

cánica en pediatría. En los siguientes capítulos se expondrán los conceptos básicos de la ventilación mecánica, la utilización de gases medicinales, las modalidades convencionales de ventilación mecánica (ventilación controlada, asistida-controlada y mandatoria intermitente), las formas de soporte, las nuevas modalidades, los métodos de retirada de la asistencia respiratoria, las ventilaciones no invasivas y de alta frecuencia, las técnicas complementarias (intubación, humidificación, aspiración, fisio-

terapia), las complicaciones de la ventilación mecánica, la monitorización respiratoria, la ventilación en situaciones especiales (asma, bronquiolitis, síndrome de dificultad respiratoria aguda, cardiopatías, recién nacido), la ventilación mecánica durante el transporte, los tratamientos complementarios (óxido nítrico, surfactante, posición en prono) y los problemas éticos en la ventilación mecánica. Esperamos que esta serie de capítulos contribuya a la formación de los pediatras en ventilación mecánica.

Conceptos de ventilación mecánica

J.I. Muñoz Bonet

Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos. Hospital Clínico de Valencia. España.

La ventilación mecánica (VM) se define como la técnica por la cual se realiza el movimiento de gas hacia y desde los pulmones por medio de un equipo externo conectado directamente al paciente. Los objetivos clínicos de la VM pueden ser muy diversos: mantener el intercambio de gases, reducir o sustituir el trabajo respiratorio, disminuir el consumo de oxígeno sistémico y/o miocárdico, conseguir la expansión pulmonar, permitir la sedación, anestesia y relajación muscular, estabilizar la pared torácica, etc. La ventilación puede realizarse mediante presión negativa extratorácica o presión positiva intermitente (PPI). Según el mecanismo de ciclado los respiradores de presión positiva se clasifican en ciclados por presión, ciclados por flujo o mixtos y, según el tipo de flujo en respiradores de flujo continuo, de flujo intermitente o de flujo básico constante. Por último, los respiradores de alta frecuencia se clasifican según su mecanismo en alta frecuencia por PPI, alta frecuencia oscilatoria y alta frecuencia por chorro.

Palabras clave:

Ventilación mecánica. Niños. Ventilación con presión positiva. Ventilación con presión negativa. Ventilación de alta frecuencia. Tubuladuras respiratorias.

DEFINITIONS IN MECHANICAL VENTILATION

Mechanical ventilation can be defined as the technique through which gas is moved toward and from the lungs

Correspondencia: Dr. J.I. Muñoz Bonet.
Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos. Hospital Clínico de Valencia.
Avda. Blasco Ibáñez, 17. 46010 Valencia. España.
Correo electrónico: munoz_jua@gva.es

Recibido en marzo de 2003.
Aceptado para su publicación en marzo de 2003.

through an external device connected directly to the patient. The clinical objectives of mechanical ventilation can be highly diverse: To maintain gas exchange, to reduce or substitute respiratory effort, to diminish the consumption of systemic and/or myocardial O₂, to obtain lung expansion, to allow sedation, anesthesia and muscle relaxation, and to stabilize the thoracic wall, etc. Ventilation can be carried out by negative extrathoracic pressure or intermittent positive pressure. According to the cycling mechanism, positive-pressure ventilators are classified as pressure-cycled, flow-cycled, or mixed, and according to the type of flow in continuous-flow ventilators, as intermittent flow or constant basic flow. Finally, high-frequency ventilators are classified according to their high-frequency mechanism as intermittent positive pressure, oscillatory high-frequency and high-frequency jet ventilators.

Key words:

Mechanical ventilation. Children. Positive-pressure ventilation. Negative-pressure ventilation. High-frequency ventilation. Respiratory circuit.

INTRODUCCIÓN

La ventilación mecánica (VM) puede definirse como la técnica por la cual se realiza el movimiento de gas hacia y desde los pulmones por medio de un equipo externo conectado directamente al paciente. El equipo puede ser

una bolsa de resucitación o un ventilador mecánico, y puede conectarse al paciente por medio de una mascarilla facial, un tubo endotraqueal (lo más frecuente), una traqueostomía o el tórax (aparatos de presión negativa extratorácica)¹.

Aunque la introducción de la VM en la clínica es un fenómeno muy reciente, las primeras descripciones se remontan a 400 años a.C., cuando Hipócrates en su "tratado sobre el aire" menciona la intubación traqueal como método para ventilar los pulmones. Posteriormente, en el año 175 d.C., Galeno utiliza un fuelle para inflar los pulmones de un animal. No se encuentran nuevas descripciones hasta el siglo XVI cuando Paracelso y Vesalio, a través de experiencias similares, establecen el concepto de respiración artificial. En 1911, la casa Dräger construyó un primer aparato de presión positiva intermitente (PPI) (Pulmotor), y fue utilizado en pacientes con problemas respiratorios. En 1928, Drinker y Shaw diseñaron un prototipo del pulmón de acero para VM de larga duración que, mejorado por Emmerson en 1931, tuvo una amplia difusión en las epidemias de poliomielitis de la década de 1940. Debido a las limitaciones en el acceso a los pacientes que implicaban los pulmones de acero, en los años 1940-1950 se desarrolló la técnica de PPI con intubación endotraqueal que, desde las epidemias de poliomielitis de los años 1950, se ha impuesto como técnica de VM convencional en el paciente grave². En los últimos 30 años y particularmente en los últimos 15 años, con el desarrollo tecnológico e informático, los ventiladores han ido evolucionando de forma incesante, permitiendo una mejor monitorización de los pacientes e incorporado nuevas técnicas ventilatorias, con el fin de mejorar su eficacia y limitar sus efectos adversos. Por desgracia, aunque el número de opciones ventilatorias disponibles por el facultativo ha ido aumentando de forma exponencial, todavía no se han desarrollado ensayos clínicos controlados que definan claramente la utilidad de muchas de ellas³.

En la actualidad, la VM es una herramienta clave en el tratamiento del paciente pediátrico crítico, ya sea esta situación debida a enfermedad pulmonar o extrapulmonar, tanto en el medio extrahospitalario (sistemas de urgencias y transporte sanitario) como en el hospitalario (urgencias, quirófano, unidad de cuidados intensivos pediátricos [UCIP], etc.)⁴. Además, el aumento de la supervivencia de niños con insuficiencia respiratoria crónica está condicionando el desarrollo de programas de VM domiciliar pediátrica, encaminados a mejorar la calidad de vida de estos niños y sus familias.

INDICACIONES

La VM es un método de soporte vital en el paciente grave que no es, por sí solo, terapéutico o curativo. Puesto que no está exenta de riesgos y efectos adversos, las indicaciones de ésta deben ser tenidas en cuenta, no sólo para iniciarla de forma adecuada, sino también para reti-

larla tan pronto como desaparezca la causa que condujo a su inicio².

Es difícil realizar una clasificación de las indicaciones de VM por enfermedades específicas, no sólo porque el listado sería interminable, sino también por la dificultad para definir el nivel de gravedad de cada una que hace necesario su uso^{2,5}. Por este motivo, su indicación dependerá de los objetivos clínicos que se desee conseguir. Estos objetivos se resumen seguidamente⁵.

Mantener el intercambio de gases

Esta es la función básica del sistema respiratorio.

1. *Ventilación alveolar.* La apnea y la hipoventilación alveolar aguda (de modo general la presión parcial arterial de anhídrido carbónico $[PaCO_2] > 55-60$ mmHg, en ausencia de enfermedad respiratoria crónica) son indicación para iniciar el soporte respiratorio. El objetivo de la VM podrá ser normalizar la ventilación alveolar ($PaCO_2$ normal) o, en su defecto, conseguir cifras adecuadas, o al menos suficientes, aunque superiores a la normalidad, como ocurre en la hipercapnia permisiva o en las descompensaciones agudas de los pacientes con insuficiencia respiratoria crónica. En ocasiones, el objetivo puede ser conseguir una ventilación alveolar superior a la normal (hiperventilación de los pacientes con hipertensión intracraneal).

2. *Oxigenación arterial.* La cianosis o la hipoxemia ($PaO_2 < 70$ mmHg) con fracción inspiratoria de oxígeno ($FiO_2 > 0,6$), son indicación para iniciar soporte ventilatorio. El objetivo es evitar la hipoxia tisular. La VM contribuye a alcanzar este objetivo manteniendo una oxigenación arterial normal ($PaO_2 \geq 80-100$ mmHg) o, al menos, suficiente (generalmente $PaO_2 > 60$ mmHg y saturación de oxígeno en sangre arterial $[SatO_2] \geq 90\%$), usando una FiO_2 aceptable ($< 0,6$).

Reducir o sustituir el trabajo respiratorio

1. Cuando el incremento del trabajo respiratorio, por aumento en las resistencias de la vía respiratoria o por disminución de la complianza pulmonar o torácica, provoca que el esfuerzo respiratorio espontáneo sea ineficaz o no pueda ser mantenido por agotamiento de la musculatura respiratoria.

2. Cuando, en ausencia de incremento de trabajo respiratorio, la bomba respiratoria es incapaz de realizar su función, ya sea por fracaso muscular (enfermedades neuromusculares, desnutrición, etc.) o esquelético (escoliosis graves, traumatismos, cirugía torácica).

Disminuir el consumo de oxígeno sistémico (VO_2) y/o miocárdico

El trabajo de la musculatura respiratoria en situaciones patológicas puede llegar a representar el 50% del VO_2 . En estas circunstancias, la VM permite disponer de

una importante reserva de oxígeno que puede ser utilizada por otros tejidos comprometidos (situaciones de shock). Por otro lado, en situaciones de compromiso cardiorrespiratorio importante (shock cardiogénico, síndrome de dificultad respiratoria aguda), esta disminución del consumo evita la sobrecarga funcional de estos órganos, facilitando su recuperación. La sedación-relajación potencia todavía más estas acciones.

Conseguir la expansión pulmonar

Para prevenir o revertir atelectasias, y mejorar la oxigenación y la complianza pulmonar (al realizar la inspiración en zonas más favorables de la curva presión-volumen).

Permitir la sedación, anestesia y relajación muscular

En cirugía, procedimientos de UCIP, etc.

Estabilizar la pared torácica

En politraumatismos, cirugía torácica, etc.

TIPOS DE VENTILADORES Y PRINCIPALES MODALIDADES DE VENTILACIÓN MECÁNICA

En la respiración espontánea, la entrada de aire en los pulmones se hace posible gracias al acortamiento de los músculos inspiratorios, lo cual condiciona un aumento del volumen intratorácico y, en consecuencia, una presión negativa (subatmosférica) con movilización de aire hacia los pulmones. La espiración se produce de manera pasiva debido a las propiedades elásticas del pulmón, que recupera su volumen de partida.

Para poder sustituir la función ventilatoria con aparatos mecánicos, se requiere la generación de una fuerza inspiratoria que supla la fase activa del ciclo respiratorio. Esta fuerza puede generarse de dos maneras, con presión negativa extratorácica o con presión positiva².

Ventiladores de presión negativa extratorácica

Actúan remedando la respiración normal, al producir mecánicamente una presión subatmosférica intratorácica, mediante la generación de una presión negativa extratorácica. Son equipos aparatosos, que interfieren el acceso al paciente (tanques o chalecos), y que proporcionan una ventilación alveolar variable. Por estos motivos, su uso se restringe al manejo de algunos niños afectados de enfermedades neuromusculares con disminución de la ventilación alveolar y función pulmonar normal.

Ventiladores de presión positiva intermitente

Es la técnica de VM más extendida. La introducción del gas respiratorio dentro del pulmón se realiza a través de un tubo endotraqueal (lo más frecuente), una traqueostomía o una mascarilla facial, al generar de forma intermitente un gradiente de presión entre la entrada y el final de la vía respiratoria (alvéolo). El ciclo respiratorio se inicia al incrementar la presión en la entrada de la vía

aérea. Se produce un gradiente de presión que condiciona la entrada de aire en los pulmones, hasta que el incremento progresivo en la presión alveolar ocasionado por la distensión pulmonar iguala la existente en la entrada de la vía. El inicio de la espiración se produce al retirar la presión positiva de la entrada de la vía respiratoria, lo cual genera una situación opuesta a la anterior, con salida de gas hasta que la presión alveolar se iguala, de nuevo, con la atmosférica. A este proceso, repetido de forma continua, se le denomina ventilación con PPI y es el principio en que se basa el funcionamiento de todos los VM convencionales que se aplican a la vía aérea.

¿Cómo se regula la entrada de gas y termina la inspiración?

Una vez generada la fuerza necesaria para que se lleve a cabo la inspiración, debe establecerse el mecanismo de ciclado, es decir, en función de qué parámetro termina la inspiración. Los ventiladores, atendiendo a estas características, pueden clasificarse en:

1. *Ventiladores ciclados por presión.* La entrada de gas y la inspiración terminan cuando se alcanza una determinada presión en la vía respiratoria. El volumen recibido por el paciente y el tiempo de la inspiración (T_i), están en función de la resistencia de la vía aérea, la complianza pulmonar y la integridad del circuito del ventilador, lo cual debe tenerse en cuenta al realizar la programación inicial. Cambios importantes en el T_i determinado inicialmente, indican problemas en el paciente o en el sistema (obstrucción, fugas, etc.). Estos respiradores, por su sencillez y manejabilidad, son utilizados en el transporte de pacientes.

2. *Ventiladores ciclados por volumen.* La inspiración termina cuando se ha administrado un volumen predefinido. No todo el volumen seleccionado en el ventilador llega al paciente, ya que parte queda atrapado en el circuito del respirador o puede perderse por fuga laríngea (tubos sin balón). La presión alcanzada por el respirador dependerá de la situación del paciente, por lo que cambios significativos en la misma pueden indicar obstrucción, intubación selectiva, broncospasmo, desacople con el respirador, disminución de la complianza, desconexión, etc.).

3. *Ventiladores ciclados por tiempo.* La duración de la inspiración (T_i) y la espiración (T_e) son programadas por el operador, y son independientes del volumen o la presión alcanzados. También se programa el flujo de gas. Aunque el volumen administrado no se controla directamente, puesto que es proporcional al producto del flujo y el T_i programados, permanecerá constante mientras no se modifiquen estos parámetros. Los cambios en la presión alcanzada con la programación inicial serán debidos a las mismas causas que en los ventiladores ciclados por volumen.

4. *Ventiladores ciclados por flujo.* La inspiración termina cuando el flujo inspiratorio disminuye por debajo de un nivel predeterminado, con independencia del volumen, tiempo o presión generada. Este es el mecanismo de ciclado utilizado en la ventilación con presión de soporte, opción disponible en la actualidad en la mayoría de ventiladores.

5. *Ventiladores mixtos.* En la actualidad, casi todos los ventiladores de uso clínico combinan características de los anteriores, de modo que el ciclado se realiza por tiempo, pero la entrada de gas se ha limitado previamente al alcanzarse una determinada presión (ventiladores controlados por presión) (fig. 1) o al administrar el volumen programado (ventiladores controlados por volumen) (fig. 2).

¿Cómo termina la espiración y se inicia una nueva inspiración?

El inicio de una nueva inspiración viene determinado por la frecuencia respiratoria programada por el médico (respiración programada o mandatoria), pero también

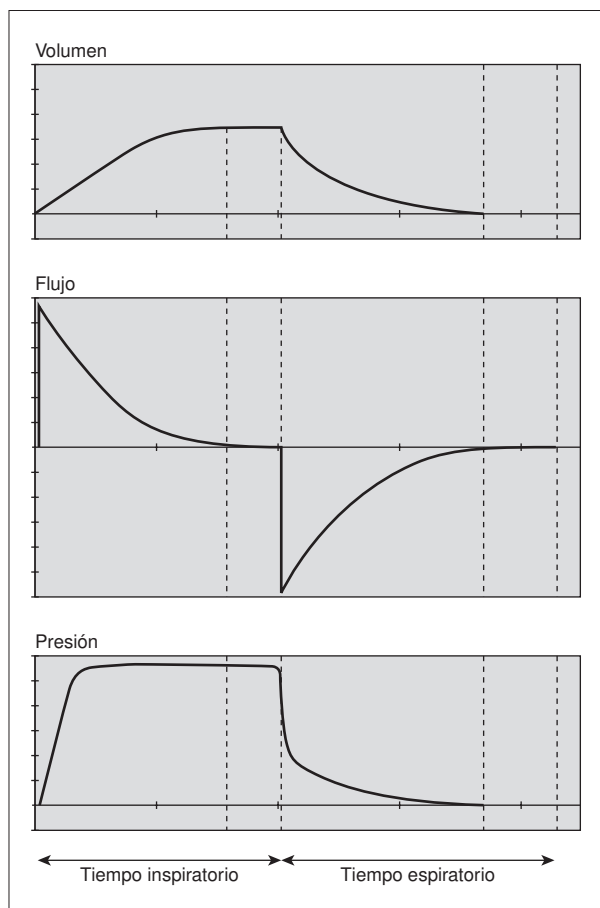


Figura 1. El ciclo respiratorio en un ventilador controlado por presión. Curvas de volumen, flujo y presión. Obsérvese cómo para mantener la presión constante durante la inspiración el flujo disminuye durante ésta (flujo decelerante), hasta llegar a cero.

puede iniciarse por el esfuerzo respiratorio del paciente (respiración espontánea). La ventilación mecánica controlada (VMC) es el modo de ventilación en el que todas las respiraciones son programadas. En la ventilación mandatoria intermitente el paciente recibe respiraciones programadas y realiza respiraciones espontáneas. Cuando se utilizan sistemas de presión positiva continua en la vía aérea, todas las respiraciones son espontáneas.

Otro modo de clasificar los ventiladores mecánicos depende del momento del ciclo respiratorio en el que éstos suministran gas por las tubuladuras¹. Los respiradores pueden clasificarse en:

1. *Ventiladores de flujo continuo.* A través de la tubuladura del ventilador fluye gas de forma constante (fig. 3 A). Este gas llega al paciente cuando aumenta la presión por

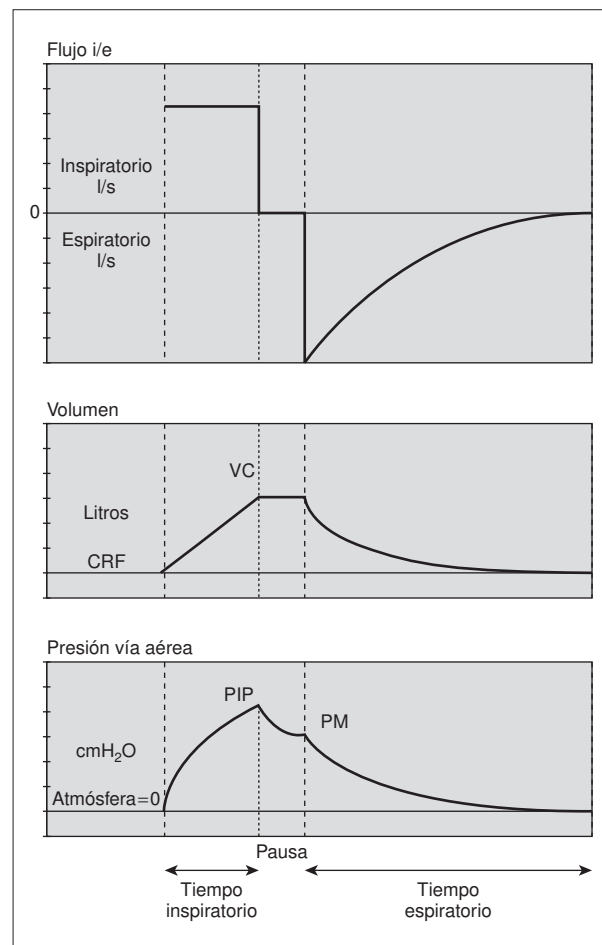


Figura 2. El ciclo respiratorio en un ventilador controlado por volumen. Curvas de flujo, volumen y presión. VC: volumen tidal o corriente; CRF: capacidad residual funcional; PIP: presión pico inspiratoria; PM: presión meseta (aproximación a la presión en el alvéolo). Obsérvese cómo mientras aumenta el volumen, el flujo es constante y disminuye a cero en la pausa inspiratoria (no existe cambio en el volumen pulmonar).

cierre de la válvula espiratoria (respiración programada o mandatoria), o al disminuir la presión intratorácica del paciente como consecuencia de su esfuerzo respiratorio (respiración espontánea). Por lo tanto, estos respiradores permiten realizar respiraciones espontáneas sin restric-

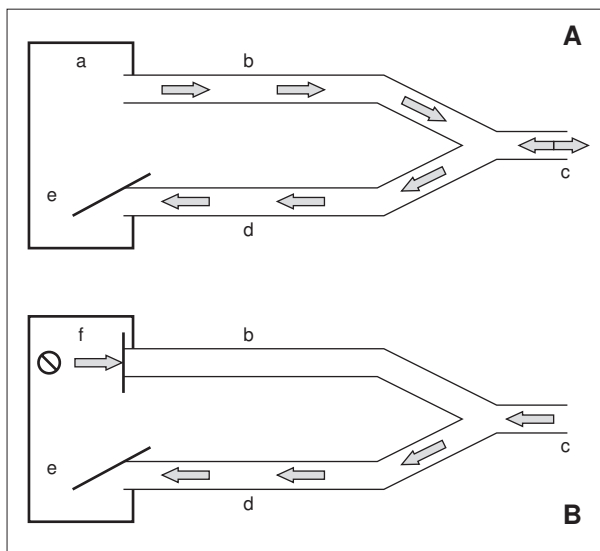


Figura 3. Ventilador de flujo continuo (A) e intermitente (B) durante la fase espiratoria: **a)** fuente de gas; **b)** asa inspiratoria; **c)** conexión al paciente; **d)** asa espiratoria; **e)** válvula espiratoria abierta, y **f)** válvula de demanda inspiratoria cerrada. Obsérvese cómo durante la espiración en el respirador de flujo continuo fluye gas en la asa inspiratoria, lo cual permite respirar al paciente sin restricciones. En el respirador de flujo intermitente, no fluye gas por la tubuladura salvo que, por el esfuerzo respiratorio del paciente, se active el disparo y se abra la válvula inspiratoria.

nes, siempre que la programación del flujo de gas sea adecuada. Sin embargo, en ellos el control o limitación de la entrada de gas sólo puede realizarse por presión y, por lo tanto, no aseguran el volumen de ventilación.

2. *Ventiladores de flujo intermitente.* El flujo de gas desde el ventilador sólo tiene lugar durante la inspiración (fig. 3 B). Estos respiradores tienen en el asa inspiratoria una válvula, la válvula de demanda inspiratoria, que se mantiene cerrada durante la espiración y se abre para iniciar una respiración programada. Para que se libere el gas necesario para realizar una respiración espontánea, el paciente tiene que activar el sistema de apertura de esta válvula. Es decir, para abrir la válvula y proporcionar el flujo inspiratorio necesario, el respirador tiene que captar el descenso de la presión ocasionada por el esfuerzo inspiratorio del paciente (fig. 4). Este sistema se denomina disparador o *trigger* de presión. Este tipo de ventiladores presentan la ventaja de que el control o limitación de la entrada de gas puede realizarse por presión o por volumen.

3. *Ventiladores con flujo básico constante.* Estos respiradores son una variante de los de flujo intermitente. Por la tubuladura hay un flujo básico de gas constante, en general insuficiente para cubrir la demanda del paciente. De esta forma, el respirador detecta el descenso en este flujo básico, ocasionado por el esfuerzo inspiratorio del paciente, y suministra el gas suplementario necesario. Este mecanismo es la base de los sistemas de sensibilidad por flujo.

Los sistemas de sensibilidad, disparo o *trigger* son una pieza clave para una adecuada interacción entre el respirador y el paciente. De modo ideal, este sistema debería captar el esfuerzo inspiratorio del paciente y liberar el flujo de forma inmediata, ya que un retraso en la entrega del

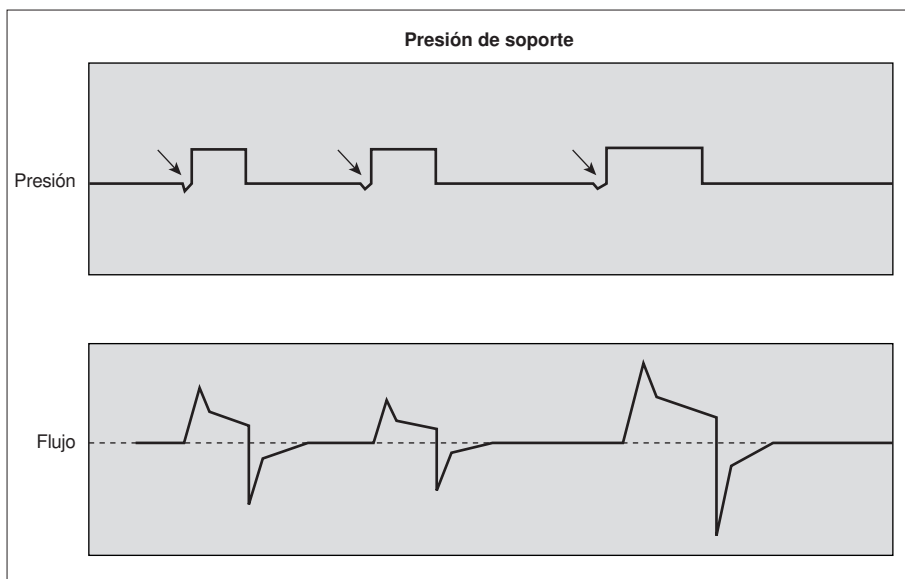


Figura 4. Sistema de disparo o trigger por presión. Curvas de presión y flujo en el modo de presión de soporte. Cuando el paciente realiza un esfuerzo inspiratorio, produce un descenso de la presión (flechas) que, al ser detectado por el sistema de disparo, ocasiona la apertura de la válvula de demanda inspiratoria, y la inspiración es "ayudada" por una presión que proporciona el ventilador.

flujo genera un aumento del trabajo respiratorio del paciente (esfuerzo ineficaz) y desadaptación a la VM. Estos hechos son particularmente importantes en los pacientes pediátricos, al ser menor su esfuerzo y la duración de la inspiración. En general, los sistemas de sensibilidad por flujo, han demostrado una mayor eficacia, aunque los sistemas de disparo de presión de última generación parecen ser igualmente eficaces⁶.

Los sistemas de disparo, mediante los cuales el respirador es capaz de detectar el esfuerzo respiratorio espontáneo del paciente, además de hacer posible el funcionamiento de los respiradores de flujo intermitente, han permitido la introducción de importantes mejoras en los ventiladores mecánicos, como, por ejemplo, la sincronización de las respiraciones mandatorias, la presión de soporte y la asistencia de las respiraciones espontáneas (VM en asistida/controlada)⁷. La incorporación de sistemas de disparo en los respiradores de flujo continuo ha permitido incorporar algunas de estas ventajas (sincronización, asistencia por presión).

Elección del ventilador mecánico en pediatría

En pediatría, la elección del ventilador se ve condicionada por la edad. Así, en patología neonatal, la mayoría de los equipos son de flujo continuo, limitados por presión y ciclados por tiempo, ya que estos equipos permiten una respiración espontánea sin restricciones. En el niño mayor y en el adulto se utilizan ventiladores de flujo intermitente, que pueden funcionar limitando la entrada de gas, tanto por volumen como por presión.

Hasta hace pocos años, en lactantes y niños pequeños (< 10 kg) se utilizaban preferentemente ventiladores de flujo continuo, ya que la aplicación de ventiladores volumétricos, a pesar de tener la ventaja de asegurar el volumen de ventilación, se veía limitada por el volumen corriente mínimo que el aparato era capaz de entregar (en general ≥ 100 ml), la escasa sensibilidad del sistema de disparo y la lentitud de apertura de la válvula inspiratoria. Sin embargo, las últimas generaciones de ventiladores volumétricos, capaces de administrar volúmenes corrientes de hasta 20 ml y dotados con sensores de disparo de última generación, permiten su aplicación en pacientes de hasta 2-3 kg. Por su flexibilidad (aplicación desde edad de lactante a adolescente), por asegurar un volumen de ventilación constante y por disponer de múltiples modalidades de ventilación, son en la actualidad los equipos de uso preferente en UCIP.

Ventiladores mecánicos de alta frecuencia⁸

La VM de alta frecuencia se caracteriza por la aplicación de frecuencias respiratorias superiores a las normales (al menos del doble de la frecuencia respiratoria en reposo) y el uso de volúmenes corrientes en torno al espacio muerto anatómico. Existen tres tipos de ventiladores de alta frecuencia de uso clínico:

1. *Ventilación por presión positiva de alta frecuencia (HFPPV)*. Técnica similar a la VM convencional, en la que un interruptor de flujo genera ondas de presión positiva a una frecuencia de 1-2 Hz, generando un volumen corriente de 3-4 ml/kg. Esta técnica requiere el uso de tubuladuras no distensibles y puede ser simulada con numerosos ventiladores mecánicos convencionales. Su aplicación fuera del campo de la neonatología es mínima.

2. *Ventilación oscilatoria de alta frecuencia (HFOV)*. Requiere un equipo compuesto por: una fuente de gas continua conectada al asa inspiratoria del sistema, un pistón que produce la oscilación de una membrana conectada al circuito (esta oscilación genera, de forma alternativa, ondas de presión positiva y negativa en el circuito, que generan movimiento de gas hacia el paciente y desde éste, por tanto, la espiración es activa), una válvula al final del asa espiratoria, que regula la salida de gas y la presión del circuito (fig. 5). Las frecuencias de uso clínico oscilan de 3 a 15 Hz. El volumen corriente es menor que el del espacio muerto anatómico (1-3 ml/kg). Es la técnica de alta frecuencia de elección en pediatría.

3. *Ventilación de alta frecuencia por chorro o jet (HFJV)*. Estos ventiladores producen un fino chorro de aire a gran presión dentro de un sistema de VM convencional. Esta técnica requiere presiones medias en la vía aérea menores que las necesarias con HFOV o VMC para conseguir similar nivel de oxigenación. Se ha utilizado en pacientes con disfunción grave de ventrículo derecho, durante cirugía de tráquea y en bronoscopias diagnósticas o terapéuticas. La ventilación de alta frecuencia con interrupción de flujo es una variante de la HFJV.

TUBULADURAS

Representan la interfase entre el ventilador mecánico y el paciente. Existen tres tamaños: neonatal (11 mm de diámetro), pediátrico (15 mm de diámetro) y adulto (22 mm de diámetro). En los ventiladores convencionales más modernos pueden utilizarse cualquiera de ellas, de-

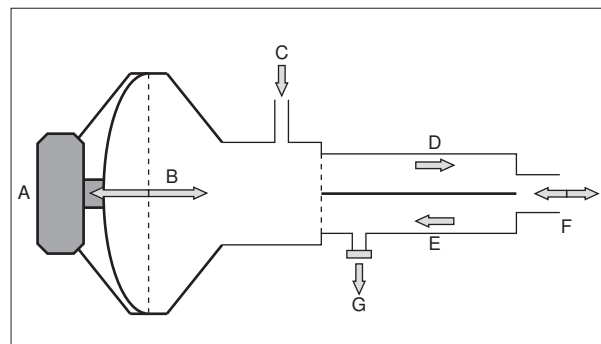


Figura 5. Esquema de ventilador de alta frecuencia oscilatoria. **A)** Pistón; **B)** diafragma; **C)** flujo continuo de aire fresco; **D)** asa inspiratoria; **E)** asa espiratoria; **F)** conexión al paciente, y **G)** válvula espiratoria.

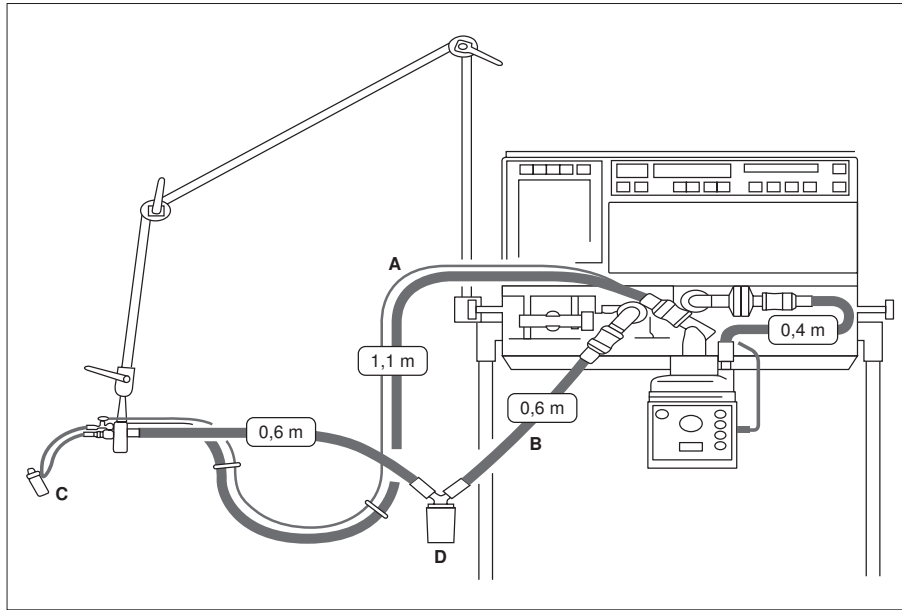


Figura 6. Representación esquemática de ventilador mecánico volumétrico con tubuladura completa y sistema de humidificación con alambre calefactor: **A)** asa inspiratoria; **B)** asa espiratoria; **C)** conexión al paciente; **D)** trampa de agua: al evitarse el enfriamiento del gas en el asa inspiratoria, no se produce condensación en el mismo. Por lo tanto, este tipo de sistema sólo precisa trampa de agua en el asa espiratoria. Los sistemas sin humidificador no precisan trampa de agua.

pendiendo del peso del paciente que se va a ventilar. Por el contrario, en los ventiladores mecánicos neonatales habitualmente sólo es posible utilizar tubuladuras de 11 mm. Por ello, deben tenerse en cuenta las recomendaciones del fabricante sobre la compatibilidad de los circuitos, aunque, de modo general, las tubuladuras de 15 mm suelen ser adecuadas para cualquier tipo de paciente (lactante-adolescente) y ventilador.

Algunas tubuladuras incorporan alambres de calentamiento compatibles con el sistema de servocontrol de temperatura del humidificador. En nuestra experiencia, aunque estos sistemas son caros, son ideales para proporcionar el gas a la temperatura y humedad óptima. Por estos motivos, se utilizan en pacientes con enfermedad pulmonar o que previsiblemente van a precisar VM durante varios días, utilizando en otro caso, tubuladuras sencillas y filtros higroscópicos. Puesto que los filtros higroscópicos deben sustituirse cada 24 a 48 h, y que las tubuladuras y el resto del sistema se sustituyen semanalmente o cuando cambia el paciente, la diferencia de coste disminuye cuando la duración de la VM se aproxima a la semana.

Las tubuladuras, ya sean reutilizables o desechables, deben ser:

1. De poco peso, flexibles y resistentes a la oclusión.
2. De baja complianza y con mínima resistencia al flujo. Esto es especialmente importante en VM de alta frecuencia, en la que es necesario el empleo de tubuladuras no distensibles y de alma lisa.
3. De reducido espacio muerto en la conexión del paciente.
4. Deben disponer de conexiones seguras y de tamaño estándar de 15/22 mm.

5. Es muy útil que dispongan o puedan adaptarse con facilidad tomas para capnografía, administración y medición de óxido nítrico, etc.

Por último, aunque habitualmente la tubuladura se compone de asa inspiratoria y espiratoria (fig. 6), algunos respiradores carecen de esta última, al quedar ubicada la válvula espiratoria en la "T" del sistema. Este tipo de tubuladura suele utilizarse en ventiladores de transporte y de uso domiciliario, y tiene como finalidad facilitar la movilidad del equipo y del paciente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Godínez RI. Aspectos técnicos de los ventiladores mecánicos. En: Ruza F, editor. Tratado de Cuidados Intensivos Pediátricos. 3ª ed. Madrid: Norma-Capitel, 2002; p. 620-7.
2. Slutsky AS. Consensus Conference on Mechanical Ventilation. Part I. Intensive Care Med 1994;20:64-79.
3. Slutsky AS. Consensus Conference on Mechanical Ventilation. Part II. Intensive Care Med 1994;20:150-62.
4. Velasco M, Ulloa E, López-Herce J. Ventilación mecánica. En: López-Herce J, Calvo C, Lorente M, Jaimovich D, Baltodano A, editores. Manual de cuidados intensivos pediátricos. 1ª ed. Madrid: Publimed, 2001; p. 620-43.
5. Martin LD, Batton SL, Walkewr LK. Principles and practice of respiratory support and mechanical ventilation. En: Rogers MC, editor. Textbook of Pediatric Intensive Care. Baltimore: Williams and Wilkins, 1996; p. 265-330.
6. Tobin MJ. Advances in mechanical ventilation. N Engl J Med 2001;344:1986-96.
7. Respiratory Care Procedures. En: Levin DL, Morriss FC, editors. Essentials of Pediatric Intensive Care. 2nd ed. St Louis: Churchill-Livingstone, 1997; p. 1333-548.
8. Arnold JH, Truog RD, Thompson JE, Fackler JC. High-frequency oscillatory ventilation in pediatric respiratory failure. Crit Care Med 1993;21:272-8.