

Recomendaciones sobre ventilación de alta frecuencia en el recién nacido

Grupo de trabajo sobre Patología Respiratoria de la Sociedad Española de Neonatología

La ventilación de alta frecuencia oscilatoria (VAFO) se considera una alternativa de tratamiento de la insuficiencia respiratoria neonatal que requiere ventilación mecánica, especialmente en pacientes con enfermedad pulmonar difusa, si se aplica como terapia de rescate con una estrategia de alto volumen pulmonar para conseguir un adecuado reclutamiento alveolar. Se revisan los mecanismos de recambio gaseoso, indicaciones, controles y peculiaridades de uso de la VAFO en el período neonatal.

Palabras clave:

Recién nacido. Ventilación mecánica. Ventilación de alta frecuencia oscilatoria.

HIGH-FREQUENCY OSCILLATORY VENTILATION IN NEONATES

High-frequency oscillatory ventilation (HFOV) may be considered as an alternative in the management of severe neonatal respiratory failure requiring mechanical ventilation. In patients with diffuse pulmonary disease, HFOV can be applied as a rescue therapy with a high lung volume strategy to obtain adequate alveolar recruitment. We review the mechanisms of gas exchange, as well as the indications, monitoring and special features of the use HFOV in the neonatal period.

Key words:

Newborn. Mechanical ventilation. High-frequency oscillatory ventilation.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se han producido mejoras constantes en la tecnología de los respiradores de uso neonatal, que han contribuido de manera eficaz a la reducción de la morbimortalidad de los recién nacidos con problemas respiratorios graves. Los respiradores de flujo continuo actualmente proporcionan información instantánea de la mecánica respiratoria del paciente, existe la posibilidad de sincronización, con sensibi-

lidad alta y tiempo de respuesta muy corto, y nuevos modos ventilatorios (presión de soporte y garantía de volumen).

A pesar de ello siguen existiendo complicaciones del uso de la ventilación mecánica, como los escapes aéreos y la displasia broncopulmonar y en algunas situaciones, ante patología respiratoria muy grave, puede hablarse de fracaso de la ventilación mecánica convencional (VMC) cuando no se consigue el adecuado recambio gaseoso o es necesario emplear presiones muy elevadas. Por este motivo, se siguen proponiendo métodos de ventilación alternativos, siendo uno de ellos la ventilación de alta frecuencia oscilatoria (VAFO).

Según el mecanismo que proporciona la alta frecuencia, se distinguen clásicamente 3 tipos: VAFO por jet, VAFO por interrupción de flujo y VAFO por oscilador. Estos tipos se diferencian en la forma de generar la alta frecuencia, en los rangos de frecuencia (5-15 Hz), en el tipo de onda (triangular o sinusoidal), en la relación I:E (constante o ajustable) y en la forma de realizar la espiración (activa o pasiva).

Los respiradores que proporcionan VAFO oscilatoria pueden generarla mediante un diafragma (Drager Babylog 8000 y Sensor Medics 3100 A) o por medio de un pistón (Dufour OHFI, Hummingbird V) o por efecto Venturi (SLE 2000).

La gran mayoría de unidades neonatales de España disponen de respiradores VAFO, por lo que estas recomendaciones están pensadas para este tipo de ventilación, fundamentalmente para el Babylog 8000 y para el Sensor Medics, aparatos en cuyo manejo los componentes del grupo tienen más experiencia.

El Babylog 8000 utiliza la membrana de la válvula espiratoria para generar las oscilaciones y realiza presión negativa (respecto a la presión media en vía aérea, MAP) durante la espiración mediante un jet Venturi. Debido a su limitada potencia es importante optimizar los circuitos inspiratorio y espiratorio (longitud y tipo de las tubula-

Correspondencia: Dr. J. Pérez Rodríguez.

Servicio de Neonatología. Hospital Universitario La Paz.
Pº de la Castellana, 261. 28046 Madrid. España.
Correo electrónico: jperez@hulp.insalud.es

Recibido en marzo de 2002.

Aceptado para su publicación en junio de 2002.

duras y adecuado humidificador), aspectos especialmente importantes cuando se emplea VAFO en recién nacidos por encima de los 2.500-3.000 g de peso.

El Sensor Medics 3100 A es un oscilador puro con un potente diafragma situado en el circuito inspiratorio que no se ve limitado por el peso del paciente. No proporciona información instantánea sobre el volumen movilizad durante los ciclos, ni representación gráfica de las ondas, como ocurre en el Babylog 8000.

DEFINICIÓN

La VAFO es una modalidad ventilatoria que consigue una ventilación alveolar adecuada utilizando volúmenes tidal (V_T) muy bajos, iguales o inferiores a los de espacio muerto (V_D) ($< 2,5$ ml/kg) a frecuencias muy por encima de la fisiológica (más de 3/Hz min) (1 Hz = 60 ciclos/min).

Teóricamente presenta una serie de ventajas derivadas del bajo volumen utilizado y de la elevada frecuencia de ventilación. La VAFO consigue un efectivo intercambio de anhídrido carbónico (CO_2) y oxígeno (O_2) con menores presiones de pico a nivel alveolar, mínimas variaciones en las presiones y en los volúmenes de ventilación, manteniendo los pulmones con un volumen relativamente constante, por encima de su capacidad funcional residual gracias a la aplicación de una presión media en vía respiratoria estable, minimizando los efectos de volutrauma y atelectrauma^{1,2}.

MECÁNICA DEL TRANSPORTE DE GASES EN VAFO

En VAFO la distribución del gas es más uniforme y regular que en VMC dependiendo más de la resistencia de las vías respiratorias principales y menos de la compliancia alveolar. Además, al utilizar volúmenes estables y menor variación de presión en los ciclos de inflación-deflacción, disminuye el riesgo de sobredistensión y el peligro de rotura²⁻⁴.

El transporte de gases desde los alvéolos al exterior y viceversa en VAFO, es el resultado y combinación de, al menos, 5 mecanismos diferentes^{1,2,5,6}:

1. La ventilación alveolar directa de las unidades alveolares más cercanas a las vías aéreas principales.

2. El fenómeno de Pendelluft o mezcla interregional de gases. Debido a las diferentes constantes de tiempo que pueden existir entre unidades alveolares vecinas, el llenado y vaciado de las mismas con asincronismo en el tiempo permite paso de gas de las unidades lentas a las rápidas y viceversa según el ciclo respiratorio.

3. La dispersión convectiva axial. Los perfiles de velocidad del gas en las vías respiratorias son asimétricos, acentuándose en las bifurcaciones bronquiales, presentando unos perfiles inspiratorios más alterados que los espiratorios. La presencia de turbulencias aumentadas produce un elevado grado de mezcla de gases.

4. Ley de Taylor o de la dispersión aumentada. La dispersión de un gas es la resultante de la interacción de su perfil de velocidad axial y su difusión exterior. A frecuencias altas se produce dentro de la columna de gases un flujo turbulento que conlleva una gran mezcla de gas entre el flujo central y el lateral.

5. La difusión molecular. Se trata del transporte de gas producido por la difusión de las moléculas de O_2 y CO_2 a través de la membrana alveolocapilar por efecto de los diferentes gradientes de presión.

No se conoce bien la contribución de cada uno de estos mecanismos en el intercambio de gases, pero está demostrado que la VAFO es un método ventilatorio capaz de realizar un correcto intercambio de gases en el recién nacido con fallo respiratorio.

REPERCUSIÓN HEMODINÁMICA

La repercusión hemodinámica al aplicar VAFO puede ser incluso inferior a la causada por la VMC⁷ (por los escasos cambios de volúmenes alveolares y menores presiones de pico y porque mejora la relación ventilación/perfusión al conseguir mantener abiertas más unidades alveolares durante más tiempo), aun utilizando una presión media en vías respiratorias más alta que en VMC. Es necesario no obstante una monitorización y vigilancia estricta del paciente en VAFO (frecuencia cardíaca normal, presión arterial estable, buena oxigenación y ausencia de acidosis metabólica, relleno venocapilar adecuado) pues existe riesgo de disminución del retorno venoso y gasto cardíaco si se aplica una presión media en vías respiratorias excesiva y se produce sobredistensión alveolar o la situación previa del paciente es de hipovolemia.

VENTILACIÓN Y OXIGENACIÓN EN VAFO

Eliminación de CO_2

En general, la eliminación de CO_2 a frecuencias (Fr) inferiores a 3 Hz está relacionada con el volumen minuto (V_m) definido como el producto de $V_T \times Fr$. A frecuencias más elevadas la eliminación de CO_2 (VCO_2) es una función lineal de la fórmula $V_T^a \times Fr^b$, en donde los valores de "a" están entre 1,5 y 2,2 y los de "b" entre 0,75 y 1,2, que puede resumirse en $VCO_2 = V_T^2 \times Fr^{1,2,5}$. Así se observa que la eliminación de CO_2 depende mucho más del V_T suministrado por el oscilador, que de la frecuencia a la que se opere. El V_T se ajusta variando el desplazamiento del oscilador por medio de la amplitud o Δp , que regula la diferencia entre la presión máxima y mínima de los ciclos. Se empleará la amplitud necesaria para conseguir un V_T adecuado en cada momento (habitualmente entre 1,5 y 2 ml/kg) en el Babylog. En el Sensor Medics, al no disponer de información sobre este dato, debe ajustarse la amplitud observando el grado de oscilación del

tórax del recién nacido y controlando estrechamente la PCO_2 transcutánea o sanguínea.

Cada oscilador tiene unas frecuencias óptimas de funcionamiento, consecuencia de su diseño (su potencia) por encima de las cuales descendiendo, de forma sensible, el V_t suministrado⁸.

La banda óptima de frecuencia en el Babylog 8000 se encuentra entre los 5 y 10 Hz, aunque en recién nacidos de muy bajo peso y con circuitos muy optimizados, se puede llegar hasta 12 Hz. El Sensor Medics entrega los volúmenes necesarios a 10-15 Hz, dada su gran potencia, en casi todos los casos. En la práctica, una vez seleccionada la frecuencia de funcionamiento, no suele modificarse sustancialmente a lo largo de su utilización. En principio, se debe operar a la máxima frecuencia que permita el oscilador, para suministrar el V_t necesario.

La eliminación de CO_2 es independiente de la MAP, si el reclutamiento pulmonar es correcto, pero pueden existir modificaciones cuando se utilizan MAP bajas en fase de retirada de VAFO.

Oxigenación

La oxigenación en VAFO, igual que en VMC, depende de la función inspiratoria de O_2 (FiO_2) y de la MAP utilizadas. La MAP óptima que hay que alcanzar en VAFO es la necesaria para superar la presión de cierre alveolar y que consiga reclutar el mayor número posible de alvéolos, aumentando así al máximo la superficie pulmonar, para realizar el intercambio gaseoso sin incrementar la resistencia vascular pulmonar o disminuir el gasto cardíaco; esta MAP tiene que ser inicialmente mantenida para evitar el desreclutamiento alveolar.

Actualmente se recomienda la estrategia de alto volumen/alta presión^{3,9,10}, consistente en aplicar desde el principio, al pasar al paciente de VMC a VAFO, una MAP 1-2 cmH_2O por encima de la previa en VMC. Si en unos minutos no se consigue la respuesta esperada sobre la presión parcial de oxígeno (PO_2) transcutánea o arterial o sobre la saturación transcutánea de oxígeno (SatO_2) se sigue aumentando la MAP hasta que se observe una mejoría de estos parámetros. En algunos casos puede ser necesario incrementar hasta 5 o más cmH_2O la MAP de inicio. En esta estrategia hay que dar prioridad al mantenimiento del reclutamiento alveolar evitando el desreclutamiento (maniobras de aspiración/desconexión del circuito) y la sobredistensión (las bases pulmonares no deben sobrepasar el nivel de la novena costilla en la radiografía de tórax).

Una vez conseguida una buena oxigenación, al comenzar el proceso de mejoría de la patología pulmonar, se descenderá inicialmente la FiO_2 y sólo posteriormente se disminuirá la MAP.

Siempre se debe intentar llegar a la "MAP óptima", que es la mínima necesaria para obtener el máximo reclutamiento pulmonar. Desde el punto de vista clínico esta si-

tuación podría identificarse con una PaO_2 adecuada con FiO_2 0,3-0,4, radiografía con diafragma a nivel de la novena costilla y ausencia de signos de compromiso cardiocirculatorio.

INDICACIONES DE VAFO

Actualmente la VAFO se utiliza como terapia de rescate en el fracaso de la VMC en procesos difusos que cursan con atelectasia⁹⁻¹¹, en escapes aéreos graves^{4,12}, y en cuadros de hipertensión pulmonar persistente neonatal¹³ y hernia diafragmática congénita¹⁴. Su empleo como tratamiento de inicio parece recomendable únicamente en estudios clínicos controlados, ya que por el momento esta alternativa no ha demostrado mejores resultados globales que la VMC.

1. *Fracaso de VMC*. Definido como presión arterial de O_2 (PaO_2) < 50 mmHg y/o PCO_2 > 55 mmHg con Fr > 60 resp./min y FiO_2 > 0,8 que precisen presiones de pico (PIP) > 18 cmH_2O para los recién nacidos con peso al nacimiento < 750 g o PIP > 20 cmH_2O para los de peso al nacimiento entre 750 y 999 g o PIP > 25 cmH_2O para el grupo con peso al nacimiento entre 1.000-1.499 g o PIP > 28 cmH_2O para el grupo con peso al nacimiento superior a 1.499 g. Valores de PaCO_2 más elevados pueden ser tolerables en la fase crónica de una enfermedad pulmonar y/o si el pH se mantiene superior a 7,25. En recién nacidos con enfermedad de la membrana hialina se suele definir la situación de fracaso de VMC cuando ésta se presenta después de una dosis inicial de surfactante.

2. Escape aéreo grave

a) Enfisema intersticial que precise PIP superiores a los definidos para el fracaso de la VMC. En el enfisema intersticial difuso grave plantearse VAFO sin tener en cuenta los criterios de PIP máxima.

b) Neumotórax que mantenga fístula activa más de 12 h, tras presión negativa o que se asocie a neumopericardio o neumoperitoneo.

3. *Hipertensión pulmonar persistente del recién nacido*. Con fracaso de la VMC (índice de oxigenación > 20) independiente de la indicación de óxido nítrico inhalado.

4. *En la hernia diafragmática congénita grave* en la fase de estabilización que precise PIP > 25 cmH_2O y con índice de oxigenación superior a 15.

Los objetivos de gases sanguíneos a conseguir son:

1. Edad gestacional < 33 semanas y/o peso al nacimiento < 1.500 g: pH 7,25-7,45; PaO_2 , 50-60 mmHg; PaCO_2 , 45-55 mmHg.

2. Edad gestacional > 32 semanas y/o peso al nacimiento > 1.499 g: pH 7,30-7,45; PaO_2 , 50-70 mmHg; PaCO_2 , 45-55 mmHg.

Si no se dispone de gases arteriales o transcutáneos se puede utilizar como objetivo mantener SatO_2 entre 88 y 92% con $\text{pH} > 7,30$.

VAFO EN DIFERENTES PROCESOS Y SITUACIONES

Neumopatías graves

En general se consiguen buenos resultados si se emplean estrategias de alto volumen a alta presión en neumopatías con afectación difusa como la enfermedad de la membrana hialina o la neumonía. La respuesta es más irregular (dependiendo probablemente del grado de edema pulmonar, obstrucción de vía aérea y/o deficiencia del sistema de surfactante que se produzca), en casos de afectación pulmonar no homogénea como el síndrome de aspiración meconial, hernia diafragmática congénita o hipoplasia pulmonar.

Hipertensión pulmonar persistente neonatal

Varios estudios confirman la efectividad de la VAFO en esta enfermedad, aunque hay un porcentaje variable de casos, según diferentes estudios clínicos, que no responden a este tratamiento¹⁵. La combinación de VAFO y óxido nítrico inhalado se ha mostrado eficaz en el tratamiento de patologías que asocian hipertensión pulmonar y puede reducir el número de pacientes que requieran soporte respiratorio extracorpóreo (ECMO)^{11,16}.

Displasia broncopulmonar

Son escasos los informes sobre la utilización de VAFO en la displasia broncopulmonar. Su eficacia puede estar limitada al tratarse de una neumopatía no homogénea y que conlleva aumento de resistencia en vía aérea. Si se cumplen los criterios de entrada debe ofrecerse este tipo de ventilación y actuar en función de los resultados¹⁷.

Escapes aéreos

La VAFO es muy eficaz en el tratamiento de neumotórax con fistula persistente y en enfisema intersticial, ya que maneja volúmenes y presiones más bajas a nivel alveolar que la VMC, con un tiempo de permanencia muy bajo en la presión máxima de pico. En estos procesos se intentará mantener la MAP al nivel más bajo posible para obtener una oxigenación correcta, incluso a costa de subir algo la FiO_2 .

Otras situaciones y VAFO

La utilización de surfactante exógeno y VAFO produce efecto sinérgico^{10,18} reduciendo el daño pulmonar ocasionado por la ventilación y mejorando la función pulmonar y las atelectasias, además reduce el riesgo de displasia broncopulmonar, neumotórax y enfisema intersticial, no incrementa el riesgo de hemorragia intracraneal y se disminuyen los costes globales. Al utilizar surfactante exógeno

no con VAFO, igual que con VMC, hay que vigilar para que no se produzca sobredistensión pulmonar.

Se necesitan más estudios para poder recomendar una determinada estrategia en el tratamiento con surfactante exógeno en este tipo de ventilación.

MANEJO PRÁCTICO DE LA VAFO

Entrada

Los criterios de entrada se han definido anteriormente.

En el Babylog 8000, salvo para recién nacidos muy inmaduros, es importante colocar tubuladuras especiales de alta frecuencia y lo más cortas posible para optimizar el circuito (menos de 90 cm). Al Sensor Medics se le acoplan las tubuladuras junto con la carcasa de plástico para el oscilador, ambas desechables, vigilando los acoples de las válvulas de plástico por colores. Debe controlarse que no tengan fugas. Al montar las tubuladuras por primera vez en el paciente hay que llevar a cabo una calibración siguiendo las instrucciones del fabricante.

En ambos, la mezcla de gases tiene que llegar al paciente a 37 °C y humidificada al 100%.

Parámetros iniciales

1. *Frecuencia*. En el Babylog la f_r óptima está entre 5 y 10 Hz. Como guía orientativa deben utilizarse de entrada 9-10 Hz para recién nacidos con peso al nacimiento inferior a 1.000 g; entre 7-9 Hz hasta los 2.000 g y entre 5-7 Hz para los de 3.000 g. En el Sensor Medics utilizar de entrada 15 Hz.

2. *FiO_2* . La misma que se estaba utilizando en VMC.

3. *Amplitud*. En el Babylog, entre el 30 y el 50% para conseguir un V_t de 1,5-2 ml/kg. En el Sensor Medics Δp inicial de 20-30 para un correcto movimiento de la pared torácica. Si fuera necesario subir mucho la amplitud, debe valorarse reducir la frecuencia, ya que con amplitudes superiores al 60-70% el seguir aumentado apenas incrementa el V_t .

4. *V_t* . Entre 1,5-2,5 ml/kg en el Babylog 8000. No se dispone de este dato en el Sensor Medics.

5. *MAP*. 1-2 cmH_2O superior a la que tenía en VMC para el fracaso de la VMC o la misma para el escape aéreo.

6. *Tiempo inspiratorio*. En el Babylog no hay posibilidad de cambiarlo, ya que la relación I:E es automática. En el Sensor Medics seleccionar el 33%.

Estrategias

Utilizar una estrategia de alto volumen alta presión pura, sin intervalos de VMC interpuestos.

Al inicio de la VAFO y una vez estabilizado el recién nacido ajustar el V_t para una PaCO_2 o PtcCO_2 entre 45-55 mmHg. Si la PaO_2 y/o PtcO_2 son correctas y en la radiografía de tórax las bases pulmonares no superan la 8-9 costilla se empezará a bajar antes la FiO_2 que la

MAP, excepto en los escapes aéreos en los que se dará preferencia al descenso de la MAP.

Actuaciones posteriores

La MAP no se intentará bajar hasta que la FiO_2 descienda hasta 0,4-0,5 para continuar garantizando un buen reclutamiento alveolar.

Buscar siempre la MAP óptima.

Con MAP bajas ($< 10 \text{ cmH}_2\text{O}$), incrementos de ésta pueden condicionar aumentos del V_t sin que se haya actuado sobre la amplitud. Con MAP $> 10 \text{ cmH}_2\text{O}$ los incrementos influyen poco o nada en el V_t ¹⁷.

Para aumentar la PaO_2 , incrementar la MAP si el reclutamiento alveolar es insuficiente o FiO_2 .

La eliminación de CO_2 se afecta poco o nada por el nivel de MAP aunque con MAP bajas ($< 10 \text{ cmH}_2\text{O}$) se pueden producir alteraciones del V_t secundarias a variaciones mínimas de la MAP, por ser crítico el reclutamiento pulmonar.

Para disminuir la PCO_2 aumentar el V_t , bien incrementando la amplitud, bien disminuyendo la frecuencia si es preciso para mejorar el rendimiento del oscilador.

Retirada

Se procederá a retirar la VAFO cuando se observe mejoría notable del cuadro tanto clínica como analítica y radiología, y observemos una situación mantenida en la que se precise FiO_2 entre 0,3-0,4 y MAP menor de $8 \text{ cmH}_2\text{O}$.

La salida desde VAFO se plantea en la mayoría de los casos bien a presión positiva continua en la vía respiratoria (CPAP) nasal o a ventilación mecánica intermitente mandatoria sincronizada (SIMV) según enfermedad de base, peso, edad y grado de sedación.

RECOMENDACIONES GENERALES¹⁹

Humidificación

Los problemas de humidificación en VAFO se derivan de la alta velocidad de flujo de gas y de la utilización de humidificadores poco potentes. En la actualidad no es difícil conseguir una buena humidificación y temperatura de los gases inspirados (37°C), utilizando los modernos y potentes humidificadores.

Hay que tener siempre presente que la humidificación en VAFO es un punto que debe vigilarse, controlando el posible exceso de absorción de agua pulmonar, que podría alterar el equilibrio hidroelectrolítico del recién nacido.

En el Babylog el resultado es satisfactorio con el humidificador Aquamod, que además permite optimizar el circuito. Hay que vigilar la hiperhumidificación. También se utilizan para este respirador modelos de Fisher-Pykel MR730 con las cámaras 320 o 290 y el máximo de agua constante. El Sensor Medics trabaja sin problemas con los Fisher-Pykel MR 290 con cámaras de llenado automático.

Sedación y relajación

La VAFO induce apnea en presencia de normocapnia. Se postulan 2 mecanismos para explicar el fenómeno: estímulo de los reflejos inhibitorios de la respiración mediados por receptores pulmonares por vía vagal y estímulo de los reflejos inhibitorios en los músculos de la pared torácica.

Es frecuente observar respiraciones espontáneas en recién nacidos sometidos a VAFO cuando están despiertos, cesando en la fase de sueño. No parece que cierta actividad respiratoria interfiera el intercambio de gases. Es frecuente el uso de sedación mientras están en VAFO. En casos extremos, especialmente en recién nacidos a término con hipertensión pulmonar persistente neonatal, puede ser necesario el uso de relajantes musculares.

Monitorización

La monitorización ha de ser completa, tanto clínica, por médicos y enfermeras expertos en este modo ventilatorio, como electrónica y analítica. Además de la monitorización básica en estas unidades son útiles mediciones de gases transcutáneos para observar de modo inmediato la tendencia de los valores de PO_2/PCO_2 tras la introducción de VAFO o los cambios realizados y para vigilar de modo continuo el riesgo de hipocapnia que puede producirse y facilitar el desarrollo de secuelas neurológicas probablemente por reducción del flujo sanguíneo cerebral²⁰.

Como cualquier otra técnica con potenciales ventajas, pero también con potenciales riesgos si no se emplea correctamente, la VAFO sólo debe ser aplicada en unidades con instalaciones que permitan una monitorización clínica y bioquímica adecuada y con personal médico y de enfermería entrenado, que garanticen una atención continuada a lo largo de las 24 h del día y todos los días del año.

Grupo de trabajo sobre Patología Respiratoria de la Sociedad Española de Neonatología

A. Gutiérrez, F. Morcillo, I. Izquierdo, Hospital La Fe (Valencia); J. Figueras, Hospital Clínic (Barcelona); A. Valls i Soler, I. López de Heredia, Hospital de Cruces (Bilbao); C. Barrio, Hospital 12 de Octubre (Madrid); C. Tejera, Hospital Materno-Infantil (Gran Canaria); M. Sánchez Luna, Hospital Gregorio Marañón (Madrid); E. Doménech, Hospital Universitario La Laguna (Tenerife); M.D. Elorza, J. Quero, Hospital La Paz (Madrid); J. Moreno, Hospital Sant Joan de Déu (Barcelona); F. Castillo, Hospital Vall d'Hebron (Barcelona). *Coordinador*: J. Pérez Rodríguez, Hospital La Paz (Madrid).

BIBLIOGRAFÍA

1. Fernández-Martorell P, Boynton BR. High frequency oscillatory ventilation and high frequency flow interruption. En: Boynton BR, Carlo WA, Jobe AH, editors. New therapies for neonatal respiratory failure. New York: Cambridge University Press, 1994; p. 218-44.

2. Gerstmann DR, De Lemos RA, Clark RH. High frequency ventilation: Issues of strategy. *Clin Perinatol* 1991;18:563-80.
3. Bryan AC. Reflections on the HIFI Trial. *Pediatrics* 1991;87:565-7.
4. Gonzalez F, Harris T, Richardson P. Decreased gas flow through pneumothoraces in neonates receiving high-frequency jet versus conventional ventilation. *J Pediatr* 1987;110:464.
5. Chang HK. Mechanisms of gas transport during ventilation by high-frequency oscillation. *J Appl Physiol: Respirat Environ Exercise Physiol* 1984;56:553-63.
6. Pedley TJ, Corieri P, Kamm RD, Grotberg JB, Hydon PE, Schroter RC. Gas flow and mixing in the airways. *Crit Care Med* 1994;22:S24-S36.
7. Gerstmann DR, Minton SD, Stoddard RA, Meredith KS, Monaco F, Bertrand JM, et al. The Provo multicenter early high-frequency oscillatory ventilation trial: Improved pulmonary and clinical outcome in respiratory distress syndrome. *Pediatrics* 1996;98:1044-57.
8. Hatcher D, Watanabe H, Ashbury T, Vincent S, Fischer J, Froese A. Mechanical performance of clinically available high frequency oscillatory ventilators. *Crit Care Med* 1998;26:1081-8.
9. Hifo Study Group. Randomized study of high-frequency oscillatory ventilation in infants with severe respiratory distress syndrome. *J Pediatr* 1993;122:609-19.
10. Morcillo F, Gutiérrez A, Izquierdo I, Pérez Rodríguez J, Quero J, Elorza D, et al. Ventilación de alta frecuencia oscilatoria en el recién nacido como terapia de rescate: estudio multicéntrico español. *An Esp Pediatr* 1999;50:269-74.
11. Claris O, Lapillonne A, Madinier-Chappat N, Miguet D, Salle BL. Ventilation par oscillation à haute fréquence (OHF) après surfactant au cours de la maladie des membranes hyalines. *Cahiers Anesthésiol* 1994;42:325-8.
12. The HIFI Study Group. High-frequency oscillatory ventilation compared with conventional mechanical ventilation in the treatment of respiratory failure in preterm infants. *N Engl J Med* 1989;320:88-93.
13. Gaylord MS, Quissell BJ, Lair ME. High-frequency ventilation in the treatment of infants weighing less than 1500 grams with pulmonary interstitial emphysema: A pilot study. *Pediatrics* 1987;79:915-21.
14. Kinsella JP, Truog WE, Walsh WF, Goldberg RN, Bancalari E, Mayock DE, et al. Randomized, multicenter trial of inhaled nitric oxide and high-frequency oscillatory ventilation in severe, persistent pulmonary hypertension of the newborn. *J Pediatr* 1997;131:55-62.
15. Miguet D, Claris O, Lapillonne A, Bakr A, Chappuis JP, Salle BL. Preoperative stabilization using high-frequency oscillatory ventilation in the management of congenital diaphragmatic hernia. *Crit Care Med* 1994;22:S77-S82.
16. Paranka MM, Clark RH, Yoder BA, Null DM. Predictors of failure of high-frequency oscillatory ventilation in term infants with severe respiratory failure. *Pediatrics* 1995;95:400-4.
17. UK Collaborative ECMO Trial Group. UK collaborative randomized trial of neonatal extracorporeal membrane oxygenation. *Lancet* 1996;348:75-82.
18. Thompson MW, Bates JN, Klein JM. Treatment of respiratory failure in an infant with bronchopulmonary dysplasia infected with respiratory syncytial virus using inhaled nitric oxide and high frequency ventilation. *Acta Paediatr* 1995;84:100-2.
19. Patel CA, Klein JM. Outcome of infants with birth weights less than 1,000 g with respiratory distress syndrome treated with high-frequency ventilation and surfactant replacement therapy. *Arch Pediatr Adolesc Med* 1995;149:317-21.
20. Morgan C, Dear PRF, Newell SJ. Effect of changes in oscillatory amplitude on PaCO₂ and PaO₂ during high frequency oscillatory ventilation. *Arch Dis Child* 2000;82:F237-F42.
21. Avila K, Mazza L, Morgan-Trujillo L. High-frequency oscillatory ventilation: A nursing approach to bedside care. *Neonatal Network* 1994;13:23-30.
22. Okumara A, Hayakawa F, Kato T, Itomi K, Maruyama K, Ishihara N, et al. Hypocarbica in preterm infants with periventricular leukomalacia: The relation between hypocarbica and mechanical ventilation. *Pediatrics* 2001;107:469-75.