

Ventilación de alta frecuencia oscilatoria en pacientes pediátricos. Protocolo de aplicación y resultados preliminares

F. Martín Torres^a, A. Rodríguez Núñez^a, D.G. Jaimovich^b y J.M. Martín Sánchez^a

^aServicio de Críticos y Urgencias Pediátricas. Hospital Clínico Universitario de Santiago de Compostela. ^bPediatric Critical Care Division. Hope Children's Hospital. Chicago. Illinois.

(*An Esp Pediatr* 2000; 53: 305-313)

Antecedentes

La ventilación de alta frecuencia oscilatoria (VAFO) constituye un avance significativo en el manejo de niños con enfermedades respiratorias críticas. Aunque utilizada fundamentalmente como técnica de "rescate pulmonar", las indicaciones pediátricas de la VAFO pueden ser más amplias. Sus ventajas fundamentales sobre la ventilación convencional son la menor incidencia de barotrauma, volutrauma, atelectrauma y biotrauma. La experiencia con VAFO en nuestro país es escasa y limitada a pacientes neonatales.

Objetivos

Presentar el protocolo de VAFO y analizar los resultados preliminares de su aplicación prospectiva.

Material y métodos

Se estableció un protocolo de aplicación de VAFO con los siguientes criterios de inclusión: insuficiencia respiratoria grave de cualquier etiología (infecciosa, inhalatoria, etc.) con un índice de oxigenación superior a 13 en dos muestras arteriales con un intervalo de 6 h, síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA) refractario, infección pulmonar grave por virus respiratorio sincitial y síndromes de amplio escape aéreo (neumotórax, neumoperitoneo, neumomediastino, etc.). Se recogieron los parámetros ventilatorios, gasométricos y hemodinámicos en modalidad convencional y en VAFO en los pacientes a los que se aplicó durante un período de 5 meses, y se analizaron las primeras 24 h.

Resultados

Se aplicó la VAFO a 6 pacientes de edades comprendidas entre 3 días y 8 años, con pesos comprendidos entre 4 y 80 kg. Su indicación fue la presencia de SDRA refractario en todos los casos. El índice de oxigenación medio

pretratamiento fue de 45,9. Tras una hora de VAFO, este índice presentó un valor medio de 23,9. La mejoría progresiva del índice de oxigenación se mantenía a las 24 h. En todos los casos se consiguieron valores normales de PCO₂ y fue posible disminuir la FiO₂ por debajo de 0,6 antes de las 3 h de tratamiento. No se detectaron efectos adversos relacionados con la VAFO. La evolución clínica global fue satisfactoria en 2 casos, mientras que los otros cuatro fallecieron por fracaso multiorgánico.

Conclusiones

La VAFO constituye una clara opción para el soporte ventilatorio de niños en estado crítico en los que las modalidades convencionales no resultan eficaces. Para obtener los mejores resultados, debería utilizarse de forma precoz. Todo niño con fracaso respiratorio refractario subsidiario de VAFO debe ser trasladado lo más pronto posible a un centro que disponga de esta técnica.

Palabras clave:

Ventilación de alta frecuencia oscilatoria. Síndrome de distrés respiratorio agudo. Insuficiencia respiratoria aguda. Ventilación mecánica. Intercambio gaseoso pulmonar. Unidades de cuidados intensivos pediátricos. Niños.

HIGH-FREQUENCY OSCILLATORY VENTILATION IN PEDIATRIC PATIENTS. PROTOCOL AND PRELIMINARY RESULTS

Background

High-frequency oscillatory ventilation (HFOV) constitutes an important advance in the management of children with respiratory failure. Although it has been used mainly as "lung rescue therapy", pediatric indications for HFOV can be broader. The principal advantages of this

Correspondencia: Dr. F. Martín Torres. UCI Pediatría. Hospital Clínico Universitario de Santiago de Compostela.
A Choupana, s/n. 15706 Santiago de Compostela.
Correo electrónico: fedemartinon@hotmail.com

Recibido en junio de 2000.

Aceptado para su publicación en julio de 2000.

modality compared with conventional ventilation are the lower incidence of barotrauma, volutrauma, atelectrauma and biotrauma. To date, experience with HFOV in our country has been scarce and limited to neonatal patients.

Objetives

To describe the HFOV protocol for pediatric patients and to report the preliminary results of its prospective application.

Methods

An HFOV protocol was established with the following inclusion criteria: severe respiratory insufficiency of any origin (infectious, inhalatory, etc.) with an oxygenation index (OI) > 13 in two arterial blood gases within a 6-hour interval, refractory acute respiratory distress syndrome (ARDS), severe respiratory syncytial virus pneumonia, and gross airleak syndromes (pneumothorax, pneumoperitoneum, pneumomediastinum, etc.). Conventional and HFOV ventilatory, gasometric and hemodynamic parameters of patients included in the protocol during a 5-month period were registered, and the first 24 hours were analyzed.

Results

Six patients aged between 3 days and 8 years, weighing between 4 and 80 kg met the inclusion criteria. In all patients HFOV was indicated due to severe refractory ARDS. The pre-HFOV mean OI was 45.9. After 1 hour of HFOV mean OI decreased to 23.9 and continued to improve during the first 24 hours. In all patients, normal arterial PO₂ and PCO₂ were obtained and FiO₂ could be set below 0.6 within the first 3 hours of HFOV. No complications associated with HFOV were detected. Outcome was satisfactory in two patients while four patients died secondary to multiorgan failure.

Conclusions

HFOV is a safe and effective ventilatory modality in critically ill pediatric patients in whom conventional ventilation is not effective. To obtain better results, HFOV should be started early. Every child with refractory respiratory failure should be referred early to centers where HFOV can be offered.

Key words:

High-frequency ventilation. Lung diseases. Pulmonary gas exchange. Pediatric intensive care units. Respiratory distress syndrome. Respiratory insufficiency. Children.

INTRODUCCIÓN

La ventilación de alta frecuencia oscilatoria (VAFO) constituye uno de los avances más importantes en el manejo de niños con enfermedades respiratorias críticas¹⁻⁵. Esta modalidad respiratoria se caracteriza por la utilización de volúmenes ventilatorios muy pequeños (menores que el espacio muerto alveolar) a frecuencias respiratorias suprafisiológicas (entre 4 y 15 Hz, 240-900 rpm)^{2,6}. A diferencia de otras modalidades de ventilación de alta frecuencia, en la VAFO la espiración es activa, lo que permite manejar de forma independiente la

oxigenación y la ventilación^{1,6-8}. Aunque inicialmente la VAFO se desarrolló para pacientes pretérmino, actualmente existen aparatos cuyas características técnicas hacen factible la realización de VAFO sin limitaciones derivadas del peso del paciente.

Si bien se ha utilizado fundamentalmente como técnica de "rescate pulmonar" y en pacientes neonatales⁹⁻¹², las indicaciones pediátricas de VAFO son cada día más numerosas, observándose además que sus beneficios son mayores cuando su aplicación es precoz^{4,5,9,13-15}. Las principales ventajas de la VAFO frente a la ventilación mecánica convencional radicarían en una mayor protección del pulmón, reflejada por la menor incidencia de barotrauma, volutrauma, atelectrauma y biotrauma¹⁶⁻²⁰.

La experiencia con VAFO en nuestro país es escasa y limitada fundamentalmente a pacientes neonatales, en los que han fracasado previamente otras modalidades de ventilación convencional y/o de alta frecuencia²¹. No existe experiencia publicada sobre su utilización en niños mayores o adultos, si bien existen múltiples situaciones clínicas en las que puede ser útil.

Por este motivo, presentamos el protocolo de VAFO establecido y los resultados preliminares de su aplicación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Población de estudio, criterios de inclusión y exclusión

Se consideraron candidatos a la VAFO todos los niños ingresados en la unidad de cuidados intensivos pediátricos entre enero y marzo de 2000, que presentasen alguno de los siguientes criterios:

1. 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 (índice de oxigenación = $100 \times \text{FiO}_2 \times \text{presión media vía aérea}/\text{PaO}_2$).
2. Síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA) grave o infección pulmonar grave por virus respiratorio sincitial (VRS) que precisa:
 - FiO₂ en aumento.
 - Modo controlado por presión con relación inspiración/espiración invertida.
 - Ajuste de PEEP.
3. Síndromes de amplio escape aéreo (neumotórax, neumoperitoneo, neumomediastino, etc.).

Se consideraron como criterios relativos de exclusión los siguientes: existencia de resistencias en la vía aérea muy aumentadas, presión intracraneal elevada, presión arterial media por debajo de percentiles, y/o dependencia de flujo sanguíneo pulmonar pasivo (p. ej., Fontan). Dichos criterios de exclusión son aplicados de forma in-

dividualizada en cada caso, valorándose la relación riesgo/beneficio.

Los restantes apartados del protocolo de aplicación de VAFO, esto es, requisitos de monitorización, preparación del paciente, control hemodinámico, programación inicial del respirador de VAFO, estrategia de manejo y modificación de parámetros, criterios y modo de supresión de VAFO y criterios de fracaso de VAFO, se detallan en el apéndice.

Recogida de datos

Siguiendo el protocolo, se recogieron los datos ventilatorios, gasométricos y hemodinámicos pre-VAFO (momento 0) y periódicamente durante la VAFO. Se analizaron los datos de los pacientes en el momento 0, y 1, 3, 6, 12 y 24 h después del inicio de la VAFO.

RESULTADOS

Entre enero y mayo de 2000, cumplieron criterios de inclusión 6 pacientes con edades comprendidas entre 3 días y 8 años (tabla 1). El peso estuvo comprendido entre 4 y 80 kg. En todos los casos la indicación de VAFO fue la presencia de SDRA refractario a la ventilación mecánica convencional (VMC) optimizada, cuyos parámetros se presentan en la tabla 1. El índice de oxigenación en el momento de ser incluidos en el protocolo, estaba por encima de 40 en todos los casos (IO medio = 45,9; rango 41,2-58,3) (tabla 1). En la tabla 2 se exponen los parámetros de programación inicial del ventilador de alta frecuencia oscilatoria en cada paciente. En la tabla 3 se recogen los valores medios y el rango de índice de oxigenación (IO), PO_2 arterial (mmHg), PCO_2 arterial (mmHg), FiO_2 , presión media en vía aérea (Paw) y Delta-P (ΔP) en el momento pretratamiento y 1, 3, 6, 12 y 24 h después de iniciarse la VAFO.

En todos los pacientes incluidos en el estudio la VAFO logró una notable recuperación del índice de oxigenación (fig. 1). Tras una hora del inicio de la VAFO, el índice de oxigenación presentaba una mejoría significativa, con un valor medio de 23,9, lo que suponía una mejoría media del 48% respecto al inicial. A las 24 h, el IO había alcanzado valores próximos a la normalidad, con un valor medio de 8,1 (tabla 3; fig. 1). La PO_2 mejoró significativamente en la primera hora de tratamiento con VAFO, pasando de una PO_2 media de 58,7 mmHg a una PO_2 media de 99,1 mmHg, valor por debajo del cual no descendió en las 24 h analizadas (fig. 2). En todos los casos se consiguieron valores normales de PCO_2 y fue posible disminuir la FiO_2 por debajo de 0,6 antes de las 3 h de tratamiento (figs. 3 y 4; tabla 3). Además de la mejoría en el índice de oxigenación y parámetros gasométricos, la VAFO propició un importante progreso clínico y radiológico en todos los casos.

Los pacientes permanecieron con VAFO entre 36 y 170 h. En ningún caso se detectaron efectos adversos re-

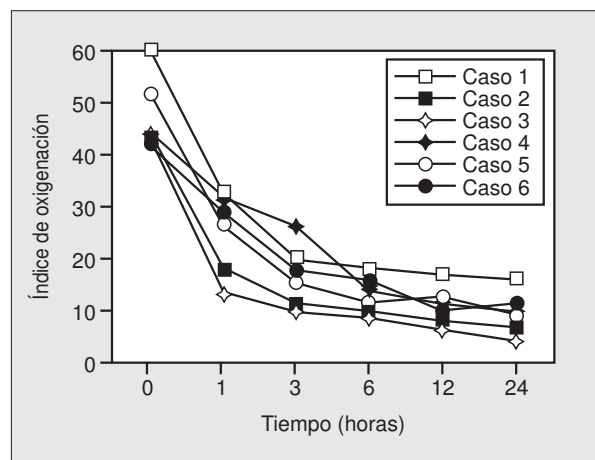


Figura 1. Evolución del índice de oxigenación durante las primeras 24 h de VAFO.

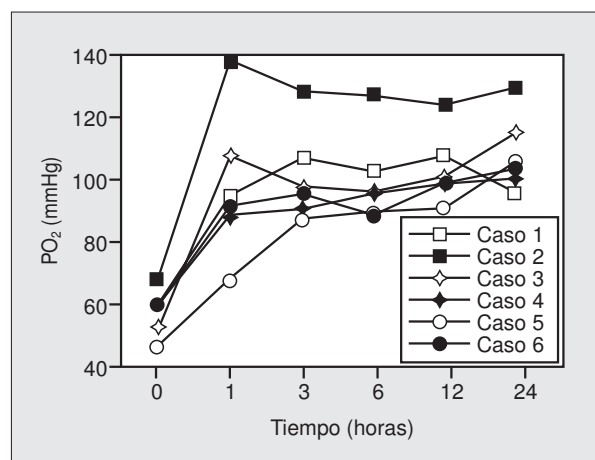


Figura 2. Evolución de la PO_2 arterial en cada paciente durante las primeras 24 h de VAFO.

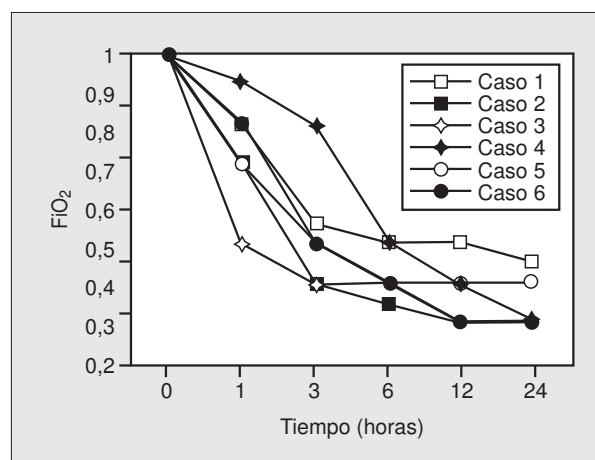


Figura 3. Evolución de la FiO_2 durante las primeras 24 h de VAFO. Nótese cómo la FiO_2 pudo disminuirse por debajo del 60% antes de las 3 h en 5 casos y antes de las 6 h en todos los casos.

TABLA 1. Resumen de datos del estudio. Indicaciones, parámetros de la ventilación mecánica convencional y gasométricos previos al inicio de VAFO

Caso	Edad	Peso	Indicación	Diagnóstico	Tiempo VMCO	Tiempo VAFO	PIP (cmH ₂ O)	Paw (cmH ₂ O)
1	8 años	81 kg	SDRA refractario. Fracaso VMCO (CPIEI) ON e hipercapnia permisiva	Neumonía grave viral. Sepsis. Fracaso multiorgánico	4 días	170 h	50	35
2	6 meses	6 kg	SDRA refractario. Fracaso VMCO (CPIEI) ON e hipercapnia permisiva	Síndrome hepatorenal. Sepsis. Fracaso multiorgánico.	26 h	36 h	40	29
3	3 días	4 kg	SDRA refractario. Fracaso VMCO (CPIEI) ON e hipercapnia permisiva	Hidrops fetal no inmune. Sepsis. Fracaso multiorgánico.	10 h (+ 2 h VAFNO)	40 h	41	23
4	10 meses	6 kg	SDRA refractario. Fracaso VMCO (CPIEI) ON e hipercapnia permisiva	Neumonía grave. Insuficiencia renal aguda. Sepsis.	12 h	140 h	45	26
5	4 años	24 kg	SDRA refractario. Fracaso VMCO (CPIEI) ON e hipercapnia permisiva	Neumonía grave. Sepsis. Glucogenosis	3 años + 36 h UCIP	84 h	37	23
6	13 meses	5,5 kg	SDRA refractario. Fracaso VMCO (CPIEI) ON e hipercapnia permisiva	Sepsis. Fracaso multiorgánico	5 días	120 h	51	25

VAFO: ventilación de alta frecuencia oscilatoria; VMCO: ventilación mecánica convencional optimizada; IO: índice de oxigenación; Paw: presión media vía aérea; I/E: relación inspiración/espирación; ON: óxido nítrico; Prono: ventilación en decúbito prono; VAFNO: ventilación de alta frecuencia no oscilatoria; PIP: pico de presión inspiratoria

TABLA 2. Parámetros iniciales (momento 0) programados en el ventilador de alta frecuencia oscilatoria

Caso	Paw (cmH ₂ O)	Delta-P (cmH ₂ O)	Frecuencia (Hz)	Porcentaje inspiratorio	Tiempo VAFO
1	38	83	6	33	170
2	34,9	59	10	33	36
3	27	49	12	33	40
4	30	60	11	33	140
5	26	66	9	33	84
6	32,1	55	11	33	120

TABLA 3. Valores medios del índice de oxigenación (IO), PO₂ arterial (mmHg), PCO₂ arterial (mmHg), FiO₂, presión media en vía aérea (Paw) (cmH₂O) y amplitud (Delta-P) (cmH₂O) en el momento pretratamiento y 1, 3, 6, 12 y 24 h después de iniciar la VAFO

Horas	IO	PO ₂	PCO ₂	FiO ₂	Paw	Delta-P
0	45,9 (58,3-41,2)	58,7 (69-46)	98,6 (131-48)	100 (100-100)	26,8*/31,3** (35-23/38-26)	62 (83-49)
1	23,9 (31-11,8)	99,1 (140-68)	44,9 (47-40,6)	73,3 (90-50)	31 (38-26)	58 (80-48)
3	15,7 (25,5-9,2)	102,3 (130-89)	40,4 (46,2-35)	52,5 (80-40)	30 (37-23)	55,6 (77-43)
6	12,2 (17,3-8,5)	101,7 (129-90)	40,9 (48-34,6)	42,5 (50-35)	28,8 (36-21)	53,1 (77-42)
12	9,7 (16-5,8)	105,1 (125,3-93)	40,6 (47-36,7)	36,6 (50-30)	27,6 (35-20)	51,5 (76-41)
24	8,1 (15,3-3,8)	108,7 (130,2-97)	39,5 (44-35)	34,1 (45-30)	25 (33-15)	49 (75-37)

*Paw en VMC justo antes de iniciar VAFO. **Paw inicial en VAFO. Entre paréntesis figura el rango.

PEEP (cmH ₂ O)	Relación I/E	FiO ₂	PO ₂ (mmHg)	PCO ₂ (mmHg)	IO
16	1,5/1	100	60	115	58,3
14	2/1	100	69	48	42
9	1,7/1	100	54	57	42,6
6	1,5/1	100	63	121	41,2
11	1,5/1	100	46	131	50
10	1,2/1	100	60,2	119,9	41,5

lacionados con la técnica. La evolución clínica global fue satisfactoria en dos casos mientras que los otros cuatro fallecieron a consecuencia de un fracaso multiorgánico.

DISCUSIÓN

La VAFO constituye una clara opción para el soporte ventilatorio de niños en estado crítico en los que las modalidades convencionales no resultan eficaces¹⁻⁵. Esta modalidad de ventilación mecánica, a diferencia de los modos convencionales, trata de "abrir el pulmón y mantenerlo abierto"¹⁹, utilizando para ello volúmenes muy pequeños (1-2 ml/kg en comparación con los 8-10 ml/kg utilizados en VMC) a frecuencias suprafisiológicas (240-900 rpm en comparación con las 15-30 rpm utilizadas en VMC)^{2,6-8}. El modo por el que se produce el intercambio gaseoso durante la VAFO no está completamente aclarado, aunque se sabe que intervienen diferentes mecanismos tales como la difusión molecular, el mezclado cardiogénico, la dispersión de Taylor, el perfil de velocidad asimétrica, la dispersión aumentada, o el efecto Pendeluft, entre otros^{2,6-8}. En cualquier caso, en la VAFO, oxigenación y ventilación están desacopladas, de tal modo que podemos manejarlas de manera independiente. Además, a diferencia de otras modalidades de alta frecuencia, la espiración es activa, por lo que la eliminación de carbónico es más eficaz y controlable, y el atrapamiento de aire, menor^{1,2,8}. Hasta hace poco, una de las limitaciones en su aplicación en niños mayores era que los ventiladores existentes no proporcionaban flujos de gas, rangos de presiones y amplitudes suficientes para niños con un peso mayor de 2 kg. En la

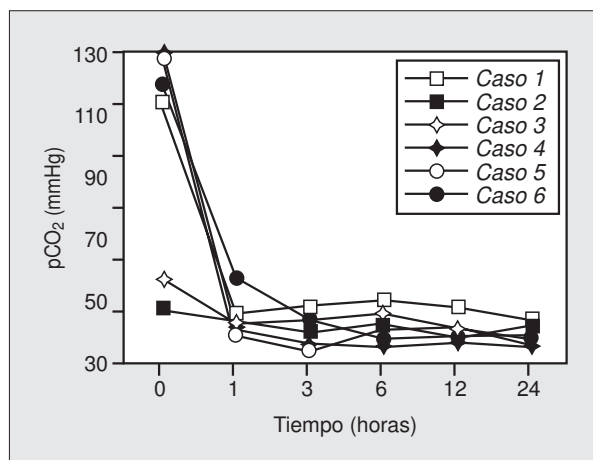


Figura 4. Evolución de la PCO₂ arterial durante las primeras 24 h de VAFO.

actualidad disponemos de aparatos cuyas características técnicas permiten realizar VAFO sin limitaciones por el peso del paciente (Sensormedics® 3100B). Por otro lado, esta técnica de ventilación artificial es compatible con la utilización simultánea de otras modalidades terapéuticas respiratorias tales como el óxido nítrico, la ventilación en prono, la insuflación traqueal o la ventilación líquida parcial, entre otras²²⁻²⁴.

Las principales ventajas de la VAFO frente a cualquier otra modalidad de ventilación convencional radican en sus características protectoras sobre el pulmón, y la menor incidencia de daño pulmonar inducido por la ventilación (DPIV)^{16-20,25-27}. Se ha demostrado que además de la sobredistensión epitelial inspiratoria, el colapso y reexpansión repetido de los alvéolos en la ventilación mecánica convencional origina fuerzas de cizallamiento que contribuyen en gran medida al desarrollo de DPIV^{19,26,27}. Este daño se manifiesta por la producción de fuga aérea, alteraciones en el balance líquido pulmonar, alteraciones en la permeabilidad endotelial y capilar, daño tisular grave, y producción de mediadores inflamatorios pulmonares y sistémicos que pueden iniciar potencialmente una serie de efectos que lleven al desarrollo y perpetuación del daño pulmonar, así como una respuesta inflamatoria sistémica²⁵. La pequeña presión de amplitud que utiliza la VAFO, junto con el mantenimiento del volumen pulmonar óptimo de manera constante, disminuyen significativamente la incidencia de DPIV¹⁹. Igualmente, además de la menor incidencia de barotrauma, volutrauma y atelectrauma, la VAFO ha demostrado ser eficaz en la reducción del biotrauma, reflejado por una menor infiltración y acumulación proteica alveolar, una menor acumulación de polimorfonucleares, y la presencia de valores menores de tromboxano B₂ o factor activador de plaquetas, entre otros, comparado con la ventilación mecánica convencional¹⁷⁻²⁰.

Desde el punto de vista hemodinámico, existen algunos trabajos que sugieren que la VAFO, debido a las altas presiones medias (Paw) que utiliza, puede disminuir en algunos pacientes el retorno venoso de la circulación sistémica al comprometer la circulación pulmonar cuando el alvéolo es sobredistendido²⁸⁻³⁰. Sin embargo, esta disminución del llenado ventricular izquierdo puede prevenirse fácilmente mediante un manejo adecuado de los líquidos del paciente e incluso el uso de soporte inotrópico cuando fuese necesario^{19,30,31}; más aún, las interferencias de la VAFO sobre la función miocárdica y el gasto cardíaco son, en cualquier caso, menores que las de la VMC con presiones medias y/o PEEP equivalentes^{31,32}. En nuestra serie el seguimiento de las medidas hemodinámicas establecidas en el protocolo fue suficiente para evitar las posibles interferencias de la VAFO con el llenado cardíaco y sus consecuencias clínicas.

Desde el descubrimiento de la ventilación de alta frecuencia, a finales de los años sesenta, hasta la actualidad se han producido innumerables progresos, tanto en los dispositivos para su aplicación como en la comprensión y estudio de su funcionamiento y valoración de sus propiedades en diferentes contextos patológicos. El papel inicial de la VAFO era el "rescate pulmonar" en pacientes neonatales, fundamentalmente pretérminos, en los que otras modalidades terapéuticas previas habían fracasado⁹⁻¹². En la actualidad, sus indicaciones y el rango de edad se han ampliado hasta la población adulta^{33,34}, constituyendo un modo de ventilación seguro y eficaz, que no debería ser considerado como una última medida "desesperada", siendo de hecho los resultados mejores cuanto más precozmente se inicia su aplicación, reflejado por unas mejores tasas de supervivencia y una menor incidencia de daño pulmonar crónico^{4,5,9,13-15}. Existen indicaciones bien establecidas de su empleo, como los síndromes de amplio escape aéreo (neumotórax, enfisema, neumomediastino, etc.)³⁵, el SDRA refractario¹⁴ o la bronquiolitis grave por VRS³⁶ pero, en teoría, cualquier fracaso respiratorio refractario al tratamiento convencional, valorado por un índice de oxigenación persistentemente patológico, es subsidiario de beneficiarse de la técnica³⁷. El momento de inicio y estrategia de manejo no están bien definidos en todos los casos pero, de cualquier modo, la eficacia de la VAFO ha disminuido significativamente la incidencia anual de ECMO en los hospitales americanos³⁸⁻⁴¹. En nuestro país, la aplicación de la ventilación de alta frecuencia oscilatoria está poco extendida, y en la mayoría de los casos limitada a los pacientes neonatales²¹. Sin embargo, a tenor de los datos existentes en la bibliografía, así como la utilización creciente en unidades de cuidados intensivos pediátricos de otros países, nos avanzan sin duda que se trata de una técnica no sólo prometedora sino realmente eficaz. En este sentido, creemos que es necesario un cambio de mentalidad, que nos permita anticipar su uso, cara a obtener los mejores resultados.

En la serie preliminar que presentamos el resultado de la técnica fue muy positivo, lográndose la normalización gasométrica en un tiempo medio de 2 h desde el inicio de la técnica, y la disminución de la FiO₂ por debajo del 60% en un tiempo medio de 3 h. Si bien la mortalidad en nuestra serie fue elevada, la gravedad del contexto patológico de estos pacientes, y posiblemente el inicio excesivamente tardío en la técnica, justifican el porcentaje. Debemos resaltar que el índice de oxigenación pretratamiento estuvo en todos los pacientes por encima de 40, lo que supone una mortalidad *a priori* superior al 85%⁴²⁻⁴⁵. En todos los casos, la respuesta desde el punto de vista respiratorio fue muy buena y la causa de fallecimiento no estuvo relacionada con el problema pulmonar de base y/o la técnica de VAFO, sino con la incidencia de fracaso multiorgánico refractario. En los pacientes supervivientes la función respiratoria y el estado clínico al alta eran excelentes.

El manejo del paciente en VAFO posee unas peculiaridades diferenciales frente a otros modos de ventilación asistida, esenciales para el éxito de la técnica. La importancia de factores como la desconexión, el subsiguiente desreclutamiento y el consecuente retroceso en el tratamiento, así como las peculiaridades en la aspiración y la necesidad de utilizar sistemas cerrados, las diferencias en la auscultación pulmonar y cardíaca o el control clínico del paciente según el patrón de vibración, son algunas de estas diferencias. En este sentido, la instrucción y sensibilización adecuadas del personal en dichos aspectos son factores determinantes en la eficacia de la técnica⁴⁶.

En resumen, la VAFO es una opción eficaz y segura en el soporte ventilatorio de niños en estado crítico en los que la VMC no es efectiva. En nuestra serie la VAFO fue capaz de reclutar y proteger el pulmón de SDRA en todos los casos. El momento de inicio de la VAFO puede ser un factor crítico en el pronóstico, por lo que no debe ser considerada como una "última medida". Somos conscientes de la limitada significación de la serie que aquí presentamos, así como de la necesidad de estudios prospectivos que precisen sus indicaciones, comparen su eficacia frente a otras modalidades de ventilación, y clarifiquen su potencial. Sin embargo, a tenor de esta experiencia preliminar y considerando los datos existentes en la bibliografía, creemos que en el momento actual el fallecimiento de niños debido a un fracaso respiratorio puede ser evitable con la previa aplicación de esta opción terapéutica, por lo que deberían ser transferidos lo antes posible a un centro que disponga de dicha técnica ventilatoria.

APÉNDICE. Protocolo de ventilación de alta frecuencia oscilatoria (VAFO)

Requisitos de monitorización del paciente

1. Catéter venoso central, con monitorización continua de presión venosa central (PVC)

2. Catéter arterial para monitorizar presión arterial media y muestreo de gases arteriales

3. Monitorización seriada de PO_2 y PCO_2 (gases, transcutáneo o *paratrend*)

4. Cumplimentación adecuada por parte del personal de la hoja de seguimiento adjunta al protocolo

Preparación del paciente para su uso

1. Asegurar una presión arterial media adecuada a la edad del paciente

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

3. Asegurar una presión venosa central de entre 8 y 12 cmH_2O

4. Bloqueo neuromuscular y sedación en pacientes mayores de 2 meses

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

Control hemodinámico

Es fundamental mantener una presión arterial media adecuada según percentiles. Las medidas a aplicar serán:

1. Aumentar inicialmente la PVC hasta 8-15 mmHg, utilizándose para ello si necesario expansión de volumen con coloides o cristaloides. Si disponemos de un catéter de Swan-Ganz seguiremos con la expansión de volumen mientras la presión de enclavamiento sea menor de 15 mmHg

2. Si la PVC es 8-15 mmHg y no tenemos Swan-Ganz, el siguiente paso es instaurar aminas (idealmente dobutamina de 5 a 20 $\mu g/kg/min$)

Programación inicial del respirador de VAFO

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

2. FiO_2 al 100%

3. Paw (presión media en vía aérea): comenzar con una Paw de 4 a 8 cmH_2O por encima de la Paw que se venía utilizando en el ventilador convencional, con incrementos progresivos de 1-2 cmH_2O según necesidad hasta lograr un volumen pulmonar óptimo, que será aquel que:

– Proporciona una $SatO_2$ que nos permite disminuir progresivamente la FiO_2 a $\leq 60\%$

– Coloca diafragma en T8-T9 en la radiografía de tórax

En el caso de los síndromes de amplio escape aéreo comenzaremos con una Paw similar a la que venía utilizando en VMC, aun a expensas de necesitar una FiO_2 más alta

4. *Bias flow* (tasa de flujo): previa conexión al paciente, hay que colocar los mandos de *adjust* de Paw y *limit* en posición máxima en sentido de las agujas del reloj. A continuación aumentar el *bias flow* hasta que la Paw sea 12-15 cmH_2O mayor que la Paw deseada. Lue-

go reposicionar el mando de *limit* 3 cmH_2O por encima de la MAP deseada para finalmente colocar el mando de *adjust* de Paw hasta obtener el valor de la Paw de inicio deseado. Orientativamente, el *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 *bias flow* mínimo de 20 l/min

5. *Frequency* (frecuencia): se establecerá según el peso del paciente, orientativamente:

– 500 g a 2 kg: 15 Hz

– 2 kg a 12 kg: 10 Hz

– 13 kg a 20 kg: 8 Hz

– 21 kg a 30 kg: 7 Hz

– > 30 kg: 6 Hz

En el caso de los síndromes de amplio escape aéreo y enfisema intersticial pulmonar utilizaremos una frecuencia 1-2 Hz inferior a la estimada en función del peso, para proporcionar un tiempo espiratorio más largo y minimizar el riesgo de atrapamiento de gas

6. Delta-P (amplitud): comenzar con *Power setting* a 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 cmH_2O por encima de la Paw programada

7. Porcentaje de tiempo inspiratorio: 33%

Estrategia de manejo y modificación de parámetros

1. FiO_2 : debe ser el primer parámetro a disminuir progresivamente, en función de la gasometría del paciente ($SatO_2$ mayor o igual a 90%). Una vez alcanzada una FiO_2 menor o igual al 60%, pasaremos a modificar otros parámetros (véase Paw)

2. Paw: una vez alcanzada una FiO_2 menor o igual al 60%, disminuirémos la MAP en decrementos de 1 cmH_2O , si es tolerado por el paciente

3. Delta-P: lo disminuirémos o aumentaremos cada vez en 5 cmH_2O según la PCO_2 deseada (a más delta-P menor PCO_2 , a menos delta-P mayor PCO_2). Cuando sea necesario mejorar la eliminación de PCO_2 , aumentar delta-P en incrementos de 5 cmH_2O hasta alcanzar el máximo delta-P, en cuyo caso, si todavía sigue siendo necesario aumentar la eliminación de CO_2 , el siguiente paso será disminuir la frecuencia

4. Frecuencia: una vez lograda la frecuencia deseada, debemos mantenerla igual durante todo el proceso de ventilación alta-frecuencia. Únicamente la disminuirémos en caso de que la eliminación de PCO_2 no sea adecuada

5. Porcentaje inspiratorio: se mantendrá siempre al 33%, salvo que no seamos capaces de disminuir la

PaCO₂ a pesar de tener la amplitud maximizada y la frecuencia mínima (3 Hz), en cuyo caso aumentaremos el porcentaje inspiratorio, siendo esta maniobra de carácter excepcional

6. Tasa de flujo: no es necesario modificarla, salvo en casos de hipercapnia refractaria a otras maniobras, circunstancia en la que el aumento de la tasa de flujo en incrementos de 5 l/min, cada 15-30 min puede ser eficaz. Si se aumenta el flujo, debemos reajustar a la baja el mando de *adjust* de Paw para mantener la Paw deseada

Crterios y modo de supresión de VAFO

En el momento que el paciente tiene una FiO₂ inferior al 40%, una Paw de 15-20 cmH₂O o un delta-P inferior a 40 cmH₂O, podemos cambiarlo a modalidad ventilatoria convencional, teniendo en cuenta que:

– Los parámetros del ventilador convencional se ajustarán de acuerdo con los valores en VAFO:

- Modo controlado por presión
- Volumen tidal de 6-8 ml/kg
- I/E = 1:1
- PEEP 10
- Paw similar a la usada en VAFO
- FiO₂ un 10% mayor que la utilizada en VAFO

– Cuando FiO₂ sea inferior o igual al 40-50%, hay que cambiar I/E a 1:2 (cambios de 0,5 s)

– A continuación disminuir progresivamente PEEP hasta 5 mmHg

– Paso a espontánea, utilizando CPAP con presión de soporte, ASV, etc., según criterio médico

Crterios de fracaso de la VAFO

1. Fallo en la mejora de la oxigenación, entendido como la incapacidad de descender la FiO₂ un 10% tras 24 h de VAFO (si el fallo es en la oxigenación, se mantendría la VAFO y el siguiente paso sería la ECMO)

2. Fallo en la mejora o el mantenimiento de una ventilación adecuada, entendido como la incapacidad de mantener una PCO₂ por debajo de 80 cmH₂O con un pH superior a 7,25

BIBLIOGRAFÍA

1. Kallas HJ. Non-conventional respiratory support modalities applicable in the older child. High frequency ventilation and liquid ventilation. *Crit Care Clin* 1998; 14: 655-683.
2. Wetzel RC, Gioia FR. High frequency ventilation. *Pediatr Clin North Am* 1987; 34: 15-38.
3. Rosenberg RB, Broner CW, Peters KJ, Anglin DL. High-frequency ventilation for acute pediatric respiratory failure. *Chest* 1993; 104: 1216-1221.
4. Arnold JH, Truog RD, Thompson JE, Fackler JC. High frequency oscillatory ventilaton in pediatric respiratory failure. *Crit Care Med* 1993; 21: 272-278.

5. 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: 1530-1539.
6. Slutsky AS, Drazen JM, Ingram RH, Kamm RD, Rossing TH, Loring SH. Effective pulmonary ventilation with small-volume oscillations at high frequency. *Science* 1980; 209: 609-615.
7. Schmid ER, Knopp TJ, Rehder K. Intrapulmonary gas transport and perfusion during high-frequency oscillation. *J Appl Physiol* 1981; 51: 1507-1514.
8. Hatcher D, Watanabe H, Ashbury T, Vincent S, Fisher J, Froese A. Mechanical performance of clinically available, neonatal, high-frequency, oscillatory-type ventilators. *Crit Care Med* 1998; 26: 1081-1088.
9. Mok Q, Yates R, Tasker RC. Persistent pulmonary hypertension of the term neonate: a strategy for management. *Eur J Pediatr* 1999; 158: 825-827.
10. Bragonier R, Imong S. Oscillatory ventilation for infants with respiratory distress syndrome — survey of current practice in the UK. *J Perinat Med* 1998; 26: 201-203.
11. Cheung PY, Prasertsom W, Finer NN, Robertson CM. Rescue high frequency oscillatory ventilation for preterm infants: neurodevelopmental outcome and its prediction. *Biol Neonate* 1997; 71: 282-291.
12. DeLemos RA, Coalson JJ, DeLemos JA, King RJ, Clark RH, Gerstmann DR. Rescue ventilation with high frequency oscillation in premature baboons with hyaline membrane disease. *Pediatr Pulmonol* 1992; 12: 29-36.
13. Brogan TV, Bratton SL, Meyer RJ, O'Rourke PP, Jardine DS. Non pulmonary organ failure and outcome in children treated with high-frequency oscillatory ventilation. *J Crit Care* 2000; 15: 5-11.
14. Fedora M, Klimovic M, Seda M, Dominik P, Nekvasil R. Effect of early intervention of high-frequency oscillatory ventilation on the outcome in pediatric acute respiratory distress syndrome. *Bratisl Lek Listy* 2000; 101: 8-13.
15. Duval EL, Markhorst DG, Gemke RJ, Van Vught AJ. High-frequency oscillatory ventilation in pediatric patients. *Neth J Med* 2000; 56: 177-185.
16. McCulloch P, Forkert PG, Froese A. Lung volume maintenance prevents lung injury during high frequency oscillatory ventilation in surfactant-deficient rabbits. *Am Rev Respir Dis* 1987; 137: 1185-1192.
17. Verbrugge S, Böhm S, Gommers D, Zimmerman L, Lachmann B. Surfactant impairment after mechanical ventilation with large alveolar surface area changes and effects of positive end-expiratory pressure. *Br J Anaesth* 1998; 80: 360-364.
18. Hartog A, Vázquez de Anda GF, Gommers D, Kaisers U, Verbrugge SJ, Schnabel R et al. Comparison of exogenous surfactant therapy, mechanical ventilation with high end-expiratory pressure and partial liquid ventilation in a model of acute lung injury. *Br J Anaesth* 1999; 82: 81-86.
19. Lachmann B. Open up the lung and keep the lung open. *Intensive Care Med* 1992; 18: 319-321.
20. Imai Y, Kawano T, Miyasaka K, Takata M, Imai T, Okuyama K. Inflammatory chemical mediators during conventional ventilation and during high frequency oscillatory ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 1994; 150: 1550-1554.
21. Morcillo F, Gutiérrez A, Izquierdo I, Pérez Rodríguez J, Queño J, Elorza MD et al. High-frequency oscillatory ventilation as salvage strategy in the newborn infant. Spanish multicenter study I. *An Esp Pediatr* 1999; 50: 269-274.
22. Espinosa RM, Marks KH. Accurate and precise delivery of nitric oxide during high-frequency oscillatory ventilation. *Crit Care Med* 1999; 27: 2561-2562.

23. Kinsella JP, Abman SH. High-frequency oscillatory ventilation augments the response to inhaled nitric oxide in persistent pulmonary hypertension of the newborn: Nitric Oxide Study Group. *Chest* 1998; 114: 100-105.
24. Bancalari A, Bancalari E, Hehre D, Suguihara C, Gerhardt T, Goldberg RN et al. Effect of distal endotracheal bias flow on PaCO₂ during high frequency oscillatory ventilation. *Biol Neonate* 1988; 53: 61-67.
25. Ranieri VM, Slutsky AS. Respiratory physiology and acute lung injury: the miracle of Lazarus. *Intensive Care Med* 1999; 25: 1040-1043.
26. Hudson L. Progress in understanding ventilator induced lung injury. *JAMA* 1999; 282: 77-78.
27. Dreyfuss D, Soler P, Basset G, Saumon G. High inflation pressure pulmonary edema: respective effects of high airway pressure, high tidal volume, and positive end-expiratory pressure. *Am Rev Respir Dis* 1988; 137: 1159-1164.
28. Simma B, Fritz M, Fink C, Hammerer I. Conventional versus high-frequency oscillation: hemodynamic effects in newborn babies. *Crit Care Med* 2000; 28: 227-231.
29. Nelle M, Yillow E, Linderkamp O. Effects of high-frequency oscillatory ventilation on circulation in neonates with pulmonary interstitial emphysema or RDS. *Intensive Care Med* 1997; 23: 271-276.
30. Cheifetz IM, Meliones JN. Hemodynamic effects of high-frequency oscillatory ventilation: a little volume goes a long way. *Crit Care Med* 2000; 28: 282-284.
31. Goodman AM, Pollack MM. Hemodynamic effects of high-frequency oscillatory ventilation in children. *Pediatr Pulmonol* 1998; 25: 371-374.
32. Gutiérrez JA, Levin DL, Toro-Figueroa LO. Hemodynamic effects of high frequency oscillatory ventilation in severe pediatric respiratory failure. *Crit Care Med* 1995; 21: 505-510.
33. Claridge JA, Hostetter RG, Lowson SM, Young JS. High-frequency oscillatory ventilation can be effective as rescue therapy for refractory acute lung dysfunction. *Am Surg* 1999; 65: 1092-1096.
34. Fort P, Farmer C, Westerman J, Johannigman J, Benitat W, Dolan S et al. High-frequency oscillatory ventilation for adult respiratory distress syndrome: a pilot study. *Crit Care Med* 1997; 25: 937-947.
35. Miyahara K, Ichihara T, Watanabe T. Successful use of high frequency oscillatory ventilation for pneumomediastinum. *Ann Thorac Cardiovasc Surg* 1999; 5: 49-51.
36. Duval EL, Leroy PL, Gemke RJ, Van Vught AJ. High-frequency oscillatory ventilation in RSV bronchiolitis patients. *Respir Med* 1999; 93: 435-450.
37. Grenier B, Thompson J. High-frequency oscillatory ventilation in pediatric patients. *Respir Care Clin North Am* 1996; 2: 545-557.
38. Clark RH, Yoder BA, Sel MS. Prospective, randomized comparison of high-frequency oscillation and conventional ventilation in candidates for extracorporeal membrane oxygenation. *J Pediatr* 1994; 124: 447-454.
39. Walker TA. The acute respiratory distress syndrome in children: recent UMMC experience. *J Miss State Med Assoc* 1999; 40: 371-375.
40. Kennaugh JM, Kinsella JP, Abman SH, Hernández JA, Moreland SG, Rosenberg AA. Impact of new treatments for neonatal pulmonary hypertension on extracorporeal membrane oxygenation use and outcome. *J Perinatol* 1997; 17: 366-369.
41. Wilson JM, Bower LK, Thompson JE, Fauza DO, Fackler JC. ECMO in evolution: the impact of changing patient demographics and alternative therapies on ECMO. *J Pediatr Surg* 1996; 31: 1116-1123.
42. Bartlett RH, Gazzaniga A, Toomasian J. Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) in respiratory failure: 100 cases. *Ann Surg* 1986; 204: 236-245.
43. Ortiz RM, Cilley RE, Bartlett RH. Extracorporeal membrane oxygenation in pediatric respiratory failure. *Pediatr Clin North Am* 1987; 34: 39-46.
44. Ortega M, Ramos AD, Platzker ACG, Atkinson JB, Bowman CM et al. Early prediction of ultimate outcome in newborn infants with severe respiratory failure. *J Pediatr* 1988; 113: 744-748.
45. Hsieh HH, Lee CJ, Chuang CY, Lo HM. Low oxygenation index and pulmonary artery hypertension in predicting early death from adult respiratory distress syndrome (ARDS). *J Formos Med Assoc* 1990; 89: 443-449.
46. Watkins SJ, Peters MJ, Tasker RC. One hundred courses of high frequency oscillatory ventilation: what have we learned? *Eur J Pediatr* 2000; 159: 134.