.
- Reclutamiento alveolar:** durante anestesia hay dos eventos que predisponen altamente a la aparición de atelectasia: la FiO_2 elevada y la desconexión del circuito anestésico para succión de la vía aérea o por cualquier otro suceso.³ Se hace tan importante considerar y controlar estos 2 aspectos como tener presente el reclutamiento alveolar para "abrir" alvéolos que se han colapsado durante la ventilación mecánica. El reclutamiento alveolar consiste en mantener una presión pico de la vía aérea (PPVA) sostenida durante un periodo de tiempo. Usualmente llevamos la PPVA de 35 a 40 cmH₂O por 20 a 40 segundos. De este reclutamiento básico hay diferentes variables con múltiples

ventajas que no son objeto de este artículo, pero quizás la más útil sería aumentar la PPVA paso a paso manteniendo el *drive de presión* (diferencia entre PPVA y PEEP) entre 15 y 20 cmH₂O midiendo la distensibilidad que debe ir aumentando en cada paso hasta cuando esta no aumente más o caiga, en este momento se considera el reclutamiento óptimo, siempre y cuando no exista previamente un deterioro hemodinámico del paciente, caso en el cual se suspende la maniobra de reclutamiento alveolar.^{2,9-11} Esta maniobra de reclutamiento es muy útil en cuidado intensivo con ventilación mecánica prolongada y usualmente no suele ser necesaria en salas de cirugía a no ser que el procedimiento sea de varias horas de duración o ante la presencia de hipoxemia, teniendo en cuenta la posibilidad de generar inestabilidad hemodinámica.

Principales modos ventilatorios utilizados en anestesia pediátrica

Ventilación controlada por presión (VCP)

Es el modo ventilatorio más usado en anestesia pediátrica. Básicamente el ventilador suministra un flujo de aire hasta alcanzar una determinada presión programada previamente. En este caso se obtiene una curva de Presión-Tiempo cuadrada y una curva de Flujo-Tiempo desacelerada o en aleta de tiburón. Su ventaja radica en limitar la posibilidad de barotrauma al limitar la presión inspiratoria pico (PIP), en compensar pequeñas fugas debido a que maneja PIP y no volumen y por último en el flujo desacelerado que permite llegar a más alveolos distales al disminuir el flujo turbulento. Su principal desventaja es que no se puede determinar un Vt preciso (básico en los parámetros actuales de VPP) ya que este varía ciclo a ciclo según la PIP que es determinada principalmente por la distensibilidad pulmonar pero también por factores tan variables como la presión que haga el cirujano sobre el tórax del paciente u obstrucciones parciales del tubo endotraqueal entre otros.^{1-4,6}

Ventilación controlada por volumen (VCV)

Este modo ventilatorio es frecuentemente usado en anestesia pediátrica pero en su modalidad “sincronizada” (SIMV) y con “Presión soporte” (PS). En su modalidad primaria, se asegura en la programación un Vt a suministrar por la máquina de anestesia lo cual constituye su ventaja, pues recordemos que uno de los tres ejes de la VPP es garantizar un Vt bajo. Sus desventajas radican en que este Vt se entrega sin importar la PIP aumentando el riesgo de barotrauma y además puede perderse por fugas del tubo endotraqueal (ejemplo cuando no se usa neumotaponador). Cuando se ventila con VCV se obtiene una curva Flujo-Tiempo cuadrada y en la curva Presión-Tiempo una gráfica en aleta de tiburón con una meseta (si

tenemos pausa inspiratoria programada) que permite determinar la presión meseta o plateau (P_{plat}), importante en el análisis de la mecánica ventilatoria.^{1-4,6}

Presión soporte

La PS implica un flujo durante toda la fase inspiratoria a una presión determinada previamente pero la inspiración es iniciada por el paciente, de tal manera que la condición primordial para su aplicación como modo ventilatorio único es que el paciente tenga estímulo ventilatorio. Alivia el trabajo ventilatorio del paciente y es el mejor modo para sincronizar paciente-ventilador. Además la PS es un modo que puede o en nuestro criterio *debe* acompañar los otros modos ventilatorios para permitir asistir y aliviar el trabajo respiratorio durante las ventilaciones espontáneas. Es el modo ideal para el proceso de destete ventilatorio. A mayor PS se aumenta el Vt y se disminuye la necesidad de mayor frecuencia respiratoria por parte del paciente y a menor PS pasa lo inverso. El nivel mínimo de PS se considera 8 cmH₂O para así vencer las resistencias que imponen las válvulas unidireccionales de la máquina de anestesia, el tubo endotraqueal y las magueras de los circuitos anestésicos. El valor más alto recomendado es de 20 cmH₂O.^{2,6}

Ventilación mandatoria intermitente sincronizada (SIMV)

En este modo ventilatorio se busca mejorar la interacción paciente-ventilador permitiéndole al paciente realizar sus ventilaciones espontáneas, es decir una vez el ventilador detecta esfuerzo inspiratorio se inhibe de dar su ciclo respiratorio y permite que el paciente lo realice. En este momento cobra importancia la PS para asistir de manera adecuada esos estímulos respiratorios espontáneos. La SIMV puede ser adaptada tanto al modo presión como al modo volumen: SIMV-CP o SIMV-CV. El anestesiólogo determina el “flujo trigger” que es aquel flujo o presión inspiratoria necesaria por parte del paciente para que el ventilador permita y asista la ventilación espontánea. Una mala programación del ventilador en este modo colocaría al niño en riesgo de hipoventilación e hipercapnia.³ Aunque el SIMV se sigue empleando ampliamente, cada vez se opta más por otros modos ventilatorios para disminuir el riesgo de asincronía como el bilevel, y la ventilación con soporte adaptativo, pero se requiere experticia y entrenamiento específico de tal manera que son métodos principalmente de uso en cuidado intensivo.

Ventilación dual

De las diferentes alternativas ventilatorias no hay evidencia que una sea francamente superior a otra. Cada modo tiene sus ventajas y desventajas y deben adaptarse a cada situación. Sin embargo pareciera razonable que un modo ventilatorio que adopte lo mejor del modo Presión y

modo Volumen sería el adecuado, es decir que me garantice un V_t preciso ciclo a ciclo con una presión máxima limitada. Este modo existe y se llama modo dual en términos genéricos pero cada marca de máquina anestésica suele llamarlo de forma propia, el nombre más común es *Ventilación Controlada por Presión con Volumen Garantizado* (VCP-VG). De esta manera no importan los cambios en distensibilidad o PIP del niño, la máquina realizará los ajustes para garantizar la distribución de un V_t y por ende de un volumen minuto dentro de los límites de presión programados. Si no se alcanzan estos niveles aún con la compensación de la máquina de anestesia, esta avisa por los diferentes dispositivos de alarma. Es un modo ampliamente favorable para situaciones donde ocurran cambios frecuentes y amplios de la presión en la vía aérea como es el caso de los procedimientos laparoscópicos y toracoscópicos.^{2,9} Hoy en día algunas máquinas de anestesia incorporan modos ventilatorios que eran propios del cuidado intensivo como por ejemplo el APRV (Airway pressure release ventilation) pero no hay evidencia conclusiva en niños sobre su utilidad en anestesia y su uso rutinario exigiría un entrenamiento especial para el anestesiólogo general.

¿Cuál sería la sugerencia final?

Siendo razonable con lo encontrado en la literatura y en la práctica diaria se sugiere que una vez garantizada la vía aérea se realice una ventilación manual para confirmar la correcta colocación de los dispositivos y la ventilación adecuada de los campos pulmonares. Posteriormente, si el paciente está con relajante neuromuscular quizás la mejor recomendación sería programar el modo dual (VCP-VG). Si no hay uso de relajación neuromuscular, como quizás sean la mayoría de los casos de anestesia pediátrica, quizás el modo más adecuado sería SIMV en su modo Volumen o Presión siempre acompañado de PS: SIMV+PS. Sobre el final de la cirugía cuando se inicia el proceso de destete ventilatorio y garantizando que no existe efecto de los relajantes neuromusculares, se espera que el paciente

obtenga un adecuado patrón respiratorio para pasarlo a modo PS con nivel de $8\text{ cmH}_2\text{O}$ y flujo trigger en aumento a medida que el paciente va recuperando estado de conciencia y fuerza muscular, para que finalmente según el estado de conciencia y la mecánica respiratoria decidamos el retiro del dispositivo de vía aérea. Dentro de la mecánica respiratoria previo retiro de la ventilación mecánica debemos observar que el niño alcance un V_t de al menos 6 ml/Kg , una frecuencia respiratoria acorde a la edad, un etCO_2 menor de 40 mmHg y esto con un flujo trigger de al menos 1.0 para menores de 1 año y de 2.0 para niños mayores (Figura 3).

Monitoría ventilatoria en las máquinas modernas: Curvas

Una de las principales características de las máquinas de anestesia modernas es la amplia información que nos suministran sobre la mecánica ventilatoria ciclo a ciclo y en nuestro concepto es la característica más desaprovechada por los anestesiólogos. En especial nos referiremos a 4 gráficas:

a. *Espirometría*: existen tres tipos de curvas tipo bucle (inician y terminan en un mismo sitio) según lo que estemos monitorizando.

Bucle Flujo-Volumen y bucle Flujo-Presión: son quizás los menos utilizados por los anestesiólogos y la forma de sus ondas da una idea de las resistencias en las pequeñas vías aéreas o restricciones al flujo de aire así como de obstrucciones altas o bajas de la vía aérea, todo esto con una sola mirada. Nos detendremos en el tercer tipo de bucle que da una información quizás más útil para la ventilación del paciente.^{2,4}

Bucle Presión-Volumen: este bucle es el más usado por anestesiólogos y permite graficar en el eje de las "X" la presión y en el eje de las "Y" el volumen. Permite en una visualización inferir la distensibilidad pulmonar ciclo a ciclo y sus cambios. Cuando la curva se aplanan o se acuesta es indicativo de una disminución de la distensibilidad pulmonar (Figura 4). Las máquinas permiten guardar desde el inicio un bucle "referencia" y comparar contra él lo que transcurre durante la cirugía. Además se puede determinar el punto de inflexión inferior que es aquel en donde la pendiente de la gráfica hace el cambio de plana a ascendente durante la inspiración y es tomada como una de las maneras para determinar el PEEP ideal. También podemos determinar al final de esta curva si se produce o no un "pico de pato" hacia derecha indicativo de una sobredistensión alveolar que debe ser corregida inmediatamente ajustando los parámetros de V_t y/o de PIP según el modo ventilatorio. La curva descendente espiratoria hace un recorrido diferente a la ascendente y a este fenómeno se le llama histéresis y es ocasionado por fuerzas diferentes que actúan durante la inspiración y

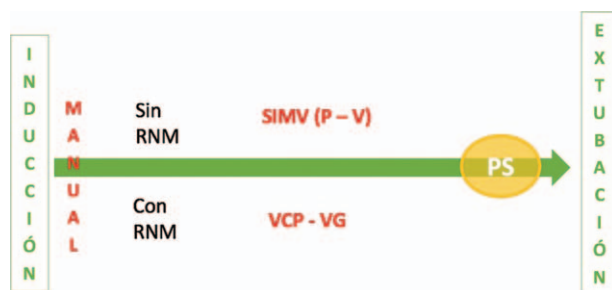


Figura 3. Modos ventilatorios sugeridos en niños. PS=presión soporte; RNM=relajante neuromuscular; SIMV (P-V)=ventilación mandatoria intermitente sincrónica (controlado por presión - controlado por volumen); VCP-VG=ventilación controlada por presión con volumen garantizado.

Fuente: autores.

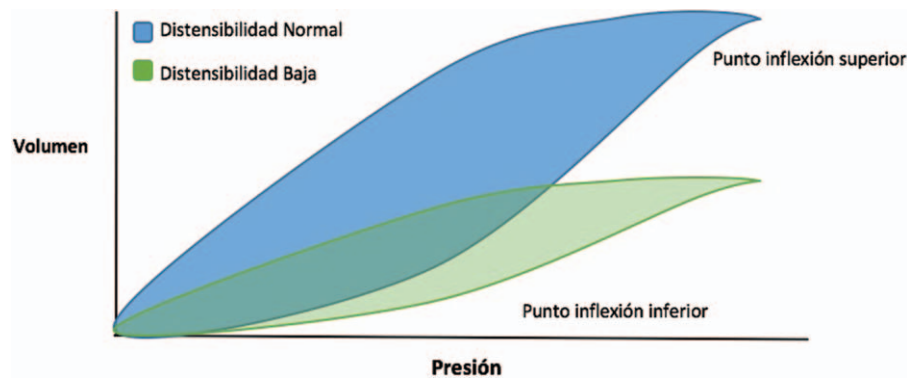


Figura 4. Bucle Presión-Volumen.
Fuente: autores.

espiración pues esta última es dominada por un proceso pasivo de retroceso elástico pulmonar. El área del bucle refleja el volumen pulmonar que se está manejando. Por todos estos detalles el bucle Presión-Volumen suele ser el favorito para la monitoría ventilatoria, pues la mayoría de las máquinas muestran en pantalla sólo uno de los 3 bucles mencionados.^{2,4}

- b. **Curva Presión-Tiempo:** en esta curva se grafica sobre el eje “Y” la presión contra el tiempo en el eje “X”. Ante un modo presión se obtiene una onda cuadrada cuya meseta máxima obedece a la presión pico máxima y el nivel inferior corresponde al valor de PEEP. La mayor información de la mecánica pulmonar la podemos obtener del modo controlado por volumen aplicando algún grado de pausa inspiratoria y de esa manera obtendremos una gráfica tipo aleta de tiburón donde podremos observar 3 puntos y dos intervalos con su significancia específica. El punto máximo de presión corresponde a la PIP que conjuga la resistencia pulmonar más la resistencia de la vía aérea impuesta básicamente por el tubo endotraqueal. Posteriormente hay un descenso de la curva para formar una meseta tan prolongada según como programemos la pausa inspiratoria; esta meseta corresponde a la P_{plat} que es la presión de equilibrio de todos los alvéolos y refleja por ello la presión intrapulmonar. El tercer punto corre-

sponde al nivel inferior donde cae la curva que coincide con el nivel de PEEP que hayamos programado o que esté realizando el paciente y que debemos ajustar según las necesidades de cada paciente (Figura 5). Entre estos 3 puntos hay dos intervalos. Entre la PIP y P_{plat} se determina la resistencia causada por la vía aérea y en este caso por el tubo endotraqueal. Este valor debe oscilar alrededor de 5 cmH₂O sin pasar de 8 a 10 cmH₂O. Si se supera este valor es indudable que tenemos un problema de alta resistencia por el tubo endotraqueal, por ejemplo un acodamiento del tubo, obstrucción parcial por secreciones o un tubo muy pequeño para el tamaño del niño, entre otras causas. Una PIP alta con un intervalo de resistencia normal implica una P_{plat} alta y esto obedece a cambios en la distensibilidad pulmonar. El segundo intervalo es el llamado “drive de presión” y obedece al que existe entre el PEEP y la P_{plat} . Este no debe exceder los 14 cmH₂O e idealmente debe mantenerse en un valor menor de 10 cmH₂O. Una alta diferencia implica la necesidad de una gran presión y volumen para abrir y mantener abiertos los alvéolos y obligaría a ajustar los parámetros ventilatorios, por ejemplo a elevar el valor de PEEP. Tanto la presión resistiva como el drive de presión por arriba de lo normal se han relacionado con desenlaces adversos en pacientes críticamente enfermos de UCI, especialmente

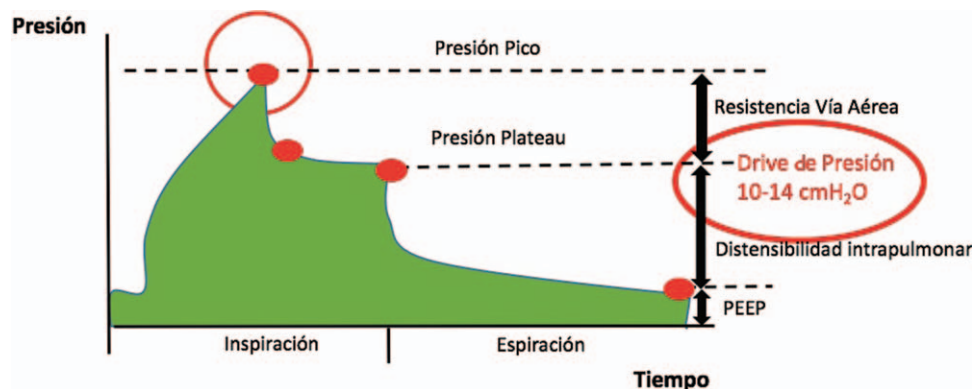


Figura 5. Curva Presión-Tiempo. PEEP=presión positiva al final de la espiración.
Fuente: autores.

mayor estancia hospitalaria y mortalidad.⁵ No hay estudios que relacionen estos hallazgos con el niño anestesiado, usualmente con pulmones sanos. Sin embargo ante la carencia de mejor evidencia sugerimos tener en cuenta estos límites para la ventilación de los niños anestesiados.⁴

- c. **Curva Flujo-Tiempo:** en esta curva se grafica el flujo en litros por minuto en el eje “Y” contra el tiempo en el eje “X”. Si estamos ante una VCV obtendremos una onda cuadrada pues el flujo ingresará y se mantendrá constante durante toda la fase inspiratoria. En el modo VCP el flujo alcanzará un pico máximo que es cuando llegue a la presión programada y a partir de allí habrá una caída graficada como desacelerante en el resto de la fase inspiratoria hasta que esta fase termine. La fase espiratoria se grafica igual en ambos modos. En este tipo de curva con una sola observación determinamos la relación inspiración:espiración (I:E) y si sus tiempos son suficientes; por ejemplo si se inicia un ciclo inspiratorio antes de que la curva espiratoria llegue a su nivel basal pues indica una relación I:E muy estrecha y nos puede llevar a reinhalación y retención de CO₂. Además en esta curva pueden detectarse esfuerzos inspiratorios del paciente como muescas en la onda y determinar si estos son seguidos o no por el apoyo ventilatorio y de esta manera ayudar a ajustar la sincronía paciente-ventilador. Una estrategia para mejorar la oxigenación es acortar la relación I:E incluso volviéndola inversa y una estrategia para barrer CO₂ es aumentar la relación I:E incluso a niveles mayores de 1:3; todos estos cambios pueden ser confirmados, seguidos, evaluados y ajustados con la observación y análisis de esta curva.⁴
- d. **Capnografía:** por último, la representación gráfica de la detección de CO₂ durante todo el ciclo respiratorio nos da origen a la capnografía. Tradicionalmente en el gremio médico se cree que esta gráfica sirve sólo para

ver si el paciente está intubado o no y con este criterio se pierden muchas otras utilidades fundamentales. La capnografía en su valor y en su forma ayuda a evaluar la mecánica ventilatoria y funcionamiento pulmonar^{1,3} al dar curvas patognomónicas por ejemplo de broncoespasmo (meseta francamente ascendente); además debe considerarse como una medida indirecta pero proporcional del gasto cardiaco, en la medida que el CO₂ es determinado gracias al flujo sanguíneo pulmonar que a su vez depende del gasto cardiaco. Es decir, si no tengo cambios ventilatorios y el CO₂ comienza a disminuirme puedo estar ante el inicio de un periodo de hipotensión.⁴ Las aplicaciones e interpretación de la capnografía de manera completa escapa a este artículo pero se quiere resaltar una utilidad olvidada y sumamente importante en la ventilación del niño.

La capnografía nos ayuda a determinar si existe espacio muerto no corregido en nuestra estrategia ventilatoria de la siguiente manera: una vez instalada su estrategia ventilatoria y estabilizado un nivel de capnografía, pase a ventilación manual dando unos ciclos de hiperventilación (5 ciclos es suficiente), es decir aumenta manualmente la PIP y Vt. En condiciones usuales una hiperventilación tan corta debe disminuir el valor de capnografía o por lo menos mantenerlo. Si el valor aumenta, esto refleja que había un espacio muerto que no permitía que el Vt llegara efectivamente al niño y con esta hiperventilación “barremos” estos espacios, obteniendo el CO₂ que estaba previamente sin evacuar (Figura 6). En este caso debemos ajustar el volumen minuto. Especialmente en niños pequeños (menores de 10 Kg) el Vt programado puede quedar corto si adiciono sin compensar aditamentos al circuito después de la “Y” del circuito que es donde inicia el espacio muerto. Recordemos que se define espacio muerto a aquella porción del circuito en donde el flujo se hace bidireccional y puede mezclarse, es decir desde

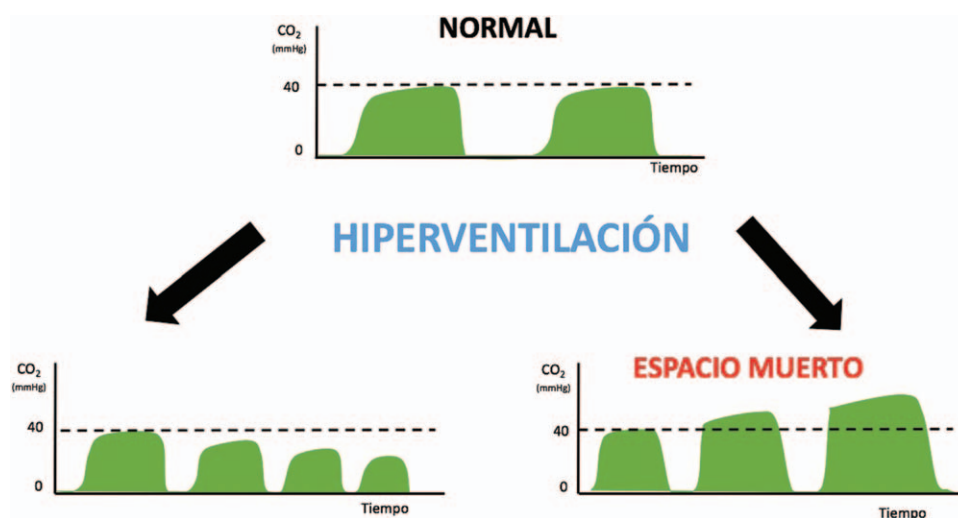


Figura 6. Capnografía, espacio muerto.
Fuente: autores.

la “Y” y no antes. Por ejemplo la longitud de las ramas inspiratorias y/o espiratorias no afectan el espacio muerto (afectara la distensibilidad del circuito, la compresión de las moléculas de aire, el volumen interno, etc., pero no el espacio muerto). Los dispositivos como extensiones, filtros, codos, sensores de capnografía, humidificadores, etc. hacen un volumen que puede ser tan alto como 25 ml.^{1,2} Por ejemplo, si tenemos un prematuro de 2 Kg y programamos 10ml/Kg de Vt tendríamos 20 ml de Vt, es decir ni siquiera logramos mover el Vt de ese filtro y el niño quedaría absolutamente hipoventilado. En estos escenarios es muy útil la maniobra descrita previamente.

Conclusiones

Con lo expuesto anteriormente podremos saber ¿Cómo sacar lo mejor de las nuevas máquinas de anestesia y poner su tecnología al servicio de los niños?, y resumirlo en los siguientes aspectos prácticos:

1. *Calibre previamente su máquina con el circuito adecuado a utilizar.* Esta maniobra permitirá evaluar sensores, determinar el volumen interno de trabajo de la máquina, determinar y compensar automáticamente por la máquina la distensibilidad y pequeñas fugas del circuito. Así estaremos garantizando un Vt, aún pequeño, preciso y una entrega de gases anestésicos confiable.
2. *Determine el modo ventilatorio más ajustado a cada caso.* Independiente del modo escogido, agregue siempre que pueda PS (entre 8–20 cmH₂O), determine un Vt (6–10 ml/Kg), siempre PEEP (mínimo el fisiológico: 5–8 cmH₂O), tenga en cuenta las maniobras de reclutamiento alveolar y disminuir las maniobras de dereclutamiento alveolar (FiO₂ altas innecesarias y desconexiones frecuentes del circuito con succión de vía aérea), mantenga la P_{plat} inferior a 20 cmH₂O y el drive de presión menor a 14 cmH₂O. Recuerde que la ventilación dual en teoría ofrece excelentes ventajas (Falta evidencia).
3. *Aproveche las gráficas de monitoría.* Recuerde que tiene 3 bucles de espirometría que ayudan con una simple mirada a evaluar la distensibilidad, el valor de PEEP ideal, la sobredistensión alveolar, procesos restrictivos y obstructivos pulmonares, entre otros. La curva Presión-Tiempo y Flujo-Tiempo ayudan a ajustar finamente la ventilación mecánica, regulando la PIP, P_{plat}, PEEP, resistencia de la vía aérea, drive de presión, relación I:E y sincronía paciente-ventilador, entre otros, siendo de extrema utilidad. Por último, recuerde que la capnografía con una maniobra sencilla permite determinar si tenemos exceso de espacio muerto mal ventilado.
4. *Conozca su máquina de anestesia.* Si usted conoce las virtudes de su máquina de anestesia y aplica estas bondades al servicio de los niños anestesiados podría-

mos volver la ventilación mecánica una estrategia sencilla, práctica y sobre todo segura y útil durante la anestesia general.

Responsabilidades éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Financiación

Recursos propios de autores. No ha habido ningún apoyo financiero significativo para este trabajo que pudiera haber influido en su resultado

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no hay conflictos de interés conocidos asociados con esta publicación y no ha habido ningún apoyo financiero significativo que pudiera haber influido en el resultado de este artículo.

Referencias

1. Feldman JM. Little Things Matter: Mechanical Ventilation for the Anesthetized Infant [Internet]. International Symposium on the Pediatric Airway ISPA 8 University of Colorado School of Medicine. Aurora, Colorado 2016;126–137. [cited 2 Mar 2017]. Available from: <http://www.ucdenver.edu/academics/colleges/medschool/departments/Anesthesiology/ISPA/Handouts/Documents/June%202016/Full%20Syllabus.pdf>.
2. Feldman JM. Optimal ventilation of the anesthetized pediatric patient. *Anesth Analg* 2015;120:165–175.
3. Aversa S, Marseglia L, Manti S, D'Angelo G, Cuppari C, David A, et al. Ventilation strategies for preventing oxidative stress-induced injury in preterm infants with respiratory disease: An update. *Paediatr Respir Rev* 2015;17:71–79.
4. Kneyber MC. Intraoperative mechanical ventilation for the pediatric patient. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* 2015;29:371–379.
5. Cocoros NM, Kleinman K, Priebe GP, Gray JE, Logan LK, Larsen G, et al. Ventilator-Associated events in neonates and children-A new paradigm. *Crit Care Med* 2015;44:14–22.
6. Conti G, Piastra M. Mechanical ventilation for children. *Curr Opin Crit Care* 2016;22:60–66.
7. Bellani G, Laffey JG, Pham T, Fan E, Brochard L, Esteban A, et al. Epidemiology, Patterns of care, and Mortality for patients with Acute Respiratory Distress Syndrome in Intensive Care Units in 50 countries. *Jama* 2016;315:788–800.
8. Futier E, Constantin J-M, Paugam-Burtz C, Pascal J, Eurin M, Neuschwander A, et al. A trial of intraoperative low-tidal-volume ventilation in abdominal surgery. *N Engl J Med* 2013;369:428–437.
9. Gropper MA. Mechanical Ventilatory Support: What Every Anesthesia Provider Should Know. *ASA Refresh Courses Anesthesiol* 2013;41:47–52.
10. Hedenstierna G, Edmark L. Protective Ventilation during Anesthesia: Is It Meaningful? *Anesthesiology* 2016;107:176–177.
11. van Kaam AH, Rimensberger PC. Lung-protective ventilation strategies in neonatology: what do we know-what do we need to know? *Crit Care Med* 2007;35:925–931.