

Manual de Cuidados Intensivos Pediátricos. Madrid: Publimed, 2001; p. 655-60.

10. Raposo G, Correia M. Ventilación mecánica no invasiva. En: Ruza F, editor. Tratado de cuidados intensivos pediátricos. Madrid: Norma-Capitel, 2003; p. 690-5.

11. Fortenberry JD. Noninvasive ventilation in children with respiratory failure. Crit Care Med 1998;26:2095-96.

12. Padman R, Nadkarni VM. Noninvasive nasal mask positive pressure ventilation in a pediatric patient with acute hypoxic respiratory failure. Pediatr Emerg Care 1996;12:44-7.

Ventilación de alta frecuencia

F. Martín-Torres^a, I. Ibarra de la Rosa^b, M. Fernández Sanmartín^a, E. García Menor^b y J.M. Martín Sánchez^a

^aServicio de Críticos y Urgencias Pediátricas. ^aHospital Clínico Universitario de Santiago de Compostela.

^bHospital Universitario Reina Sofía. Córdoba. España.

En la era de las estrategias de ventilación protectoras para el pulmón, la ventilación de alta frecuencia oscilatoria (VAFO) ha logrado un interés renovado, y su uso ha aumentado de manera significativa en las unidades de cuidados intensivos neonatales y pediátricas. La VAFO es capaz de disminuir el daño pulmonar inducido por la ventilación, limitando la incidencia de volutrauma, atelectrauma, barotrauma y bio-trauma. Durante la VAFO, se logra una oxigenación y una ventilación adecuadas, utilizando volúmenes corrientes bajos y pequeños cambios de presión, a frecuencias supra-fisiológicas. Al contrario que otros modos de ventilación de alta frecuencia, la VAFO tiene una fase espiratoria activa. La VAFO constituye un modo de ventilación seguro y eficaz en el tratamiento de pacientes pediátricos con insuficiencia respiratoria refractaria a la ventilación mecánica convencional optimizada, con mejores resultados cuando se inicia precozmente. Por otro lado, el uso electivo de VAFO requiere más estudios que precisen sus beneficios sobre los modos convencionales de VM y que justifiquen su uso habitual como tratamiento de primera línea. El Grupo de Trabajo Respiratorio de la Sociedad Española de Cuidados Intensivos Pediátricos revisa en este trabajo los principales aspectos de la aplicación pediátrica de la VAFO. Además, establece un protocolo general práctico y estrategias específicas de tratamiento, monitorización, cuidados del paciente y otros aspectos peculiares, del uso de la VAFO en el contexto pediátrico.

Palabras clave:

Ventilación de alta frecuencia. Niños. Estrategia ventilatoria protectora pulmonar. Ventilación mecánica. Insu-

ficiencia respiratoria. Unidades de Cuidados Intensivos Pediátricos.

HIGH-FREQUENCY VENTILATION

In the era of lung-protective ventilation strategies, high frequency oscillatory ventilation (HFOV) has attracted renewed interest and its use has dramatically increased in neonatal and pediatric intensive care units. HFOV is able to reduce ventilator-induced lung injury by limiting the incidence of volutrauma, atelectrauma, barotrauma and bio-trauma. During HFOV, adequate oxygenation and ventilation is achieved by using low tidal volumes and small pressure swings at supra-physiologic frequencies. Unlike other high-frequency ventilation modes, HFOV has an active expiration phase. HFOV constitutes a safe and successful ventilation mode for managing pediatric patients with respiratory insufficiency refractory to optimized conventional mechanical ventilation and provides better results when initiated early. However, the elective use of HFOV requires further studies to identify its benefits over conventional modes of mechanical ventilation and to support its routine use as a first line therapy. In the present article, the Respiratory Working Group of the Spanish Society of Pediatric Critical Care reviews the main issues in the pediatric application of HFOV. In addition, a general practical protocol and specific management strategies, as well as the monitoring, patient care and other special features of the use of HFOV in the pediatric setting, are discussed.

Key words:

High-frequency ventilation. Children. Lung protective ventilatory strategies. Mechanical ventilation. Respiratory insufficiency. Pediatric intensive care units.

Correspondencia: Dr. F. Martín-Torres.
Servicio de Críticos y Urgencias Pediátricas.
Hospital Clínico Universitario de Santiago.
A Choupana, s/n. 15706 Santiago de Compostela. España.
Correo electrónico: fedemartinon@hotmail.com

Recibido en abril de 2003.

Aceptado para su publicación en abril de 2003.

INTRODUCCIÓN

La ventilación de alta frecuencia oscilatoria (VAFO) constituye una modalidad ventilatoria que puede definirse por su carácter protector pulmonar y la aplicación sistemática de una estrategia basada en el reclutamiento alveolar y el establecimiento de un volumen pulmonar óptimo¹⁻⁴.

Las evidencias existentes en el campo experimental muestran cómo la VAFO, aplicada correctamente, es capaz de proteger eficazmente el pulmón y disminuir la incidencia de barotrauma, volutrauma, atelectrauma y bio-trauma, con un efecto protector del pulmón equivalente al de la ventilación líquida parcial y superior al de la VMC aplicada incluso con una estrategia de reclutamiento-protección¹⁻⁷. En el ámbito pediátrico, la VAFO constituye una técnica de rescate pulmonar segura y eficaz, con mejores resultados cuanto más precozmente se inicia su uso, capaz de disminuir la mortalidad y la incidencia de enfermedad pulmonar crónica. En cuanto a la aplicación electiva de VAFO frente a la VMC, en pacientes pediátricos con patología respiratoria que precisa ventilación asistida, no existen en la actualidad evidencias que demuestren las ventajas o desventajas de una técnica frente a la otra^{1-4,8-14}.

CONCEPTOS

La VAFO, a diferencia de otras modalidades de ventilación, trata de "abrir el pulmón y mantenerlo abierto", utilizando para ello volúmenes corrientes muy pequeños (1-2 ml/kg en comparación con los 8-15 ml/kg utilizados en VMC) a frecuencias suprafisiológicas (240-900 resp./min [4-15 Hz] frente a las 15-30 resp./min utilizadas en VMC)¹⁻⁴.

El modo exacto por el que se produce el intercambio gaseoso durante la VAFO no está completamente aclarado, aunque se sabe que intervienen diferentes mecanismos como la ventilación alveolar directa, la difusión molecular, el mezclado cardiogénico, la dispersión aumentada de Taylor, el perfil de velocidad asimétrica o el efecto "Pendelluft" entre otros.

DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

El aparato de VAFO requiere tres elementos fundamentales: una fuente de flujo de gas fresco continuo, un mecanismo "oscilador" capaz de generar oscilaciones de la columna de gas en el circuito y en la vía aérea a altas frecuencias (en general un diafragma o un pistón), y un puerto espiratorio con un sistema de filtro *low-pass* que mantenga la Paw a lo largo de todo el ciclo respiratorio¹⁻⁴. El aparato de VAFO genera así ondas oscilatorias de presión que son de alta amplitud a nivel proximal, pero que se atenúan por las fuerzas resistivas del circuito y las fuerzas conductivas de la vía aérea, de modo que a nivel alveolar sólo llegan ondas de presión de baja amplitud (menores del 10% de la amplitud producida por el aparato y medida a nivel proximal). En consecuencia, las

presiones pico, tanto inspiratorias como espiratorias, están marcadamente disminuidas en el alvéolo. Además de esta menor oscilación de presión, el VC utilizado es más pequeño (menor que el espacio muerto anatómico y fisiológico) y el volumen telespiratorio mayor que los empleados en VMC, y ambos son mantenidos de forma prácticamente constante (menor oscilación de volumen). El volumen minuto continúa siendo eficaz gracias a la utilización de frecuencias respiratorias muy altas y la existencia de un sistema de espiración activa que, además de permitir una eliminación de carbónico más eficaz y controlable, disminuye el riesgo de atrapamiento de aire.

Ventajas de la VAFO frente a otras modalidades de ventilación de alta frecuencia

1. *Espiración activa.* La diferencia principal con otras modalidades de alta frecuencia subyace en el mecanismo de espiración activa, que permite una eliminación de carbónico regulable, segura y efectiva, y disminuye los riesgos derivados del atrapamiento de aire. Esta espiración activa se origina gracias al desplazamiento hacia atrás del pistón o diafragma, que genera una presión espiratoria negativa. Por tanto, en la VAFO, la oxigenación y la ventilación pueden ser manejadas de modo prácticamente independiente: la oxigenación mediante la regulación de la Paw y la FiO₂, y la ventilación a través de la amplitud (delta-P), la frecuencia (Hz) y la relación inspiración/espiración (% inspiración).

2. *Posibilidad de ventilación de cualquier paciente.* Hasta hace poco, una de las limitaciones en su aplicación en niños mayores y adultos era que los ventiladores de alta frecuencia existentes no proporcionaban flujos de gas, rangos de presiones y amplitudes suficientes para niños mayores de 2 kg; en la actualidad existen aparatos cuyas características técnicas permiten realizar VAFO sin limitaciones por el peso del paciente (tabla 1).

TABLA 1. Diferencias entre los principales dispositivos de VAFO

	Sensormedics 3100A®	Sensormedics 3100B®	Stephanie®
Tipo de oscilatoria	Diafragma	Diafragma	Pistón
Tasa de flujo (<i>bias-flow</i>)	0-40 l/min	0-60 l/min	0-25 l/min
Paw	3-45 cmH ₂ O	3-55 cmH ₂ O	0-25 cmH ₂ O
Delta-P (máximo proximal)	> 90 cm H ₂ O	> 100 cmH ₂ O	< 60 cm H ₂ O
Frecuencia	3-15 Hz	3-15 Hz	5-15 Hz
Porcentaje inspiratorio	30-50%	30-50%	30-40-50%
Límite teórico de peso*	35 kg	Sin límite	20 kg
Límite práctico de peso	Sin límite	Sin límite	10-12 kg

*Determinado por el fabricante.

VAFO: ventilación de alta frecuencia oscilatoria.

3. *Compatibilidad con otras técnicas.* La VAFO es compatible con la utilización simultánea de otras modalidades terapéuticas respiratorias como el óxido nítrico (NO), el helio, la ventilación en prono, la insuflación traqueal o la ventilación líquida parcial¹².

INDICACIONES

1. *Indicación electiva o rescate.* No existen evidencias de que la aplicación de la VAFO de manera electiva tenga ventajas sobre la VMC. Su papel actual es de rescate, ante el fracaso de la ventilación mecánica convencional optimizada. El criterio de inclusión empleado en nuestra unidad de cuidados intensivos pediátricos (UCIP) es el siguiente: insuficiencia respiratoria grave de cualquier etiología (infecciosa, inhalatoria, etc.) con un índice de oxigenación (IO) mayor de 13, en dos muestras de gases arteriales en un intervalo de 6 h, a pesar de la utilización de VMC optimizada (índice de oxigenación = $100 \times \text{FiO}_2 \times \text{presión media vía aérea}/\text{PaO}_2$)^{1-4,8-14}.

2. En la práctica, la mayoría de los pacientes que precisan VAFO padecen síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA) grave o infección pulmonar por virus respiratorio sincitial (VRS).

3. *Escape aéreo.* Los pacientes con síndromes de escape aéreo grosero (neumotórax, neumoperitoneo, neumomediastino, etc.) responden particularmente bien a la VAFO, lo cual permite la retirada precoz de los drenajes por la rápida resolución del escape; por este motivo, en muchos centros aplicamos la VAFO de manera electiva en estos casos.

CONTRAINDICACIONES

1. Existencia de resistencias en la vía aérea muy aumentadas.
2. Presión intracraneal elevada.
3. Presión arterial media baja.
4. Dependencia de flujo sanguíneo pulmonar pasivo.

Estos criterios de exclusión son relativos y deben ser aplicados de forma individualizada en cada caso, valorándose la relación riesgo/beneficio, al no existir evidencias de que la VAFO sea más perjudicial que cualquier otra modalidad ventilatoria en dichas circunstancias. Son condiciones que, teóricamente, dificultan la aplicación de la técnica, o disminuyen la probabilidad de respuesta positiva a la misma, pero que no constituyen contraindicaciones absolutas^{1-4,8-14}.

1. *Aumento de las resistencias en la vía aérea.* Teóricamente aumenta el riesgo de atrapamiento aéreo y favorece el mecanismo de hiperinsuflación dinámica, aunque la aplicación de una estrategia adecuada (frecuencias más bajas, amplitudes menores) puede minimizar los riesgos potenciales de la VAFO.

2. *Presión arterial media baja.* La necesidad de una presión arterial media adecuada previa a la instauración

de la técnica, se basa en las grandes presiones medias en la vía aérea que se alcanzan con la VAFO, sobre todo durante la fase de reclutamiento. Sin embargo, una preparación previa adecuada del paciente y/o la instauración de medidas terapéuticas adicionales en caso de presentarse hipotensión (expansión líquida y/o inicio/ajuste de soporte inotrópico) permiten aplicar la VAFO con seguridad en estas circunstancias.

3. También se ha referido en la literatura médica su aplicación en pacientes con presión intracraneal elevada o intervenidos de cirugía de Fontan, sin incidencias destacables.

MÉTODO PRÁCTICO DE APLICACIÓN

Aparatos de VAFO

Las características de los aparatos de VAFO disponibles para uso pediátrico se recogen en la tabla 1. El siguiente protocolo, desarrollado por el Grupo de Trabajo respiratorio de la Sociedad Española de Cuidados Intensivos Pediátricos, ha sido diseñado para su uso pediátrico con los modelos 3100A y 3100B de Sensormedics® que, en la práctica, permiten realizar VAFO prácticamente en cualquier paciente, al margen de su peso. La última generación de Sensormedics® 3100B presenta dos diferencias en el cuadro de mandos con respecto a las versiones anteriores y al modelo 3100A: *a)* no tiene mando de "Limit", de modo que la Paw se controla exclusivamente con el mando de "adjust"; y *b)* el pistón se centra automáticamente, por lo que no es necesario centrarlo periódicamente como ocurre en el 3100A. Este mismo protocolo puede utilizarse con pequeñas variaciones con el Stephanie® (v. apartado específico)¹⁻⁴.

Requisitos de monitorización del paciente

1. PVC.
2. PA intraarterial.
3. Monitorización de pH, PO₂ y PCO₂ (arterial discontinuo, transcutáneo o intraarterial continuo [Paratrend®]).

Preparación del ventilador: calibraciones y montaje

El montaje del circuito del paciente es sencillo y lógico, siguiendo las instrucciones del fabricante. No obstante, deben tomarse en consideración algunas precauciones:

1. Asegurar el perfecto estado y colocación de las válvulas de vaciado, control y límite, ya que constituye la causa más frecuente de fallo en las calibraciones. Es esencial que las válvulas encajen perfectamente en el circuito del paciente, así como poner especial cuidado en que no se desajusten al colocar los conectores de rosca de los tubos-sensores correspondientes.

2. Cierre correcto de los cuatro cierres del compartimento oscilatorio (sujeción circuito-diafragma) y de la válvula del desagüe de la trampa de agua (es recomendable colocar un tapón de seguridad-cierre estándar).

3. Una vez conectado el circuito y previamente a la conexión al paciente, deben realizarse las calibraciones obligatorias: del circuito del paciente y de comprobación de funcionamiento del ventilador (figuran en la carcasa del aparato y en el manual del operador). Si no se pasan correctamente las calibraciones, debe buscarse el origen del problema, que en la mayoría de los casos se debe al inadecuado montaje del circuito y/o la existencia de fugas.

Preparación del paciente

1. Control hemodinámico: asegurar una PA media adecuada a la edad del paciente y una PVC de entre 10 y 15 cmH₂O.

Es fundamental mantener una PA media normal para su edad. Las medidas que se deben aplicar serán:

a) Aumentar inicialmente la PVC hasta 10-15 mmHg, utilizándose, si fuera necesario, expansión de volumen con coloides o cristaloides. Si está monitorizada la presión de enclavamiento con catéter de Swan-Ganz se seguirá con la expansión de volumen mientras la PCP sea menor de 15 mmHg.

b) Si la PVC es 10-15 mmHg y no está colocado un catéter de Swan-Ganz, o la PCP es superior a 15 mmHg, instaurar aminas (idealmente dobutamina de 5 a 20 µg/kg/min) o ajustar las dosis si ya las estaba recibiendo.

2. Considerar aumentar previamente el pH con bicarbonato, si es menor de 7,28.

3. Sedación en todos los casos y bloqueo neuromuscular en pacientes mayores de 2 meses, según la tolerancia.

4. Aspirar bien al paciente previamente a la instauración del respirador.

5. Utilizar sistemas de aspiración "cerrados o en línea".

Programación inicial del respirador de VAFO (Sensormedics®)

1. Hacer las dos calibraciones obligatorias del aparato antes de iniciar su uso en cada paciente (fig. 1).

2. FiO₂ al 100%

3. Paw: comenzar con una Paw de 4 a 8 cmH₂O por encima de la Paw que se venía utilizando en el ventilador convencional, con incrementos progresivos de 1-2 cmH₂O según sea necesario hasta lograr un volumen pulmonar óptimo, que será aquel que:

a) Proporcione una SatO₂ que permita disminuir de manera progresiva la FiO₂ a ≤ 60%.

b) Coloque el diafragma a nivel de T8-T9 en la radiografía de tórax.

4. Flujo (*bias flow*): previa conexión al paciente, colocar los mandos de ajuste (*adjust*) de Paw y límite (*limit*)

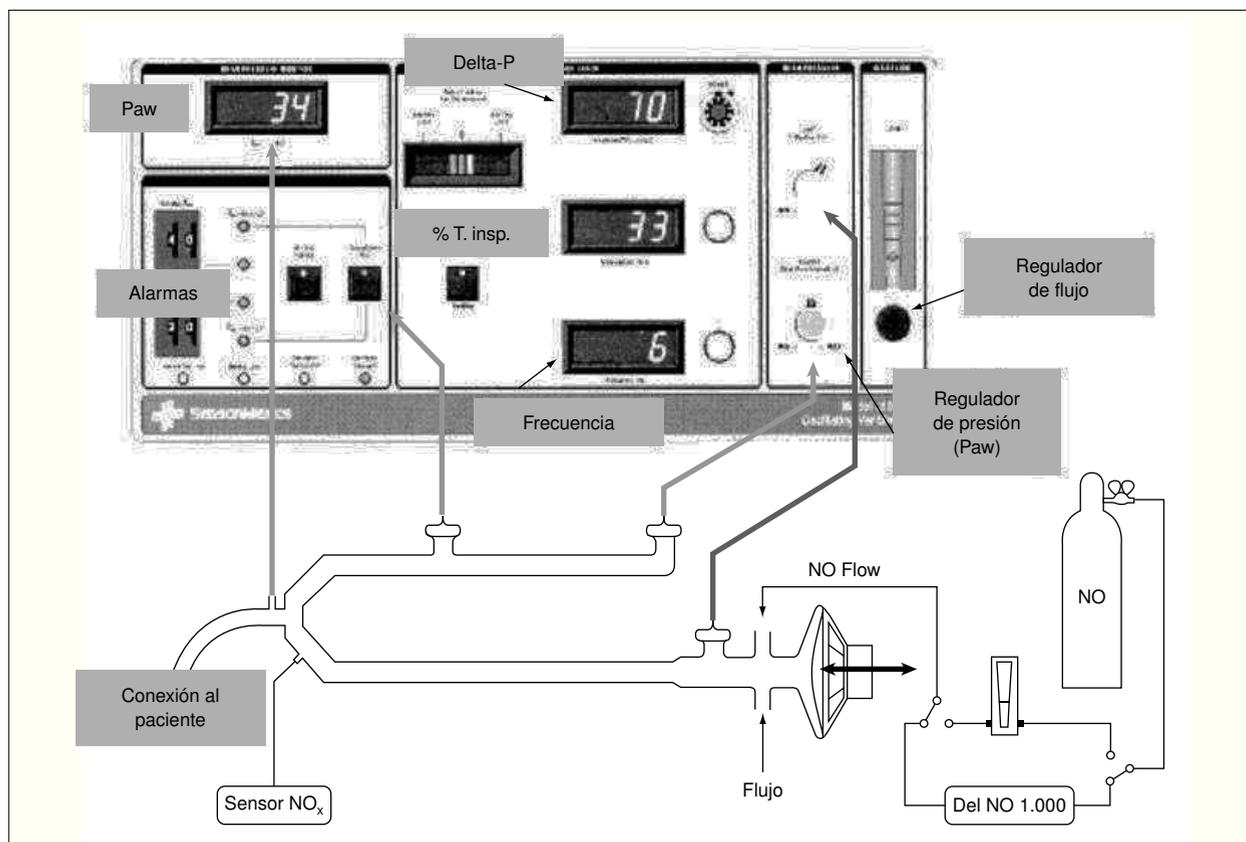


Figura 1. Cuadro de mandos del ventilador Sensormedics 3100A, esquema del circuito, y conexión de óxido nítrico (NO).

en posición máxima en sentido de las agujas del reloj. A continuación aumentar el flujo (*bias flow*) hasta que la Paw sea 12-15 cmH₂O mayor que la deseada. Luego, debe reposicionarse el mando de *limit* 3 cmH₂O por encima de la Paw deseada para finalmente colocar el mando de *adjust* de Paw hasta obtener el valor de la Paw de inicio deseado. Como orientación el flujo (*bias flow*) necesario inicialmente será de 20-30 l/min hasta los 20 kg de peso, 30-40 l/min entre 20 y 50 kg de peso, y mayor de 30 l/min por encima de los 50 kg de peso. Utilizar siempre un flujo mínimo de 20 l/min.

5. Frecuencia: de entrada, se establecerá según el peso del paciente: de 2 a 12 kg, 10 Hz; de 13 a 20 kg, 8 Hz; de 21 a 30 kg, 7 Hz; de > 30 kg, 6 Hz.

6. Amplitud (delta-P): comenzar con un *power setting* de 4.0 y aumentar progresivamente hasta conseguir que la vibración del pecho del paciente llegue hasta el ombligo en el recién nacido y lactante, y hasta el muslo en el niño y adolescente. Por lo general, este patrón de vibración se logra con un delta-P de 15 a 20 cmH₂O por encima de la Paw programada.

7. Porcentaje de tiempo inspiratorio del 33%.

Ventilación de alta frecuencia oscilatoria de pistón (Stephanie®)

Existe un aparato de VAFO de pistón (Stephanie®) cuyas principales diferencias con respecto al Sensorsmedic® son:

1. Inicio: a) seleccionar el modo de ventilación CPAP; b) activar el pistón (mando HFO).
2. Posee un mando de selección de frecuencia y de amplitud.
3. La presión media se regula mediante el mando de PEEP.
4. El porcentaje de tiempo inspiratorio es por defecto del 33%, y puede cambiarse a 40 o 50% entrando en el menú opciones del módulo de alta frecuencia.
5. El flujo no puede regularse.
6. El resto de protocolo de aplicación es similar.

ESTRATEGIA GENERAL DE MANEJO Y MODIFICACIÓN DE PARÁMETROS

El manejo del paciente en VAFO posee peculiaridades diferenciales frente a otros modos de ventilación asistida, cuyo conocimiento es esencial para el éxito de la técnica. En este sentido, la instrucción y sensibilización adecuadas del personal, tanto médico como de enfermería, son factores determinantes en su eficacia¹⁻⁴:

1. *FiO₂*. Debe ser el primer parámetro que debe disminuirse, en función de la gasometría del paciente (*SatO₂* ≥ 90%). Una vez alcanzada una *FiO₂* menor o igual al 60%, se pasará a modificar otros parámetros (véase Paw).

2. *Paw*. Una vez alcanzada una *FiO₂* menor o igual al 60%, se disminuirá la Paw en decrementos de 1 cmH₂O, si es tolerada por el paciente.

3. *Amplitud (delta-P)*. Se disminuirá o aumentará cada vez en 5 cmH₂O según la PaCO₂ deseada (a más delta-P, menor PaCO₂; a menos delta-P, mayor PaCO₂). Cuando sea necesario mejorar la eliminación de CO₂, se aumentará la delta-P en incrementos de 5 cmH₂O hasta alcanzar el máximo delta-P, en cuyo caso, si todavía sigue siendo necesario aumentar la eliminación de CO₂, el siguiente paso será disminuir la frecuencia, de Hz en Hz.

4. *Frecuencia*. Una vez ajustada la frecuencia deseada, debe mantenerse igual durante todo el proceso de ventilación de alta frecuencia. Únicamente se disminuirá en caso de hipercapnia a pesar de un delta-P máximo.

5. *Porcentaje inspiratorio*. Se mantendrá siempre al 33%, salvo que no se pueda disminuir la PaCO₂ a pesar de tener el máximo delta-P y la frecuencia mínima (3 Hz), en cuyo caso se aumentará el porcentaje inspiratorio, manobra ésta de carácter excepcional.

6. *Tasa de flujo*. No es necesario modificarla, salvo en casos de hipercapnia refractaria a otras maniobras, circunstancia en la que se aumentará la tasa de flujo en incrementos de 5 l/min (cada 15-30 min). Es preciso tener en cuenta que, si se aumenta el flujo, debe reajustarse a la baja el mando de *adjust* de Paw para mantener la Paw deseada previa.

La tabla 2 muestra un resumen de la estrategia de modificación de parámetros en función de las principales situaciones gasométricas durante la VAFO.

Criterios y modo de retirada de la VAFO

Criterios de retirada

1. Clínico: el paciente está preparado para la retirada de la VAFO cuando durante la succión y/o desconexión transitorias no se produzcan desaturaciones significativas ni mantenidas (> 10 min), una vez reinstaurada la VAFO.
2. Siguiendo parámetros objetivos: en el momento que el paciente tiene:

- a) *FiO₂* < 40%.
- b) Paw < 15 cmH₂O.
- c) Delta-P < 40 cmH₂O.

Modo de retirada

1. Se puede cambiar a modalidad ventilatoria convencional, recomendándose:

a) Programar el ventilador convencional:

- Modo: controlado por presión.
- Volumen corriente 6-8 ml/kg.
- I:E: 1:1.
- PEEP: 10.
- Paw similar a la usada en VAFO.
- *FiO₂* 10% mayor que la programada en VAFO.

b) Cuando la $FiO_2 \leq 40$, cambiar progresivamente I:E a 1:2.

c) A continuación disminuir progresivamente la PEEP hasta 5 cmH₂O.

d) Paso a espontánea, utilizando CPAP con presión de soporte, u otra modalidad, según criterio médico.

2. Alternativamente, y según la indicación, la VAFO puede mantenerse durante más tiempo, pasando al paciente directamente a ventilación espontánea o a una modalidad no invasiva de presión de soporte.

Criterios de fracaso de la VAFO

1. Fallo en mejorar la oxigenación, entendido como la incapacidad de descender la FiO_2 un 10% en las primeras 24 h de VAFO.

2. Fallo en mejorar o mantener una ventilación adecuada, entendido como la incapacidad de mantener una PCO_2 por debajo de 80-90 cmH₂O con un $pH > 7,25$.

Estos criterios de fracaso son relativos, ya que la única alternativa existente, modalidades de oxigenación por membrana extracorpórea (ECMO), no está disponible en la mayoría de los centros. Por otro lado, el fracaso de la VAFO no indica necesariamente la vuelta a VMC ya que, en muchos casos, los pacientes todavía evolucionarán peor con otras modalidades ventilatorias convencionales.

ASPECTOS PRÁCTICOS DEL MANEJO DEL PACIENTE EN VAFO

Desconexión y desreclutamiento alveolar

El reclutamiento alveolar y “apertura” del pulmón durante la VAFO para lograr el volumen pulmonar “óptimo” es un proceso costoso y en general lento. La desconexión, sea obligada o accidental, supone un importante retroceso en el tratamiento del paciente, ya que se produce un rápido desreclutamiento alveolar, más deletéreo cuanto más inestable esté el paciente, menos tiempo lleve en VAFO y más agresivo sea el soporte ventilatorio que precise. Por ello, deben extremarse las precauciones ante cualquier manipulación del paciente y utilizar sistemas cerrados de aspiración, que permiten realizar la aspiración de secreciones sin desconectar al paciente del ventilador y con una repercusión mucho menor sobre el volumen pulmonar. En caso de desconexión y/o despresurización accidental del ventilador, se dispara la alarma y el oscilador se detiene automáticamente. Para volver a ponerlo en marcha, debe presurizarse el sistema paciente-tubuladura-ventilador antes de encender el oscilador y además se incrementarán de forma transitoria la Paw 1-2 cmH₂O y la FiO_2 al 100%^{1-4,15-17}.

Control clínico del paciente: vibración

El parámetro más importante en el control clínico inicial y evolutivo de la ventilación adecuada del paciente

TABLA 2. Modificación de parámetros durante la VAFO en función de la gasometría*

Situación previa	Intervención
$FiO_2 \leq 0,6$, $PaCO_2$ alta** y PaO_2 normal PaO_2 baja	Aumentar delta-P Aumentar delta-P y aumentar FiO_2 **
PaO_2 alta	Aumentar delta-P y disminuir Paw
$FiO_2 \leq 0,6$, $PaCO_2$ normal y PaO_2 normal PaO_2 baja PaO_2 alta	No realizar cambios Aumentar FiO_2 Disminuir Paw
$FiO_2 \leq 0,6$, $PaCO_2$ baja y PaO_2 normal PaO_2 baja PaO_2 alta	Disminuir delta-P Disminuir delta-P y aumentar FiO_2 Disminuir delta P y disminuir Paw
$FiO_2 > 0,6$, $PaCO_2$ alta** y PaO_2 normal PaO_2 baja PaO_2 alta	Aumentar Delta-P y valorar aumentar Paw Aumentar Delta-P y aumentar Paw *** Aumentar Delta P y disminuir FiO_2
$FiO_2 > 0,6$, $PaCO_2$ normal y PaO_2 normal PaO_2 baja PaO_2 alta	Valorar aumentar Paw Aumentar Paw Disminuir FiO_2
$FiO_2 > 0,6$, $PaCO_2$ baja y PaO_2 normal PaO_2 baja PaO_2 alta	Disminuir delta P (y valorar aumentar Paw) Disminuir delta P y aumentar Paw Disminuir delta P y disminuir FiO_2

*Las intervenciones propuestas son orientativas y basadas exclusivamente en datos gasométricos; en la práctica, debe considerarse siempre la situación particular del paciente, patrón de vibración, volumen pulmonar radiológico y situación hemodinámica, entre otros factores.
**Ante una situación de hipercapnia que persiste tras aspiración de secreciones y exclusión de otras complicaciones agudas, y que es refractaria al incremento máximo de delta-P, aplicaremos, secuencialmente y en este orden, disminución de la frecuencia hasta el mínimo (3 Hz), aumento del porcentaje de tiempo inspiratorio y aumento del *bias-flow*.
***La situación de hipoxia e hipercapnia, al margen de complicaciones agudas (secreciones, migración tubo endotraqueal, etc.), debe sugerir siempre la posibilidad de volumen pulmonar insuficiente, por lo que además de los ajustes de FiO_2 y delta-P, se valorará siempre la necesidad de aumentar Paw .

en VAFO se basa en el “temblor” que ésta origina en el paciente. Este “temblor” o “vibración” no debe estar sólo limitado al área del tórax, sino que debe extenderse hasta el ombligo en el lactante, y hasta la raíz de los miembros inferiores o mitad del muslo en los niños mayores y adultos.

El control de la vibración se considera más sensible que la auscultación en la detección precoz de complicaciones durante la VAFO. Cuando el patrón de vibración del paciente disminuye sin haber cambiado la programación del aparato, lo primero que debe pensarse es que el paciente necesita ser aspirado. Si con una aspiración adecuada no se consigue que el paciente vibre del modo que lo venía haciendo, deberá sospecharse la aparición de alguna complicación mayor y realizar un con-

trol radiológico. Por el contrario, el aumento en el patrón de vibración sin modificación previa en los parámetros puede indicar indirectamente un aumento del volumen pulmonar, por lo que habrá que valorar un ajuste de los parámetros.

Auscultación

Las características de la auscultación durante la VAFO son distintas a la VMC, pero no por ello inútiles.

1. No es posible identificar los ruidos pulmonares normales durante la VAFO.

2. Ruido de la oscilación del diafragma. Se debe prestar atención al tono e intensidad del mismo, y especialmente a su simetría en ambos campos pulmonares. Si deja de ser simétrico, debe valorarse en primer lugar la necesidad de aspiración de secreciones. Si la asimetría persiste tras una aspiración adecuada, será necesario un control radiológico para descartar una migración accidental del tubo endotraqueal e intubación bronquial selectiva, una atelectasia o un neumotórax.

3. Auscultación cardíaca. No es factible durante la oscilación. Si es necesario realizarla, se apagará durante el menor tiempo posible el oscilador (dejarán de oscilar el diafragma y el paciente), sin desconectar al paciente del aparato. De este modo, puede auscultarse el corazón, evitando el "desreclutamiento" y manteniendo el paciente mientras tanto en modo CPAP.

4. Ruido emitido por el aparato: El cambio en las características del ruido emitido por el aparato de VAFO puede indicar un malfuncionamiento del mismo, sobre todo la necesidad de recambio del diafragma.

Aspiración del paciente: sistema cerrado de aspiración

El paciente debe ser aspirado a conciencia previamente a la colocación del aparato de alta frecuencia. Después, se aspirará sólo si lo necesita, sobre todo durante las primeras 24-48 h de VAFO, por el efecto deletéreo de la pérdida del volumen pulmonar óptimo. Aun así, el funcionamiento de la VAFO, especialmente la espiración, es extremadamente sensible a la acumulación de secreciones en el tubo endotraqueal y el paciente debe ser aspirado siempre que disminuya el "temblor" del paciente, se vean secreciones en el tubo, aumente el nivel de carbónico o descienda sin otra explicación la $SatO_2$.

La aspiración se realizará preferiblemente a través de un sistema cerrado de succión, sin desconectar al paciente del ventilador y aumentando de forma transitoria la FiO_2 al 100%. Al colocar un sistema cerrado de aspiración, es importante que el adaptador no sea de menor calibre que la conexión del tubo endotraqueal, ya que se produce un aumento significativo de la $PaCO_2$ en los pacientes en los que se utiliza un adaptador de menor calibre (por la amortiguación de delta-P).

Monitorización respiratoria

2. *Pulsioximetría*. Constituye la guía para ajustar la FiO_2 . Por lo general, su medición no se interfiere por la VAFO, aunque la fiabilidad varía en función del tipo de pulsioxímetro utilizado y el tamaño del paciente: en los niños más pequeños, el temblor que la VAFO produce puede originar interferencias constantes que no siempre son identificables en la curva del pulso y que dan lugar a lecturas erróneas.

2. *PaO_2 y $PaCO_2$* . A través de controles gasométricos, que deben ser al menos horarios durante la estabilización inicial del paciente (primeras 6 h); la periodicidad posterior dependerá de la evolución del paciente y se hará siempre que se modifiquen los parámetros del aparato. Alternativamente puede utilizarse la monitorización transcutánea de O_2 y CO_2 , o mejor la intraarterial invasiva continua Paratrend® (Philips Medical Systems), que además de permitir una evaluación continua en tiempo real de los parámetros gasométricos, agiliza, rentabiliza y aumenta el rango de seguridad de las maniobras de reclutamiento, así como el ajuste inmediato de parámetros y la detección precoz de complicaciones. No es posible la realización de capnografía durante la VAFO.

3. *Radiografía de tórax*. La primera radiografía de tórax debe realizarse una hora después de la colocación del paciente en VAFO, para determinar si el volumen pulmonar es correcto (nivel diafragmático en 8.^a-9.^a costilla), especialmente cuando aún no se está familiarizado con la técnica. Más tarde, debe repetirse cada 6 h hasta la estabilización del paciente. La pauta posterior será según indicación médica, y siempre que se tengan dudas de si existe sobre o infradistensión pulmonar, o se sospeche la presencia de alguna complicación. La radiografía sirve para determinar si el volumen pulmonar durante la VAFO es adecuado, por lo que debe realizarse siempre con el oscilador funcionando, y poniendo especial cuidado en evitar la desconexión accidental del ventilador durante el procedimiento.

Monitorización hemodinámica

Es esencial monitorizar la frecuencia cardíaca, PA media, PVC, tiempo de relleno capilar y, según el paciente, gasto cardíaco, saturación venosa mixta y presión de enclavamiento.

Analgesia y relajación neuromuscular

El paciente será sedado y/o paralizado, no sólo para garantizar una ventilación adecuada, sino para prevenir la sensación de disnea que la VAFO puede producir en el paciente consciente o semiconsciente al no producirse una expansión/contracción fisiológica del tórax.

La paralización se recomienda durante el reclutamiento inicial, y casi imprescindible en enfermedades específicas como los escapes aéreos o los cuadros con resistencias aumentadas de la vía aérea. La retirada de la relajación

neuromuscular se realizará según la tolerancia del paciente a la modalidad ventilatoria.

Cuidados generales del paciente

La inmovilización del paciente junto con las vibraciones de alta frecuencia pueden favorecer la aparición de lesiones cutáneas de decúbito. En este sentido, es aconsejable utilizar un colchón antiescaras, además de intensificar los cambios posturales. Aunque la utilización de colchones de aire no se recomienda por su posible interferencia en la frecuencia de resonancia de la caja torácica durante la VAFO, nosotros no hemos tenido problemas en los casos en los que los hemos utilizado.

Colocación del paciente y posición de la tubuladura

La cabeza del paciente debe orientarse por lo general hacia el ventilador, garantizando en cualquier caso que la tubuladura tenga una ligera inclinación descendente hacia el aparato, para permitir el drenaje de agua y/o secreciones hacia el depósito situado debajo del diafragma. El paciente puede ser ventilado en decúbito supino, lateral o prono, si bien esta última posición dificulta el control clínico del patrón de vibración del paciente.

Humidificación y calentamiento

Se puede utilizar cualquier sistema convencional de humidificación y calentamiento, intercalado en el circuito del paciente. Las calibraciones iniciales deben realizarse con el humidificador ya colocado. El único cuidado especial añadido es el vaciado frecuente y parcial del depósito de agua, dejando un sello de líquido que evite el cambio en las presiones del sistema.

EFFECTOS SECUNDARIOS

A pesar de su papel protector del pulmón, la VAFO no elimina el riesgo del daño pulmonar agudo y, además, tiene una morbimortalidad asociada dependiente de la experiencia del equipo que realiza la técnica y/o de la aplicación inadecuada de ésta. La mortalidad global de los pacientes pediátricos ventilados con VAFO oscila entre el 33 y el 45%, siendo mayor del 85% la mortalidad de los pacientes que no responden a la técnica^{18,19}.

1. La principal complicación es la aparición de nuevos síndromes de escape aéreo (20-25% de los casos).

2. Repercusión hemodinámica. Algunos trabajos que sugieren que la VAFO puede disminuir el retorno venoso de la circulación sistémica al comprometer la circulación pulmonar cuando el alvéolo es sobredistendido. Sin embargo, esta disminución del llenado ventricular izquierdo puede prevenirse mediante un manejo adecuado de los líquidos y soporte inotrópico; más aún, existen algunos datos que apuntan que las interferencias de la VAFO sobre la función miocárdica y el gasto cardíaco, son similares o menores que en la VMC con presiones medias y/o PEEP equivalentes.

ESTRATEGIA DE VAFO EN SITUACIONES ESPECIALES

Escape aéreo grosero

Se aplicará una estrategia de hiperoxia e hipercapnia permisivas¹⁻¹⁶.

1. Comenzar con una Paw similar a la que venía utilizando en VMC, aún a expensas de utilizar una FiO₂ más alta ("hiperoxia permisiva"): de forma ideal ajustar la Paw por debajo de la "presión de fuga". Dicha presión se determina mediante ventilación manual con bolsa autoinflable y un transductor de presión, siendo la presión a partir de la cual aparecen burbujas en el drenaje torácico. Si la presión de fuga es menor de 15 cmH₂O, es posible que la Paw ajustada a este nivel sea insuficiente para mantener una oxigenación adecuada, en cuyo caso difiriremos dicha estrategia hasta que la presión de fuga alcance los 15 cmH₂O. En estos casos, priorizar el descenso de Paw al descenso de la FiO₂.

2. La frecuencia inicial será de 2 Hz por debajo de la correspondiente para su peso.

3. Programar el delta-P mínimo que garantice un pH > 7,25 (hipercapnia permisiva).

4. Se realizará relajación neuromuscular del paciente.

Cuadros obstructivos-resistencias aumentadas: asma, bronquiolitis

En los cuadros con patrón obstructivo: asma o bronquiolitis aguda de cualquier etiología, la estrategia que debe emplearse incluye ciertas variaciones orientadas a minimizar los riesgos de atrapamiento y/o barotrauma:

1. Establecer una Paw inicial, únicamente 1-2 cm por encima de la que se estaba empleando en VMC.

2. La frecuencia será de 1-2 Hz por debajo de la estimada en función del peso, para proporcionar un tiempo espiratorio más largo.

3. Programar un delta-P mínimo que garantice un pH > 7,25.

4. Flujo de 5-10 l/min por encima del correspondiente, con reajuste de la Paw al nivel deseado.

5. Relajación neuromuscular del paciente.

Patología combinada

En los casos de patología combinada, la estrategia aplicada debe individualizarse, dependiendo de la situación del paciente y el predominio de cada enfermedad. Idealmente, en el caso de coexistir escape aéreo y SDRA, trataremos de solucionar en primer lugar la fuga (hiperoxia e hipercapnia permisivas), para posteriormente, realizar la estrategia de SDRA (estrategia general de reclutamiento, con prioridad en descenso de FiO₂).

Terapia con óxido nítrico

La fuente de NO se coloca habitualmente en el puerto del circuito más proximal al ventilador, y el sensor del

monitor de NO en el más distal (v. fig. 1); o alternatively, la fuente de NO se pone en "T" a nivel del humidificador, y el sensor en alguno de los tres puertos del circuito (en general, en el más proximal al ventilador).

Ventilación en pronó

Tiene las mismas indicaciones, limitaciones y complicaciones que durante la VMC. Se debe prestar especial atención en evitar la desconexión accidental durante el cambio postural, así como a la variación en el patrón de vibración del paciente (mayor amortiguación y extensión diferente).

Terapia con helio

No existen en el momento actual, dispositivos comerciales específicamente diseñados para la realización de VAFO con gas helio. En la práctica, lo que hacemos es conectar la toma de aire a la fuente de gas helio. Es importante tener en consideración varias precauciones: 1) calentar adecuadamente el gas, para evitar la inducción de hipotermia, especialmente en los pacientes más pequeños; 2) establecer controles externos de la FiO₂ entregada, si se utiliza helio puro, para evitar la administración de una mezcla hipóxica; y 3) realizar controles clínicos estrechos, puesto que los volúmenes entregados según la presión y la FiO₂ programadas, varían con respecto a la utilización de aire-oxígeno, y sólo podemos determinarlos estimativamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Martinón-Torres F, Pérez Gil J, Ginesta V, Martinón Sánchez JM, Álvarez J. Ventilación de alta frecuencia oscilatoria: pasado, presente y futuro. *Act Anest Reanim* 2001;11:136-49.
- Martinón-Torres F, Rodríguez Núñez A, Martinón Sánchez JM. Ventilación de alta frecuencia oscilatoria en pacientes pediátricos. En: López-Herce, editor. *Manual de Cuidados Intensivos Pediátricos*. Publimed: Madrid, 2001; p. 644-650.
- Arnold JH. High-frequency ventilation in the pediatric intensive care unit. *Pediatr Crit Care Med* 2000;1:93-9.
- Priebe GP, Arnold JH. High-frequency oscillatory ventilation in pediatric patients. *Respir Care Clin North Am* 2001;7:633-45.
- Hudson L. Progress in understanding ventilator induced lung injury. *JAMA* 1999;282:77-8.
- Imai Y, Nakagawa S, Ito Y, Kawano T, Slutsky AS, Miyasaka K. Comparison of lung protection strategies using conventional and high-frequency oscillatory ventilation. *J Appl Physiol* 2001; 91:1836-44.
- Rotta AT, Gunnarsson B, Fuhrman BP, Hernán LJ, Steinhorn DM. Comparison of lung protective ventilation strategies in a rabbit model of acute lung injury. *Crit Care Med* 2001;29: 2176-84.
- Martinón-Torres F, Rodríguez Núñez A, Jaimovich DG, Martín Sánchez JM. Ventilación de alta-frecuencia oscilatoria en pacientes pediátricos: protocolo de aplicación y resultados preliminares. *An Esp Pediatr* 2000;53:305-13.
- Duval EL, Markhorst DG, Gemke RJ, Van Vught AJ. High-frequency oscillatory ventilation in pediatric patients. *Neth J Med* 2000;56:177-85.
- Arnold JH, Hanson JH, Toro-Figuero LO, Gutiérrez J, Berens RJ, Anglin DL. Prospective, randomized comparison of high-frequency oscillatory ventilation and pressure controlled ventilation in pediatric respiratory failure. *Crit Care Med* 1994;22: 1530-9.
- Arnold JH, Anas NG, Luckett P, Cheifetz IM, Reyes G, Newth C, et al. High-frequency oscillatory ventilation in pediatric respiratory failure: A multicenter experience. *Crit Care Med* 2000;28: 3913-9.
- Dobyns EL, Anas NG, Fortenberry JD, Deshpande J, Cornfield DN, Tasker RC, et al. Interactive effects of high-frequency oscillatory ventilation and inhaled nitric oxide in acute hypoxemic respiratory failure in pediatrics. *Crit Care Med* 2002;30: 2425-9.
- Marraro GA. Innovative practices of ventilatory support with pediatric patients. *Pediatr Crit Care Med* 2003;4:8-20.
- Duval EL, Van Vught AJ. Status asthmaticus treated by high-frequency oscillatory ventilation. *Pediatr Pulmonol* 2000;30:350-3.
- Oreiro Vilacoba MD, Martínez Pérez L, Hervés Rego M, Ageitos Lema A, Martinón-Torres F. Ventilación de alta frecuencia oscilatoria en pacientes pediátricos. Aspectos teóricos y prácticos de enfermería. *Revista ROL Enf* 2001;24:838-46.
- Martinón-Torres F. High frequency oscillatory ventilation: "Please, keep your eyes on me", said the patient. *Pediatrics* 2002; 109:554-5.
- Berkenbosch JW, Tobias JD. Transcutaneous carbon dioxide monitoring during high-frequency oscillatory ventilation in infants and children. *Crit Care Med* 2002;30:1024-7.
- Cheifetz IM, Meliones JN. Hemodynamic effects of high-frequency oscillatory ventilation: A little volume goes a long way. *Crit Care Med* 2000;28:282-4.
- Goodman AM, Pollack MM. Hemodynamic effects of high-frequency oscillatory ventilation in children. *Pediatr Pulmonol* 1998;25:371-4.

Abreviaturas

CPAP: presión positiva continua en vía aérea.	PO ₂ : presión parcial de oxígeno.
FiO ₂ : fracción inspiratoria de oxígeno.	PVC: presión venosa central.
PA: presión arterial.	PvO ₂ : presión parcial venosa de oxígeno.
PaCO ₂ : presión parcial arterial de anhídrico carbónico.	SatHb: saturación arterial de la hemoglobina.
PACO ₂ : presión parcial alveolar de anhídrico carbónico.	SatO ₂ : saturación de oxígeno en sangre arterial.
PaO ₂ : presión parcial arterial de oxígeno.	SIMV: ventilación mecánica intermitente
PAO ₂ : presión parcial alveolar de oxígeno.	mandatoria sincronizada.
Paw: presión media de la vía aérea.	VC: volumen corriente.
PCP: presión capilar pulmonar.	VM: ventilación mecánica.
PCO ₂ : presión parcial de anhídrico carbónico.	VMC: ventilación mecánica convencional.
PEEP: presión positiva telespiratoria.	VNI: ventilación no invasiva.
PH ₂ O: presión del vapor de agua.	VNIP: ventilación no invasiva con presión positiva.