

Ventilación de Alta Frecuencia Aplicación básica y práctica



Rainer Stachow

Notas aclaratorias:

El conocimiento médico evoluciona continuamente con los resultados de la investigación y la experiencia clínica. El autor de esta guía introductoria ha realizado todo el esfuerzo necesario para asegurar que la información incluida esté completamente al día, en particular en lo que respecta a las aplicaciones corrientes de la ventilación mecánica. La responsabilidad en cuanto a ajustes concretos para cada caso clínico debe ser asumida lógicamente por el lector.

Dr. R. Stachow y Dräger Medizintechnik GmbH se reservan todos los derechos sobre este librito, en particular en lo que concierne a la reproducción total o parcial y distribución del mismo. Ninguna parte de este documento puede ser reproducida o almacenada en cualquier forma, ya sea mecánica, electrónica, fotográfica u otra sin el consentimiento expreso y escrito de Dräger Medizintechnik GmbH.

Traducido al Español en:
UCIN del Hospital Gregorio Marañón
Madrid, España
Supervisado por:
Dr. Manuel Sánchez Luna
Dionisio Martínez de Velasco y Willi

Ventilación de Alta Frecuencia

Aplicación básica y práctica

Dr. Rainer Stachow
Hospital General
Heidelberg, Hamburgo (Alemania)

Introducción

La ventilación de alta frecuencia (VAF) es una terapia ventilatoria, cuya aplicación clínica ha ido aumentando en los últimos diez años. Este término engloba a la Ventilación de Alta Frecuencia por Jet (VAFJ) y a la Ventilación de Alta Frecuencia Oscilatoria (AFO o VAFO). En lo sucesivo nos basaremos en la VAFO.

En la actualidad existen varios equipos disponibles en el mercado. Todos ellos se diferencian por su tecnología, prestaciones, versatilidad, facilidad de manejo y, por supuesto, también en el precio. Las recomendaciones y descripciones expuestas en este librito se basan en el ventilador Babylog 8000 con Software 4.02 de Dräger (Alemania). Tengase en cuenta que el comportamiento de otros osciladores puede ser muy diferente al que se describe [29, 41].

El objetivo es familiarizar al personal médico con la alta frecuencia oscilatoria, comentando sus ventajas, aplicaciones, control, estrategias de ventilación y también posibles complicaciones. Se le ha dado más importancia a la aplicación práctica que a la teórica.

Recomendamos a aquellos equipos de neonatólogos que vayan a utilizar por primera vez la VAF, que compartan las experiencias de otros neonatólogos para obtener consejos prácticos.

Las estrategias que describen el manejo de la VAF se basan en la experiencia del autor, así como en los resultados de diversas publicaciones. Sin embargo, el avance del conocimiento médico podría influir en las recomendaciones aquí expuestas por lo que podrían no tener validez en el futuro.

Hamburgo, Julio de 1.995
Rainer Stachow

Indice

1	Ventilación de alta frecuencia	8
1.1	Introducción	8
1.2	Definición	8
1.3	Respiradores comerciales	9
2	Efecto de las oscilaciones de la alta frecuencia	11
2.1	Aumento del transporte longitudinal de aire y de la dispersión	12
2.2	Ventilación alveolar directa	13
2.3.	Intraalveolar pendelluft	13
2.4.	Efecto en la mecánica respiratoria y hemodinámica	13
3	Parámetros característicos y variables de control de la VAF	14
3.1	Presión Media de la Vía Aérea (PMA)	14
3.2	Amplitud - volumen oscilatorio	15
3.3	Frecuencia oscilatoria	18
3.4	Coefficiente de gas transportado, DCO_2	19
4	Indicaciones de la VAF	20
5	Combinación de IMV y VAF, e „insuflación mantenida“	22
6	Utilización de la VAF	24
6.1	Transición desde ventilación convencional	24
6.2	Continuación de la VAF	25
6.3	Humidificación	27
6.4	El destete desde ventilación oscilatoria	27
7	Monitorización durante la VAF	29
8	Estrategias para distintas enfermedades pulmonares	31
8.1	VAF para enfermedades pulmonares homogéneas difusas	31
8.2	VAF para enfermedades pulmonares no homogéneas	32
8.3	VAF para fugas de aire	32
8.4	VAF para atelectasia	33
8.5	VAF para hipertensión pulmonar persistente del recién nacido (HPPRN)	34

9	Complicaciones, contraindicaciones y limitaciones	36
9.1	Complicaciones y efectos secundarios	36
9.2	Contraindicaciones	37
9.3	Limitaciones de la VAF	38
10	Fracaso en VAF	39
11	Resumen	40
12	Apendice	41
12.1	Modalidad de alta frecuencia del Babylog 8000 (versión software 4.n)	41
12.1.1	Ajuste de AFO con el Babylog 8000	46
12.1.2	Volumen oscilatorio, frecuencia y PMA con el Babylog 8000	49
12.1.3	Programación de la amplitud y volúmenes oscilatorios	51
12.2	Casos clínicos	52
12.3	DCO ₂ en 11 pacientes	58
12.4	Resultados de VAF en un grupo de neonatos	59
12.5	Protocolo de ventilación	65
12.6	Abreviaturas	66
13	Bibliografía	68
14	Indice	74

1. Ventilación de alta frecuencia

1.1 Introducción

En la era del surfactante aun quedan algunos neonatos que no se pueden ventilar adecuadamente incluso con las sofisticadas técnicas de ventilación convencional. Por lo tanto la insuficiencia respiratoria sigue siendo una de las mayores causas de mortalidad neonatal. Intensificar la ventilación convencional con mayores frecuencias y presiones en la vía aérea, no lleva más que a un aumento de la incidencia de barotrauma. Especialmente las elevadas fuerzas de cizallamiento que resultan de una elevada presión de amplitud, que hacen daño al tejido pulmonar. Así, tanto la ECMO como la Ventilación de alta frecuencia pueden ayudar a resolver esas situaciones desesperadas.

Desde que la VAFO fue descrita por primera vez por Lunkenheimer a principios de los 70, esta modalidad de ventilación se ha desarrollado ampliamente y actualmente es usada en todo el mundo.

1.2 Definición

Hay tres características distintivas de la VAFO: el rango de frecuencia que oscila de 5 a 50 Hz (300 a 3000 rpm); inspiración y espiración activas; volúmenes tidal semejantes al volumen del espacio muerto. (fig. 1.1)

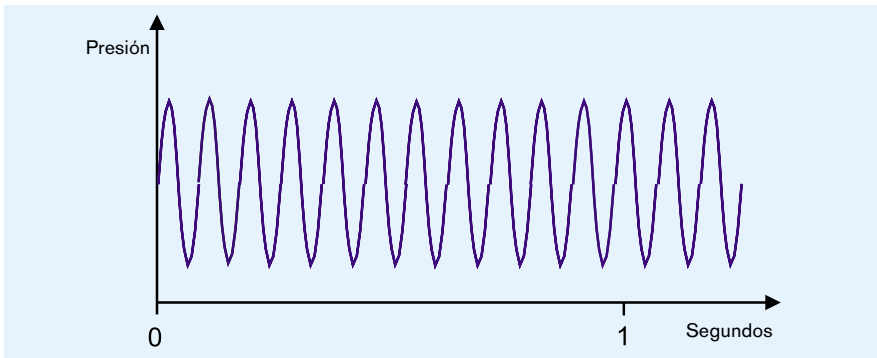


Figura 1.1: Curva presión-tiempo bajo AFO a una frecuencia de 12 Hz.

1.3 Respiradores comerciales

Varios principios técnicos se usan para generar los modelos de ventilación oscilatoria. El así llamado „verdadero“ oscilador proporciona una inspiración y espiración activas con ondas de forma sinusoidal:

- pistones osciladores (ej. Stefan SHF 3000, Hummingbird V, Dufour OHF1), mueven una columna de gas rápidamente atrás y adelante en el circuito del respirador con zapatilla de un pistón. El tamaño de la oscilación determina el choque de volumen, que por lo tanto es bastante constante. Un sistema de flujo diagonal suministra gas fresco (fig. 1.2).
- Otros aparatos (ej. Sensormedics 3100 A) generan oscilaciones con una membrana grande de un altavoz y son también apropiadas pasado el periodo neonatal. Como en los pistones osciladores, un sistema de flujo diagonal proporciona gas fresco. De cualquier forma, este aparato no puede combinar la VAFO con la ventilación convencional.

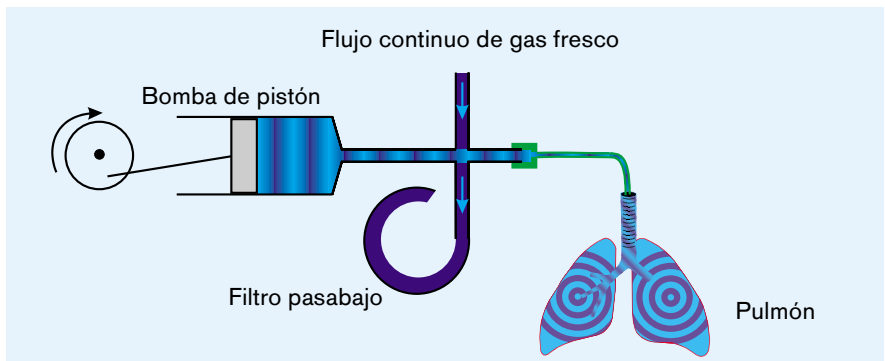


Figura 1.2: Principio de funcionamiento de osciladores de pistón.

Los interruptores de flujo disparan el flujo de gas en el circuito del paciente, a elevadas frecuencias, que es lo que causa la oscilación de la presión. De cualquier manera, su fuerza depende también de la mecánica respiratoria del paciente.

- El InfantStar interrumpe el flujo inspiratorio con una válvula de depósito. Algunos autores consideran este aparato como un ventilador tipo jet por este tipo de operación.
- El Babylog 8000 libera un flujo continuo inspiratorio elevado (max 30 l/min) y genera oscilaciones cambiando rápidamente la válvula espiratoria. La espiración activa es proporcionada con un sistema Venturi tipo jet.

1) Stefan SHF 3000 es una marca registrada por F. Stefan GmbH, Gackerbach, Alemania; Hummingbird V es una marca registrada por Metran Medical Instr. MfG Co., Ltd., Japón; OHF 1 es una marca registrada por S.A. Dufour, Villeneuve, d'Asco, Francia; SensorMedics 3100 es una marca registrada por SensorMedics Corporation, USA; Infant Star es una marca registrada por Infrasonics, Inc., San Diego, CA, USA.

2. Efecto de las oscilaciones de la alta frecuencia

La eficacia de la VAFO se debe principalmente a un aumento del gas que se intercambia a nivel pulmonar. Sin embargo puede tener una influencia favorable a nivel respiratorio y hemodinámico. Durante la ventilación convencional la ventilación alveolar directa efectúa el intercambio de gas a nivel pulmonar. De acuerdo con el concepto clásico de ventilación pulmonar, la cantidad de gas que llega la alvéolo es igual al volumen Tidal menos el volumen del espacio muerto.

Un volumen tidal por debajo del volumen que hay en el espacio muerto hace que no se lleva a cabo el intercambio gaseoso. En cambio la considerable mezcla de aire fresco y del espirado en la vía aérea y en los pulmones, parece ser la llave del éxito de la VAFO en la ventilación del pulmón con volúmenes tidal muy bajos.

Los detalles de este aumento de gas intercambiado aun no se entienden del todo. Los investigadores aún descubren y estudian nuevos e importantes mecanismos. De cualquier modo, ellos a veces usan modelos ideales para explicarlo. Probablemente entran en juego varios mecanismos a la vez. Su contribución individual al total de gas que se intercambia puede variar debido a la unidad pulmonar implicada, la mecánica respiratoria (compliance, resistencias), el tipo de respirador y los parámetros (frecuencia, PMA, amplitud) [17,35,87,90].

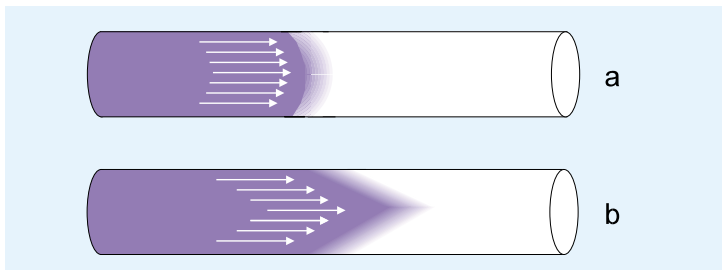


Figura 2.1: Dispersión de Taylor. Superficie límite entre dos gases con diferente velocidad de flujo: a) flujo bajo, b) flujo alto con un perfil de flujo afilado y con forma de pica. El intercambio del gas se realiza en la superficie límite por difusión lateral.

2.1 Aumento del transporte longitudinal de aire y de la dispersión

Algunos de estos mecanismos se derivan del proceso fundamental de dispersión descubierto por Taylor en 1953. En este proceso la existencia de una primera superficie límite plana entre dos gases hace que el gas adopte un perfil con forma de pica, según la velocidad que alcance el gas. (fig. 2.1).

El gas transportado resultante es mucho mayor que el obtenido únicamente por difusión molecular. Además, los gases se mezclan por difusión lateral. El mayor sería por difusión molecular, el menor a través de la superficie límite entre los dos gases, y el mas bajo por transporte longitudinal efectivo. En el supuesto ideal que existiera un flujo constante en un tubo recto, la cantidad de gas que se transporta, depende de la efectividad de la difusión longitudinal, y es inversamente proporcional a la difusión molecular. Donde el aire se comba o se produce una bifurcación secundaria del movimiento de gas, aumenta la mezcla de gas lateral, pero dificulta su transporte longitudinal.

La contracción de las paredes bronquiales pueden invertir el flujo de aire y de ese modo aumenta el gradiente de concentración

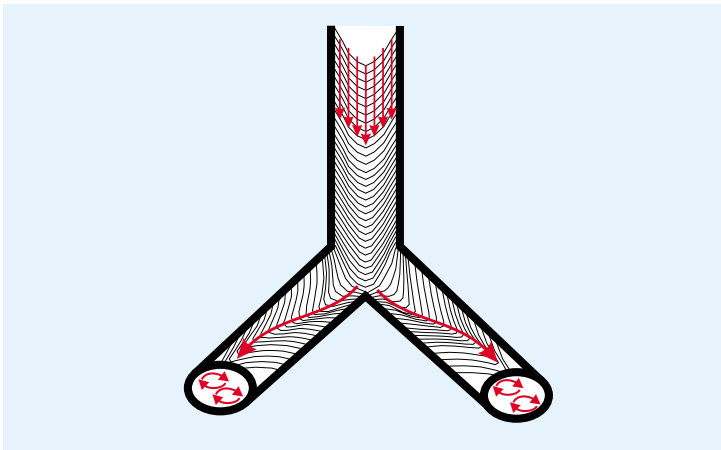


Figura 2.2: Deformación del perfil del flujo de gas y de las superficies límites en las bifurcaciones y generación de vórtices secundarios en el movimiento del gas.

entre los dos gases. Esto ocasiona un movimiento adicional de aire longitudinal.

2.2 Ventilación alveolar directa

Una pequeña parte del alveolo proximal se ventila aun directamente. Aquí el intercambio de gas se lleva a cabo como en la ventilación convencional.

2.3 Intraalveolar pendelluft

No todas las regiones del pulmón tienen la misma compliancia y resistencia. Por lo tanto, unidades vecinas con diferentes constantes de tiempo, son ventiladas fuera de fase, rellenándose y vaciándose a diferentes frecuencias. Debido a esa asincronía, esas unidades pueden intercambiarse el gas mutuamente, efecto conocido como pendelluft. Debido a este mecanismo., incluso pequeños volúmenes de gas fresco, pueden alcanzar un gran número de alveolos (fig. 2.3).

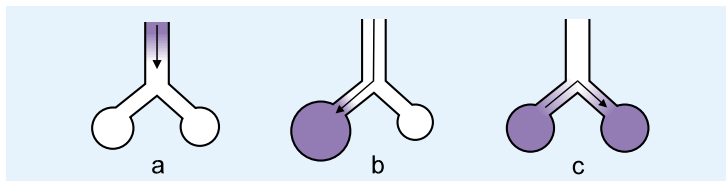


Figura 2.3: Pendelluft. A) antes de empezar el ciclo ventilatorio. Inicialmente, sólo una parte de los alveolos están ventilados (b). Durante el siguiente paso (c) se produce el intercambio de gas alveolar. Por supuesto, las fases iniciales duran sólo una fracción del ciclo completo de ventilación.

2.4 Efecto en la mecánica respiratoria y hemodinámica

La aplicación de elevadas presiones medias (cf. 3.1) reclutarán volúmenes adicionales de gas a través de la apertura de zonas del pulmón con peor insuflación. Esto llevará a un aumento de la compliancia. Al mismo tiempo un mejor índice de ventilación/perfusión disminuirá el shunt derecha-izquierda intrapulmonar. En la hipertensión pulmonar causada por hipercapnia, la rápida disminución de la $p\text{CO}_2$ durante la VAF puede disminuir las resistencias vasculares pulmonares.

3 Parámetros característicos y variables de control de la VAF

Tres parámetros determinan la ventilación oscilatoria (fig 3.1): Primeramente, hay una presión media de la vía aérea (PMA) alrededor de la que oscilan las presiones; en segundo lugar, el volumen oscilatorio, que resulta de presiones oscilantes y que determina esencialmente la efectividad e éste tipo de ventilación mecánica; en tercer lugar la frecuencia oscilatoria que determina el nº de ciclos por unidad de tiempo.

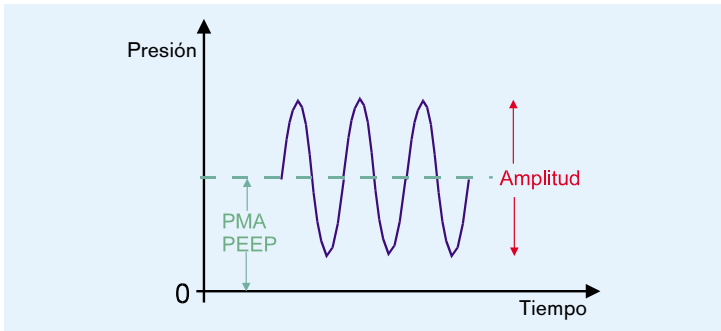


Figura 3.1: Variables características: PMA, amplitud y frecuencia en formas de onda de presión durante VAF.

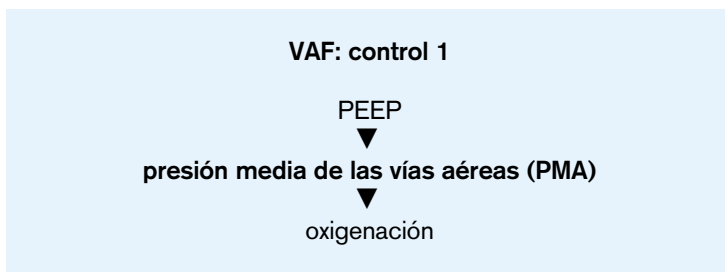
3.1 Presión Media de la Vía Aérea (PMA)

El Babylog 8000 usa un sistema de PEEP/CPAP de servo-control para ajustar la presión media de la vía aérea. En el modo de ventilación CPAP, la presión media de la vía aérea es igual al nivel del cociente PEEP/CPAP. Cuando se le suma la IMV convencional, la PMA depende tanto del pico inspiratorio de presión (PIP), como de la frecuencia.

La presión media de la vía aérea en la VAF debe ser igual que en el modelo de ventilación que la precede, según la enfermedad subyacente y debería ser mayor que en la presión de apertura pulmonar. En prematuros con SDR, este umbral de apertura es aproximadamente de 12 mbar (cf. capítulo 8). El efecto fisiológico crucial de la aplicación de esta presión continua (insuflación), es la apertura de áreas pulmonares atelectásicas, produciéndose un marcado reclutamiento del volumen pulmonar. La aplicación adicional de maniobras de suspiro (insuflación sostenida, cf. capítulo 5) puede realzar este efecto.

Por otra parte la apertura de las atelectasias, disminuye la ventilación-perfusión y así el shunt intrapulmonar derecha-izquierda.

Por consiguiente la PMA es el parámetro crucial en el control de la oxigenación (cf. capítulos 6.1 y 6.2). Gracias al sistema de servo-control de la PEEP/CPAP, la presión media de la vía aérea con el Babylog 8000, puede estar comprendida en el rango de 3 a 25 mbar.



3.2 Amplitud- volumen oscilatorio

Así la amplitud final ha representado la amplitud de presión. Al final, de cualquier forma, la ventilación no depende de la amplitud, sino del volumen oscilatorio. Sin embargo, como un parámetro establecido, la amplitud es uno de los determinantes del volumen oscilatorio.

El volumen oscilatorio influye exponencialmente en la eliminación de CO₂ (ver capítulo 3.4). Durante la VAF volúmenes semejantes al los del espacio muerto (aproximadamente de 2 a 2,5 ml/kg) deben ser el objetivo.

En un respirador de Alta Frecuencia, el volumen oscilatorio depende de la frecuencia oscilatoria. Normalmente frecuencias más bajas permiten volúmenes más altos [18, 35].

Incluso pequeños cambios en la resistencia o en la compliance del aparato respiratorio, ej. secreciones en la vía aérea, o a través del uso de un circuito de aire diferente o un tubo endotraqueal distinto, pueden variar el volumen oscilatorio y por tanto su efectividad en la VAF [36, 41].

Con una gran amplitud programada, el respirador mide considerables picos de presión. Todavía esto solo ocurre en la parte proximal de TET, mientras que en la distal, aparecen atenuadas de 1/3 a 1/6 de su valor inicial debido a la resistencia el tubo. [47].

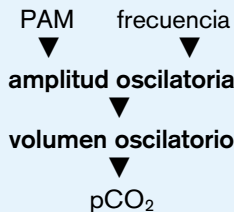
En interruptores de flujo, la amplitud y los volúmenes oscilatorios, están además influenciados por el flujo.

El Babylog 8000 selecciona la tasa de flujo automáticamente según la PMA y la frecuencia. El usuario no puede influir en el ajuste. El volumen oscilatorio depende fuertemente de la frecuencia programada, como se ilustra en las figuras 3.2 y 12.2. Así con frecuencias bajas se obtienen grandes volúmenes, mientras que con frecuencias entre los 10 Hz, los volúmenes son muy pequeños (cf 12 1.2).

Por razones de seguridad, la excursión de presión espiratoria está limitada en -4 mbar. Por consiguiente la amplitud y los volúmenes oscilatorios varían también según la PMA. Sobretudo con una PMA por debajo de 8mbar, disminuyen considerablemente los volúmenes. (ver figuras 3.2 y 12.2).

La oscilación de la amplitud se ajusta en un rango comprendido entre 0 y 100%, en 100% significa que la amplitud está en lo máximo posible, por debajo de las circunstancias dadas de PMA, frecuencia programada, así como las características del respirador (circuito respiratorio, conectores, TET y vía aérea (cf 12. 1.2).

VAF: parámetro de control 2



para el Babylog 8000

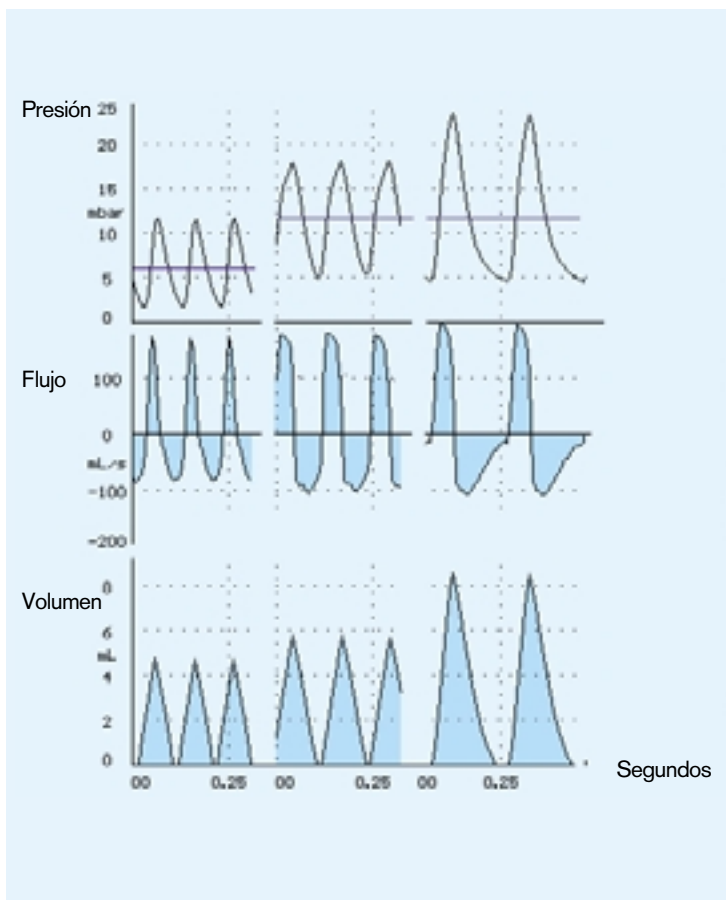


Figura 3.2: Amplitud de oscilación y flujo como funciones de PMA y frecuencia con el Babylog 8000.

- a) Comienzo: $F_{AFO} = 10 \text{ Hz}$, PMA 6 mbar, $V_{TAFO} = 4,6 \text{ ml}$
- b) Aumento de PMA: $F_{AFO} = 10 \text{ Hz}$, PMA 12 mbar, $V_{TAFO} = 5,8 \text{ ml}$
- c) Disminución de la frecuencia: $F_{AFO} = 7 \text{ Hz}$, PMA 12 mbar, $V_{TAFO} = 8,5 \text{ ml}$

Las curvas fueron grabadas a través del interface serie del Babylog 8000, ventilando con un pulmón de prueba ($C = 0,65 \text{ ml/mbar}$) conectado a un circuito de paciente Fisher-Paykel. Ellas representan la presión, flujo y volumen, respectivamente, en el conector de la pieza Y. Sin embargo, como el transductor de presión está colocado dentro del ventilador, la medición de presión debería ser valorada sólo cualitativamente.

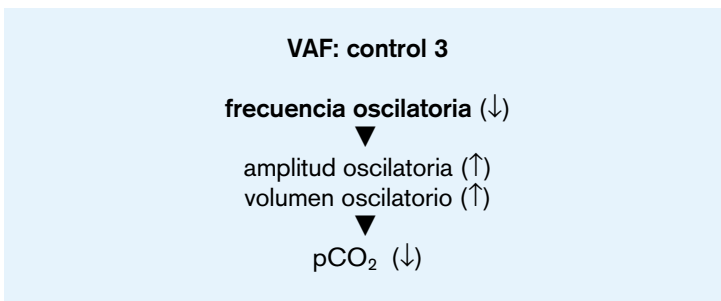
3.3 Frecuencia oscilatoria

La frecuencia oscilatoria medida en Hertzios ($\text{Hz} = 1/\text{s}$), influye en el volumen oscilatorio y en la amplitud, según el tipo de respirador que se utilice [35].

La presión intraalveolar también puede depender de la frecuencia oscilatoria. Con frecuencias próximas a la frecuencia de resonancia del sistema de intubación, se puede observar que las presiones intraalveolares son mayores que las determinadas a nivel de la boca [5, 31, 50].

La elección de una frecuencia oscilatoria óptima es normalmente objeto de discusión. En muchos estudios de VAF en neonatos se han usado frecuencias alrededor de los 16 Hz. Por otra parte, recientemente se ha demostrado en un estudio realizado con bombas muy potentes de pistón, en animales grandes (de 65 a 99 kg), que son necesarios volúmenes oscilatorios y frecuencias alrededor de los 25 Hz para ventilar y oxigenar adecuadamente a dichos animales. Las frecuencias necesarias en éste experimento dependen de la talla del animal [2, 13, 18, 35, 36, 66].

Con el Babylog 8000, frecuencias de 10 Hz y menores son beneficiosas, porque entonces el programa interno permite altas tasas de flujo y por consiguiente elevados volúmenes oscilatorios.



para el Babylog 8000

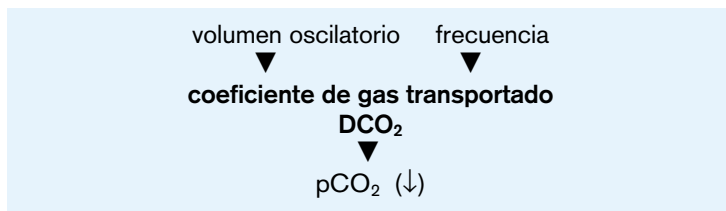
3.4 Coeficiente de gas transportado, DCO_2

En ventilación convencional, el producto de volumen tidal por frecuencia, conocido como volumen minuto o ventilación minuto, describe de forma correcta el intercambio gaseoso.

Diferentes grupos de estudio han encontrado que la CO_2 eliminada en la VAF se correlaciona bien con:

$$VT^2 \times f$$

Aquí, volumen tidal y frecuencia representan un volumen y frecuencia oscilatorias respectivamente. Este parámetro llamado „coeficiente de gas transportado“, DCO_2 , es medido y enseñado en el Babylog 8000. Un aumento de la DCO_2 lleva a una disminución de la pCO_2 [34,51,57,91,95].



Para una demostración de la importancia clínica del coeficiente de gas transportado, ver los capítulos 12.2, 12.3, 12.4

4 Indicaciones de la VAF

Desde principios de los ochenta , los resultados en ventilación oscilatoria se han publicado en numerosos artículos y estudios. Aunque sólo hay unos pocos estudios controlados, basados en un número importante de pacientes [22, 25, 45, 46, 78, 83, 119]. En recién nacidos la ventilación de alta frecuencia se ha usado primero como una técnica de rescate. La meta de éste tipo de ventilación es aumentar el intercambio de gas y al mismo tiempo disminuir el barotrauma.

La ventilación oscilatoria puede usarse cuando fracase la ventilación convencional, o cuando el barotrauma ha ocurrido o es inminente. En primer lugar se usa para enfermedades pulmonares con disminución de la compliance. La eficacia de alta frecuencia para estas indicaciones se ha probado en la mayoría de estudios clínicos. En muchos fallos pulmonares, VAF es una alternativa factible a la ECMO [2, 4, 12, 16, 22, 25, 27, 28, 37, 3339, 45, 46, 48, 69, 74, 78, 83, 94, 104].

La decisión de cambiar de convencional a alta frecuencia, debe ser en última instancia, tomada por el clínico, según su experiencia. Algunos centros, en sus estudios, se emplean la VAF primeramente para el tratamiento del SDR [37, 42, 78, 83]. Asimismo, en casos de hernia diafragmática congénita y durante su corrección quirúrgica, VAF ha sido exitosa, usada como primer tratamiento [23, 38, 51, 75, 88, 96, 98].

VAF: Indicaciones 1

Fracaso de ventilación convencional

- disminución de la compliance
- SDR
- Fuga de aire
- Aspiración meconial
- DBP
- neumonía
- atelectasias
- hipoplasia pulmonar
- hipertensión pulmonar del recién nacido

También, en diferentes tipos de cirugía, sobretodo de la región laringea y de la traquea, ha probado también su éxito [3]. Además en la hipertensión pulmonar del recién nacido (PPHN) VAF puede mejorar la oxigenación y la ventilación (párrafo 8.5).

Teniendo en cuenta siempre las contraindicaciones (vease capítulos 10.1 y 10.2), en nuestra UCIN seguimos este probado protocolo: si fracasa la ventilación convencional, cambiamos a VAF. Consideramos como fracaso de ventilación convencional cuando manteniendo adecuadas presiones arteriales ($pO_2 > 50$ mmHg, $SO_2 > 90\%$, $pCO_2 < 55$ a 65 mmHg) son necesarios presiones de pico inspiratorios (PIP) superior a ciertos límites; dependen de la edad gestacional y del peso corporal: en prematuros pequeños, consideramos que debe usarse la VAF con cuando el pico es mayor de 22 mbar. Con un pico mayor de 25 mbar la VAF es invariablemente una necesidad.

En muchos neonatos más maduros los límites de presión son algo más mayores. (vease indicaciones 2).

VAF: Indicaciones 2

Fracaso de ventilación convencional

Prematuros

relativa: PIP > 22 mbar

absoluta: PIP > 25 mbar

Recién nacidos

relativa: PIP > 25 mbar

absoluta: PIP > 28 mbar

* Estrategia de ventilación convencional para prematuros en el "Hospital General de Heidelberg": ajuste inicial: frecuencia del ventilador: 60 bpm; Ti 0.4 s; Te 0,6 s; PIP 16 a 20 mbar; PEEP 2 a 4 mbar
manejo posterior: frecuencia hasta 100 bpm; I:E > 1.5; PEEP 2 a 5 mbar; PIP hasta 22 (25) mbar max; posiblemente flujo espiratorio aumentado (VIVE).

5 Combinación de IMV y VAF, e „insuflación mantenida“

La ventilación oscilatoria, por si misma se puede usar en modalidad de CPAP o con IMV sobreimpuesta, normalmente con una frecuencia de 3 a 5 golpes por minuto (vease apéndice 12.1). El beneficio de las respiraciones de IMV, probablemente es debido a la apertura de unidades de pulmón colapsado, para lograr mayores „volúmenes de reclutamiento“.

A veces tiempos inspiratorios muy largos (15 y 30 sg) son apropiados para estas „insuflaciones mantenidas“ (SI). Aplicándolos cada 20 minutos la compliancia y la oxigenación mejoran y se previene las atelectasias (cf. figura 5.1), [10, 11, 37, 41, 65, 70, 113]. Especialmente después del volumen perdido por espiración, aspirando el pulmón pronto, se puede reabrir con insuflación mantenida, de cualquier manera, como estas maniobras de insuflación deben usarse de forma rutinaria es motivo de controversia. En muchos de los estudios clínicos no se aplicó la insuflación mantenida. En ensayos en animales no se observó un aumento en la incidencia de barotrauma [10].

La prevención de las atelectasias, que es posible que ocurra en la VAF si la PMA es insuficiente (vease 9.1 complicaciones), es uno el principal beneficio de la combinación de IMV y VAF. La VAF sobreimpuesta a la IMV puede, de forma marcada aumentar el lavado de CO₂ („limpiar el espacio muerto“ con VAF) con picos de presión más bajos que en ventilación convencional [7, 8, 9, 12, 44, 50, 109].

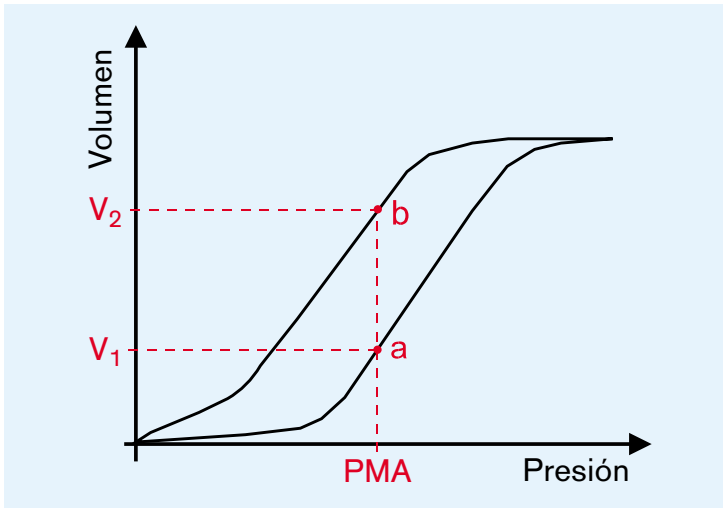


Figura 5.1: Efecto de una maniobra de suspiro con la insuflación mantenida (IM): antes que la IM, el volumen intrapulmouar V_1 corresponde al nivel de la PMA (punto a); la maniobra de IM aumenta temporalmente la presión y el volumen pulmonar según la curva de presión-volumen; cuando la presión ha vuelto al nivel anterior de PMA, el volumen pulmonar se mantiene en un nivel alto, V_2 (punto b), pues la disminución en presión ocurre en la rama espiratoria del bucle de PV.

6 Utilización de la VAF

6.1 Transición desde ventilación convencional

Antes de comenzar con ventilación de alta frecuencia hay que recordar la presión media de la vía aérea. El cambio a ventilación oscilatoria se hace en el Babylog 8000 sólo presionando un botón. Habiendo reducido la frecuencia de IMV a 3 rpm., o habiendo cambiado a CPAP, reajustar inmediatamente la PMA para la apertura óptima del pulmón. Los botones rotatorios de PEEP/CPAP, controlan en el Babylog 8000 la presión media de la vía aérea en la HVF. Se describen tres posibles estrategias, que son convenientes para la aplicación clínica:

1. Determinar la PMA de 2 a 5 mbar por encima de la que tenía anteriormente en ventilación convencional. Ir aumentando la PMA paso a paso, hasta que mejore la oxigenación y el pulmón sea correctamente insuflado.
2. Los primeros 3-5 minutos de la VAF poner la PMA de 6 a 8 mbar mayor que la que había en convencional, e ir disminuyendo hasta 0 o 2 mbar por encima de la PMA que había en ventilación convencional. Después de eso, variar la PMA hasta mantener la oxigenación.
3. Mantener la PMA en el mismo nivel en el que estaba en convencional. Mantener la expansión pulmonar inicialmente con insuflaciones pulmonares intermitentes. (vease capítulo 5).

En nuestro hospital utilizamos la primera estrategia, algunos expertos utilizan estas estrategias de forma combinadas.

Mantener la presión de IMV de 2 a 5 mbar por debajo de la PIP de la ventilación convencional. Una frecuencia oscilatoria de menos de 10Hz, es un buen valor para comenzar. Poner la máxima amplitud posible para tener el tórax del paciente vibrando. Hay que esforzarse por obtener volúmenes oscilatorios de al menos 2 ml/kg. Después de 30 a 60 minutos de ventilación en alta frecuencia, debe realizarse una Rx de tórax. La mejor aireación pulmonar se correlaciona en la Rx con los espacios intercostales que deben ser de 8 a 9, y con una disminución de la aireación pulmonar [4, 11, 22, 23, 29, 67, 95, 97, 103, 109].

VAF: Comienzo

PMA (PEEP):	2-5-(8) mbar por encima de la PMA de la de ventilación convencional. Si es necesario, aumentar PMA hasta que $pO_2 \uparrow$; después de 30 minutos: RX: 8-9 espacios intercostales.
IMV frecuencia	3 bpm
presión	2 a 5 mbar por debajo de la de ventilación convencional
VAF frecuencia	10 Hz
VAF amplitud	100% Observar la vibraciones del tórax
VAF volumen	alrededor de 2 a 2,5 ml/kg

6.2 Continuación de la VAF

El efecto de haber cambiado los parámetros respiratorios, debe evaluarse tras 15 minutos. Si persiste la hipoxia debe aumentarse la presión de la vía aérea hasta que mejore la oxigenación; en el Babylog 8000 es posible hasta 25 mbar. De cualquier manera hay que asegurarse de que ni es perjudicial para presión arterial sistémica, ni aumenta la presión venosa central (Pvc). De forma alternativa, el volumen de reclutamiento se puede obtener con insufflaciones mantenidas. Con un volumen constante oscilatorio, la oxigenación puede mejorar con mayores frecuencias.

Si la oxigenación es satisfactoria se puede disminuir la FiO_2 a 0.6-0.3. Sólo entonces se puede ir disminuyendo la PMA paulatinamente y con cuidado (1 a 2 mbar en 1 a 4 horas).

En caso de hipercapnia intentar aumentar sobretodo la DCO_2 o el volumen oscilatorio; después poner la amplitud al 100%. Disminuyendo la frecuencia o aumentando la PMA, se puede intentar mantener la amplitud y el volumen oscilatorio (ver también 12.1.2). En caso de hipercapnia siempre hay que liberar la vía aérea de la obstrucción por secreciones, porque las secreciones en alta frecuencia impiden la efectividad de la ventilación mucho más que en otros modelos de convencional. Durante la aspiración el pulmón con frecuencia se desinfla, produciéndose deterioro respiratorio. Como precaución se puede se puede aumentar temporalmente un poco la PMA (2 a 4 mbar) después de aspirar al niño o aplicar la insuflación mantenida.

VAF: Continuación

Hipoxia	<p> aumentar PMA hasta 25 mbar máximo (si no aumenta la Pvc) alternativa: aplicar insuflación mantenida a volúmenes pulmonares bajos. Aplicar maniobras respiratorias cada 20 minutos durante 10 a 20 segundos de 10 a 15 mbar por encima de la PMA. </p>
Hiperoxia	<p> disminuir la FiO_2 a 0.6-0.3 disminuir con cuidado la PMA. </p>
Hipercapnia	<p> aumentar DCO_2 – amplitud 100% – disminuir frecuencia – aumentar PMA (por encima de 10 mbar) </p>
Hipocapnia	<p> disminuir DCO_2 – disminuir amplitud – aumentar frecuencia – disminuir PMA (por debajo de 8 mbar) </p>
Hiperinsuflación	<p> disminuir PMA – disminuir frecuencia – alta frecuencia oscilatoria discontinua </p>
Hipotensión/ \uparrow de Pvc:	<p> – en hipotensión: expansión de volumen – Dopamina/ dobutamina – disminuir PMA – alta frecuencia oscilatoria discontinua </p>

Si la ventilación se deteriora incluso a 5 Hz, amplitud máxima y PMA óptima, volver a ventilación convencional. Si la ventilación y/o la oxigenación no mejoran después de 2 a 6 horas se puede considerar que el paciente no responde a la alta frecuencia.

Dentro de un corto periodo de tiempo (minutos a 2-6 horas), después del inicio de la HVF la compliance debe mejorara rápidamente. Esto se acompañará de un aumento del volumen oscilatorio y de la DCO_2 , que lleva a la hiperventilación. Con valores bajos de pCO_2 , la DCO_2 debería disminuir: disminuir la amplitud programada, aumentar la frecuencia o, con el Babylog 8000, disminuir la presión media de la vía aérea (debajo de 8 mbar). En general, la CO_2 se elimina de forma efectiva con volúmenes oscilatorios alrededor de los 2 ml/kg. Esto a menudo

se corresponde con valores de DCO_2 mayores de 40 a 50 $\text{ml}^2/\text{s}/\text{kg}$. De cualquier modo, a veces es necesario aplicar volúmenes oscilatorios mucho mayores (3-4 ml/kg) para alcanzar una ventilación adecuada (vease apéndices 12.2 12.3 12.4).

En caso de hiperinsuflación, disminuir primero la PMA, si persiste, disminuir la frecuencia oscilatoria hasta permitir una mejor desinsuflación y ciclos espiratorios.

En caso de hipotensión, hay que recuperar primero la hipovolemia. Si hay un aumento de la Pvc, o un relleno capilar prolongado, se pueden usar dopamina y dobutamina. Si aun así hay signos de insuficiencia cardiaca, se puede disminuir la PMA. Menos PEEP y al mismo tiempo una mayor frecuencia de IMV con una PMA constante, puede a lo mejor mejorar el gasto cardiaco.

6.3 Humidificación

Es esencial que el aire respirado esté correctamente humidificado (90%), de lo contrario, se pueden producir daños irreversibles en la traquea, además las secreciones espesas pueden taponar y obstruir los bronquios, deteriorando la función pulmonar. Por otra parte, una humedad excesiva puede condensarse en el circuito del paciente, el tubo endotraqueal y en la vía aérea, impidiendo el efecto de la VAF [101, 104]. La experiencia ha demostrado que los humidificadores del Babylog 8000, el Aquamod de Dräger y el Fisher & Paykel, han dado buenos resultados.

6.4 El destete desde ventilación oscilatoria

El destete de un paciente en la VAF no debe ser precipitado, sino más bien fácil. En primer lugar, disminuir oxígeno al 30-50%. Si el paciente se oxigena bien con una FiO_2 del 30%, significará probablemente que el pulmón se insufla bien, y que no hay problemas de ventilación/perfusión [116]. Después, disminuir la presión media poco a poco, hasta 8 o 9 mbar. Si el pulmón está hiperinsuflado, es prioritario disminuir la PMA; al mismo tiempo la frecuencia de IMV puede aumentar y la amplitud disminuir (ver también 12.1.3.); pero un cambio en la PMA no cambia inmediatamente la oxigenación. En una situación clínica estable, hay que esperar unos 30 a 60 minutos hasta ver los efectos del nuevo cambio.

Entonces se vuelve a ventilación convencional y se continúa el destete en IMV. Sin embargo también es posible extubar directamente al paciente desde HVF.

El tiempo de duración del destete, varía significativamente según la patología pulmonar subyacente. En casos de enfermedad aguda como el SDR o la HTPP el destete llevará desde pocas a bastantes horas. En enfermedades como la DBP puede llevar días según las circunstancias individuales; ej: hipercapnia permisiva, fugas de aire, etc.

VAF: Destete

1. Disminuir FiO_2 de 0,3 a 0,5.
2. Disminuir la PMA de 1 a 2 mbar a la hora, hasta (8) 9 mbar; entonces aumentará la frecuencia de IMV
3. Disminuir amplitud.
4. Continuar ventilando con IMV/SIMV y destetar
5. La extubación desde la HVF es posible siempre que halla suficiente actividad respiratoria.

7 Monitorización durante la VAF

Como en cualquier forma de ventilación asistida, deben monitorizarse estrechamente los parámetros vitales. Además de los parámetros ventilatorios habituales, deben observarse la presión media de la vía aérea y los volúmenes tidal tanto de los ciclos oscilatorios como de los ciclos en IMV [77]. La monitorización de la DCO_2 ha resultado ser de gran utilidad (vease apéndices: 12.2, 12.3, 12.4, 12.5). Particularmente en niños críticamente enfermos, debe medirse la PVC de manera regular ó continua. Un aumento considerable puede suponer descompensación cardiorrespiratoria a una PMA demasiado alta. Retraso en el relleno capilar o disminución de la diuresis pueden indicar compromiso de la función cardíaca.

Con la ayuda de la ecocardiografía, se pueden monitorizar la contractilidad y el gasto cardíaco, así como la presión en el ventrículo derecho mediante la evaluación cuantitativa de insuficiencia tricuspídea. El estado de expansión pulmonar debe comprobarse mediante radiografías de tórax periódicas. Lo ideal es entre la 8° ó 9° costilla. Si se asocian VAF e IMV, es importante hacer las radiografías en la fase espiratoria de los ciclos mandatorios.

En esta modalidad mixta, el Babylog mide y muestra el volumen tidal de los ciclos IMV por separado. Si la meseta inspiratoria es suficientemente larga, la presión medida en la pieza en Y se igualará aproximadamente a la presión intrapulmonar, debido a que no hay pérdida significativa en el tubo. Entonces la compliancia dinámica es fácil de calcular:

$$C_{\text{din}} = \frac{V_{\text{TIMV}}}{\text{PEAK}_{\text{IMV}} - \text{PEEP}}$$

De la compliancia dinámica, se puede concluir de manera indirecta del grado de insuflación del pulmón. La ventilación oscilatoria de un pulmón inicialmente con poca compliancia (por ejemplo con SDR) puede mejorar la compliancia de forma rápida y marcada abriendo zonas poco aireadas (vease 2 y 12.4). Con una mejor compliancia, se conseguirá una mayor insuflación con la misma presión. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la compliancia dinámica puede depender de manera importante de la PEEP:

Con PEEP alta, la curva de presión-volumen de los respectivos ciclos, pueden localizarse en la parte superior de la curva de presión-volumen estática (figura 7.1). Si se dispone de un

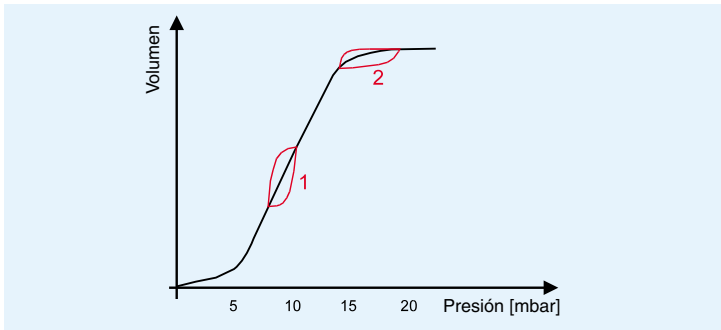


Figura 7.1: Curva de presión-volumen estática con curvas dinámicas con una PEEP baja (1) y alta (2). La compliancia se refleja en el gradiente medio de ambas curvas.

dispositivo para realizar tests de función pulmonar estática mediante el método de oclusión, se puede comprobar el grado de insuflación del pulmón según el nivel de presión media de la vía aérea. Esto permite controlar enfermedades obstructivas antes del comienzo de la ventilación oscilatoria. Sin embargo, la única forma de saber con seguridad el grado de insuflación pulmonar mediante pruebas de función pulmonar, es la determinación del volumen residual [2, 23, 95, 96].

Monitorización durante la VAF

- Parámetros de ventilación.
- Gases sanguíneos
- Tensión arterial, frecuencia cardíaca
- Presión venosa central, si es posible
- Microcirculación
- Diuresis
- Radiografía de tórax (espiratoria)
- Función pulmonar si es posible

8 Estrategias para distintas enfermedades pulmonares

Existen diferentes estrategias aplicables en ventilación oscilatoria para distintas enfermedades pulmonares. Los objetivos del tratamiento siempre determinan el procedimiento práctico.

8.1 VAF para enfermedades pulmonares homogéneas difusas

El síndrome de distress respiratorio, neumonía difusa, pero también la hipoplasia pulmonar bilateral pertenecen a este grupo. El objetivo principal en estos pacientes es reclutar el volumen pulmonar para mejorar la oxigenación y la ventilación con el mínimo barotrauma. Una vez en la modalidad de VAF, ajustar la presión media de la vía aérea 2 a 5 mbar (8) por encima de la PMA de la ventilación convencional previa. Si es necesario, aumentar la PMA – pero no hiperinsuflar el pulmón! – de 1 a 2 mbar cada 10 minutos hasta que mejore la oxigenación. Si aparecen signos de insuficiencia cardíaca derecha, reducir la PMA. Antes de bajar la PMA en el curso posterior del tratamiento, bajar la FiO_2 a 0.3-0.5. Los valores de frecuencia y amplitud dependen de la necesidad de eliminar CO_2 (vease Capítulo 3) [22, 23, 29, 45, 63, 72, 73, 106].

VAF para enfermedades pulmonares homogéneas difusas

Objetivos:

Expansión pulmonar, mínimo barotrauma

- empezar con PMA 2 a 5(8) mbar por encima de la previa en ventilación convencional
- aumentar PMA hasta que la PO_2 suba 20 a 30 mmHg, o la PVC aumente, o aparezcan signos de hiperinsuflación
- reducir la FiO_2 a 0.3-0.5 y continuar la retirada

8.2 VAF para enfermedades pulmonares no homogéneas

Neumonía focal, hemorragia pulmonar, aspiración de meconio, hipoplasia pulmonar unilateral y DBP se incluyen en este grupo.

El objetivo es oxigenar y ventilar con la mínima presión de la vía aérea. Debido a la existencia de zonas con distintas compliancias y/o resistencias, siempre existe el peligro de hiperinsuflar las unidades pulmonares de menor compliancia. En la aspiración pulmonar, por ejemplo, la vía aérea suele estar impactada de meconio. Por tanto, en VAF, se puede producir atrapamiento aéreo con facilidad y causar un neumotórax.

Comenzar con una PMA menor o igual que la previa en ventilación convencional. La frecuencia oscilatoria debería ser baja. Si es necesario, subir la PMA mediante incrementos pequeños hasta que la PO_2 aumente ligeramente. Mantener la PMA constante. Generalmente la situación seguirá mejorando. Si no, volver a ventilación convencional.

VAF para enfermedades pulmonares no homogéneas

Objetivos: Mejorar la oxigenación y la ventilación con la mínima PMA

Riesgo: Sobredistensión parcial

- comenzar con una PMA menor o igual que la previa en ventilación convencional
- frecuencia oscilatoria baja, por ejemplo 7 Hz
- subir la PMA hasta que la PO_2 aumente ligeramente; mantener la PMA constante; si la situación respiratoria no mejora, volver a ventilación convencional

8.3 VAF para fugas de aire

El enfisema intersticial sobre todo, pero también el enfisema de grandes bullas y el neumotórax pertenecen a esta categoría. Los objetivos del tratamiento son mejorar la oxigenación y la ventilación con la mínima presión media de la vía aérea.

En este caso, se pueden permitir valores de PO_2 menores y mayores de PCO_2 . No asociar IMV por el riesgo de barotrauma. Colocar al niño del lado de la fuga aérea. Ajustar la PMA por debajo de la previa en ventilación convencional si es posible. Escoger una frecuencia oscilatoria baja. La siguiente estrategia consiste sobre todo en una reducción de la presión. Si mejora, mantener la AFO otras 24 a 48 horas hasta que los signos radiológicos de fuga de aire hayan mejorado claramente [2, 24, 29].

VAF para fugas de aire

Objetivo: Mejorar la oxigenación y la ventilación con la mínima PMA; (permitir valores de PO_2 menores y mayores de PCO_2).

- No asociar IMV!
- Empezar con una PMA menor o igual que la previa en ventilación convencional
- Frecuencia oscilatoria baja, por ejemplo 7 Hz
- Reducir la presión antes que la FiO_2
- Continuar en VAF 24 a 48 horas después de la mejoría

8.4 VAF para atelectasia

Incluso en ventilación convencional, especialmente en presencia de neumonía, aspiración meconial o DBP, se producen atelectasias persistentes. Según nuestra experiencia, la ventilación oscilatoria intermitente puede resolver dichas atelectasias. Aplicamos VAF de 15 a 30 minutos unas 6 veces al día antes de la aspiración. Con una PEEP ligeramente más alta, puede continuar la IMV, aunque la frecuencia no debe superar 20 bpm para asegurar el tiempo suficiente para las oscilaciones. Después de aspirar, se desactiva la VAF de nuevo. El efecto para abrir las atelectasias está basado probablemente en una „vibración interna“, insuflación aumentada mediante una PMA mayor y un aumento del aclaramiento mucociliar [62, 71, 93].

8.5 VAF para hipertensión pulmonar persistente del recién nacido (HPPRN)

Numerosos autores han hablado sobre la efectividad del tratamiento de la hipertensión pulmonar persistente del recién nacido con VAF. La aplicación continua de presión alta en la vía aérea abre el pulmón, disminuye la resistencia vascular pulmonar, mejorando la relación ventilación perfusión y de esta forma reduce el shunt derecha-izquierda intrapulmonar. La adecuada oxigenación junto con la mejora en la eliminación de CO₂ contrarresta la vasoconstricción pulmonar.

De los recién nacidos con HPPRN de distintas causas, del 39 al 67% han sido tratados de forma efectiva con VAF sola ó asociada a IMV. El pronóstico de estos pacientes se correlacionan directamente con el test de Apgar e inversamente con el peso al nacer y el índice de oxigenación.

La estrategia de la VAF debería considerar la condición del pulmón del paciente así como el estado cardiopulmonar (vease Estrategias 8.1, 8.2, 8.3). Antes de iniciar la VAF, comprobar y tratar en su caso la presencia de hipovolemia e hipotensión. Intentar conseguir la normoventilación o ligera hiperventilación mediante cambios específicos sobre la DCO₂. Comenzar la VAF con un nivel de PMA similar a la previa en ventilación convencional. Optimizar el volumen pulmonar y la oxigenación ajustando la PMA (PEEP; PIP; frecuencia IMV). En estos pacientes la hiperinsuflación, así como un volumen pulmonar bajo pueden influir sobre la resistencia vascular pulmonar, el flujo pulmonar y deteriorar el estado del paciente. La PVC debe ser monitorizada estrechamente, y se deben realizar radiografías de tórax seriadas. Frecuencias IMV más altas y PEEP más baja que las usadas en CPAP-VAF probablemente mejorará la función cardíaca.

Como estos pacientes son muy sensibles a la manipulación, los cambios ventilatorios deberían llevarse a cabo con gran cuidado [8, 43, 49, 64, 92, 97, 109, 110, 117, 118].

VAF para hipertensión pulmonar persistente del recién nacido (HPPRN)

Objetivos: optimizar el volumen pulmonar y la perfusión; mejorar la hipoxia y la hipercapnia con el mínimo barotrauma.

- VAF frecuencia: <10Hz
- VAF amplitud: 100%
- PMA: igual que en ventilación convencional; aumentar según se necesite para mejorar la oxigenación en 1 mbar en la presencia de fuga de aire, PMA lo más baja posible; reducir la PMA con mucho cuidado; vigilar la función cardíaca
- IMV: frecuencia de 0 a 15 (30)b.p.m.
- Reducir O₂ antes que la PMA
- Mantener VAF 24-48 horas tras la mejoría

Siempre: mínima manipulación, quizá sedación o relajación

9 Complicaciones, contraindicaciones y limitaciones

9.1 Complicaciones y efectos secundarios

Irritación: Inicialmente, los niños presentan irritabilidad, requiriendo mayor sedación. Sin embargo, suelen tranquilizarse según mejora la hipercapnia.

Secreción: Con suficiente humidificación, las secreciones no obstruyen la vía aérea, sino que más bien se resuelven mejor. Sin embargo, incluso pequeñas cantidades de secreción o espuma tras la administración de surfactante pueden afectar de manera considerable la eficacia de VAF. Esto se manifiesta en una disminución del volumen oscilatorio (VTAFO) o DCO_2 [8, 48, 62, 72, 93].

Hemodinámico: A menudo se observa una ligera disminución de la frecuencia cardíaca. Este fenómeno así como la frecuentemente observada apnea refleja, se atribuye a un aumento de la actividad vagal durante la VAF. Una PMA alta puede comprometer el retorno venoso al corazón y el gasto cardíaco, así como conducir a un aumento de la resistencia vascular pulmonar. Mejorar el gasto cardíaco y la función cardíaca antes de iniciar la VAF pueden ayudar a disminuir estos problemas. A veces se puede observar edema periférico [29, 32, 102].

Hemorragia intracraneal: Si la VAF favorece la aparición de HIC se ha discutido durante mucho tiempo. La condición crítica del paciente en la mayoría de los casos, está probablemente relacionado con este efecto. Estudios más recientes, en los cuales la AFO se aplicó precozmente, no aportan una mayor incidencia de esta complicación en comparación con ventilación convencional. No se pudo observar un aumento de la presión intracraneal [22, 23, 16, 45, 46, 59, 78, 81, 89, 105, 108, 111].

Hiperinsuflación: La hiperinsuflación pulmonar en las enfermedades pulmonares obstructivas (ej. en SAM) es la complicación más frecuente y causa de fracaso de la ventilación oscilatoria. Aquí, especialmente con frecuencias altas e índices I:E inadecuados, puede producirse atrapamiento aéreo masivo. Muchos estudios hablan de fugas de aire como complicación de la VAF [96, 108, 109]. Por otra parte, estudios más recientes describen la VAF como una forma de ventilación que reduce el barotrauma y la incidencia de fuga de aire [22, 41, 59, 82].

DBP: Con respecto al desarrollo de DBP y enfermedad pulmonar crónica, los estudios publicados muestran resultados contradictorios. Incluso en algunos estudios, particularmente en estudios animales, se ha demostrado claramente un efecto preventivo en cuanto al desarrollo de daño pulmonar crónico. Sin embargo, algunos de los estudios clínicos no encuentran un efecto beneficioso de la VAF en comparación con la ventilación convencional en el tratamiento del SDR. Pero surgieron serias críticas en cuanto al diseño y las inconsistentes estrategias de estos estudios. Recientemente el ensayo multicéntrico Provo ha demostrado que la incidencia de enfermedad pulmonar crónica y la mortalidad eran un 50% más bajas en el grupo tratado precozmente con la VAF y surfactante que en los tratados con ventilación convencional [14, 23, 42, 54, 55, 83, 116, 119].

Traqueobronquitis necrotizante: Irritación local hasta producir necrosis del sistema traqueobronquial se conocen como complicaciones principalmente de la VAFJ, pero también de la VAF y ventilación convencional. Una inadecuada humidificación y una PMA excesivas son los principales factores fisiopatológicos. En los estudios publicados recientemente, no se encontró diferencia significativa entre la VAF y ventilación convencional [2, 29, 89, 109, 115].

Otros: Se describen tres casos de embolia gaseosa [76, 52, 80]. Esta complicación puede también ocurrir durante ventilación convencional con picos de presión altos [6].

9.2 Contraindicaciones

La única contraindicación relativa conocida hasta el momento es la obstrucción pulmonar. Puede estar presente en la aspiración meconial, pero también en la DBP o en la bronquiolitis por VRS. En nuestra unidad, cuando había dudas, las pruebas de función pulmonar se mostraron útiles [94, 98] (ver apéndice 12.2). Si se plantea aplicar la VAF a pesar de la existencia de obstrucción pulmonar, se debe asumir el riesgo de hiperinsuflación importante con lo que conlleva. No hay publicaciones que presenten la hemorragia intracraneal o coagulopatía como contraindicaciones de la VAF.

9.3 Limitaciones de la VAF

El éxito de la VAF depende en gran manera de la potencia del ventilador de AF, que se caracteriza por los volúmenes oscilatorios a frecuencias lo suficientemente altas. La compliancia y el espacio muerto del circuito del paciente tienen gran importancia. Con un circuito de baja complianza, los volúmenes oscilatorios pueden aumentar considerablemente (cf. 12.1.2). En los interruptores de flujo, la mecánica pulmonar y probablemente el estado del paciente, influyen además la potencia.

El Babylog 8000 permite ventilación de alta frecuencia en pacientes que pesen hasta 4 kg. Dependiendo del peso y la mecánica pulmonar, se puede esperar fracasos ocasionales debidos a volúmenes oscilatorios insuficientes en el rango de frecuencias más altas (cf. 12.4).

10 Fracaso en VAF

Si el peso es el adecuado, y se tienen en cuenta las indicaciones y contraindicaciones, VAF producirá al menos una mejora transitoria del estado respiratorio crítico en la mayoría de los pacientes. Con respiradores adecuados, incluso adultos pueden ser ventilados de forma efectiva[66]. La propia experiencia ha mostrado que los clínicos que no están familiarizados con la VAF se resisten a abandonar algunas ideas de la ventilación convencional. Su error más frecuente es aplicar una PMA inadecuada para el reclutamiento pulmonar. Una vez más, una PMA excesiva puede por supuesto conducir a un fracaso de la VAF, hiperinsuflación pulmonar, barotrauma, y un severo empeoramiento del paciente.

Los clínicos a menudo no explotan la amplitud por miedo al barotrauma o a la irritación. Sólo con el paso del tiempo se dan cuenta de que las altas amplitudes de presión en realidad quedan atenuadas por el tubo ET. Por falta de seguridad, no se atreven a bajar drásticamente la frecuencia IMV a 0-5 b.p.m. De esta manera, ni reducen el riesgo de barotrauma, ni abren de manera suficiente el pulmón colapsado mediante la aplicación continua de presión alta de la vía aérea. Analizando la literatura, se obtiene la impresión de que algunos autores no tenían suficiente experiencia, y así atribuyen efectos iatrogénicos o fracasos a la modalidad de ventilación[14, 29, 74].

Es muy importante reconocer a los pacientes que van a fracasar en la VAF lo más precozmente posible. Estos pacientes deberían ser tratados con ECMO a un tiempo. Los respondedores se diferencian significativamente de los no respondedores. Ya al inicio de la VAF, los no respondedores estaban más críticamente enfermos y mostraban un índice de oxigenación más alto (IO) o una diferencia alveoloarterial de oxígeno más baja (A/a DO₂). De 2 a 6 horas después de iniciar la VAF, los no respondedores se caracterizan por mayor FiO₂, IO, PCO₂, PMA o A/a DO₂ más baja. Con el Sensormedics 3100, una A/a DO₂ < 0,08 después de 6 horas de la VAF mostró la mejor correlación en predecir el fracaso de la VAF y la necesidad de ECMO en neonatos. Estos valores pueden variar según el respirador. Sin embargo, un aumento de la PCO₂ y/o IO después de 2 a 6 horas debe considerarse como un signo de fracaso de la VAF.

Si la VAF fracasa con un oscilador, en algunos pacientes y en situaciones concretas, una máquina más potente podría ser útil.

Además, el índice de éxito de la VAF varía con la categoría diagnóstica. Pacientes con enfermedades pulmonares homogéneas tienen más posibilidad de éxito (70-87%) con la VAF que con las enfermedades no homogéneas (50.79%), fuga de la aire (63-80%), HPPRN (39-68%) o HDC (22-27%). [24, 97, 118, 120]

11 Resumen

La ventilación de alta frecuencia (oscilatoria) es una nueva forma de tratamiento cuyo efecto fisiológico no se ha clarificado todavía del todo. Sin embargo en algunos centros se ha pasado el estadio experimental, estableciéndose en Neonatología como un tratamiento alternativo cuando falla la ventilación convencional. Enfermedades pulmonares severas como SDR, SDRA, neumonía, SAM, fugas de aire e hipoplasia pulmonar, así como hipertensión pulmonar persistente del recién nacido pueden ser tratadas a menudo con mayor éxito y menor agresividad con la VAF que con estrategias de ventilación convencional.

Las principales ventajas en comparación con ventilación convencional son una mejor oxigenación y ventilación y al mismo tiempo, menos riesgo de barotrauma. La oxigenación y la eliminación de CO₂ se controlan mediante la PMA, el volumen oscilatorio y la frecuencia.

Aplicando estrategias específicas, el clínico puede abordar de manera adecuada la fisiopatología de la enfermedad subyacente. Se necesitan más estudios controlados para valorar las ventajas e inconvenientes de esta técnica de ventilación en comparación con la ventilación convencional antes de que se puedan ampliar las indicaciones.

Los respiradores de alta frecuencia disponibles en el mercado varían considerablemente en tecnología y potencia. Sin embargo, cualquier dispositivo puede aportar volúmenes oscilatorios limitados, como se refleja en las estrategias descritas. Supone un compromiso entre las capacidades del dispositivo y las necesidades del paciente[66].

La ventilación de alta frecuencia es una técnica segura de ventilación asistida en manos de un equipo experimentado, que tenga en cuenta todas las indicaciones, efectos adversos y contraindicaciones[86, 78, 59, 25].

12 Apéndice

12.1 Modalidad de alta frecuencia del Babylog 8000 (versión software 4.n).

En el Babylog 8000 la membrana de la válvula de (exhalation) controla los pulsos de alta frecuencia al igual que controla las respiraciones en ventilación convencional. Esta servomembrana deja pasar justo la cantidad de aire al ambiente que la presión deseada mantenida en el circuito del paciente. En un ciclo mandatorio esta presión corresponde al límite de presión inspiratoria fijado, mientras que en la fase espiratoria ó en la modalidad CPAP, se iguala con PEEP/CPAP.

Cada ciclo de alta frecuencia consiste en una fase inspiratoria durante la cual la presión está por encima de la PMA y una fase espiratoria en la cual está por debajo del nivel de PMA. Vibrando rápidamente entre dos niveles de presión, la válvula de exhalation genera pulsos de alta frecuencia en torno a una presión media de la vía aérea. En la inspiración, se cierra la válvula, y en espiración se abre para que el gas pueda pasar. Una válvula de jet Venturi en la válvula de exhalación crea una presión negativa con respecto al ambiente, asegurando una espiración activa. La fase espiratoria es siempre más larga ó igual que la fase inspiratoria. De esta forma, el pulso de presión negativa suele ser menor que el de presión positiva. El índice I:E se regula automáticamente de 0.2 a 0.83 dependiendo de la PEEP (= PMA) y la frecuencia oscilatoria. Sólo con PMA por encima de 15 mbar y frecuencias oscilatorias mayores de 12 Hz, el índice I:E puede alcanzar 1.0.

Debido a la brevedad de las fases inspiratorias y espiratorias durante VAF, volúmenes oscilatorios adecuados requieren un flujo continuo mayor que en ventilación convencional. Por tanto, el Babylog 8000 ajusta el flujo (rango de 1 a 30 l/min) de forma automática para adecuar la demanda a las respectivas frecuencia y amplitud programadas. El flujo y el índice I:E se programan a partir de una tabla instalada en la memoria de la microcomputadora del dispositivo. Consecuentemente, la función VIVE, que de otro modo sirve para seleccionar un flujo continuo en la fase espiratoria de los ciclos mandatorios, no está disponible en AFO. Además, la mínima PEEP/CPAP permitida es de 3mbar. En amplitudes altas de alta frecuencia y al mismo tiempo bajas PMA, sería necesaria una presión espiratoria negativa para mantener la presión media de la vía aérea. Para evitar el colapso de los alvéolos pulmonares, una válvula de seguridad y un mecanismo

de control interno asegura que la presión no baja de unos 4mbar. Las amplitudes de presión obtenidas en la pieza en Y dependen de un flujo continuo, de la amplitud y la frecuencia programadas, del sistema respiratorio y también de la complianza del circuito del paciente. Cuanto mayor sea la complianza del sistema, menor serán los pulsos de presión y por lo tanto las amplitudes oscilatorias. Al usarse distintos tipos de sistemas de tubuladuras en la práctica clínica, es imposible predecir las amplitudes de volumen y presión en situaciones concretas (12.1.2).

La amplitud oscilatoria de alta frecuencia se puede ajustar en una escala relativa desde 0 a 100%. Según los volúmenes tidales resultantes, el clínico varía la amplitud hasta que el volumen oscilatorio de alta frecuencia o la DCO₂ sean los adecuados (cf. capítulo 3).

La programación de la amplitud de presión en el Babylog 8000 se define por un porcentaje de la diferencia de presiones entre 60 mbar y la PMA, que es la máxima amplitud posible. Mediante la válvula de exhalation, el dispositivo siempre regula la presión de la vía aérea en inspiración, de forma que se corresponda con el control interno de presión, P_{control}:

$$P_{\text{control}} = PMA + \frac{(60 \text{ mbar} - PMA)}{100 \%} * x \%$$

Esto significa: con una amplitud programada del 0%, la presión de control se igualará con la PMA, es decir, no habrá oscilaciones; con 100%, la presión de control será de 60 mbar.

En el nivel de presión de control, la válvula de exhalation limita la amplitud durante la AFO de la misma manera que en ventilación convencional, donde el límite es la P_{insp}. La válvula de exhalation sólo es capaz de limitar o regular la presión de la vía aérea dejando escapar más ó menos gas, durante la fase de meseta. Sin embargo, con un flujo suficiente, ó con tiempos inspiratorios demasiado cortos, ó un circuito con demasiada compliancia, la presión puede no alcanzar la meseta. Entonces la amplitud de presión en la boca será más baja que la presión de control de la válvula. Así, la bajada de amplitud afectará a la presión actual en la pieza en Y sólo si la presión de control es más baja que la presión realmente obtenida al final del T_{insp} (ver capítulo 12.2).

Con PMA bajas, la amplitud es además limitada por una programación interna de forma que no se obtengan presiones espiratorias por debajo de -4 mbar.

Durante la inspiración, el flujo crea una presión en el sistema que incluye el circuito del paciente, pulmones, vía aérea, y el tubo endotraqueal. Sin contar el flujo de aire en el tubo ET por el momento, la presión en el circuito al final de la inspiración, es aproximadamente igual a:

$$P_{aw} = \frac{\text{Flujo continuo} * T_i}{\text{Compliance Sistema}}$$

Esto significa que fases inspiratorias largas (baja frecuencia en AF), flujo alto, y complianza baja en el sistema da lugar a amplitudes altas. Desde luego, debido al flujo que pasa a través del TET, la amplitud de presión real en la boca es más pequeña. Pero la relación dada sigue siendo real.

Así, en cualquier situación clínica, la programación de amplitud del 100% generará la máxima presión posible bajo unas circunstancias dadas. Las curvas de presión, así como los picos de presión se pueden leer desde la pantalla del respirador. De esta forma el clínico puede ajustar los parámetros según las necesidades del tratamiento.

Combinación de la VAF con modalidades de ventilación convencional.

Las oscilaciones de alta frecuencia se pueden superponer siempre que el paciente pueda respirar de un flujo continuo. Esto resulta en las siguientes combinaciones posibles:

CPAP y AF

Los ciclos de alta frecuencia se aplican continuamente, sobre el nivel de CPAP. En esta situación, la PMA es igual que la CPAP.

IPPV/IMV y AF

Los ciclos de alta frecuencia se aplican durante las fases espiratorias entre los pulsos mandatorios. La oscilación se detiene unos 100 ms antes de un pulso mandatorio, y continúa unos 250 ms después. Se dispone de dos precauciones frente al atrapamiento aéreo: en primer lugar la breve pausa después de cada ciclo mandatorio para dar suficiente tiempo al paciente para espirar; en segundo lugar, las oscilaciones siempre empiezan con una fase espiratoria (ver figura 12.1). Debido a los ciclos mandatorios, la presión media de la vía aérea real resulta de los ciclos convencionales y de la PEEP.

SIMV y AF

Esta modalidad funciona básicamente como la combinación de IPPV y AF, pero ahora las oscilaciones se detienen unos 300 ms antes del período ventana en el cual el respirador busca un esfuerzo respiratorio espontáneo para disparar. Esto es necesario para detectar una respiración espontánea sin las interferencias de las oscilaciones de alta frecuencia. Por supuesto esto reduce el tiempo disponible para las oscilaciones. Con escasa conducción ventilatoria, no ocurren oscilaciones hasta el siguiente ciclo mandatorio, dando lugar a episodios prolongados de apnea. No es posible aplicar simultáneamente SIPPV y AF.

Monitorización durante la VAF

Como en ventilación mecánica convencional, el Babylog 8000 monitoriza presión y flujo, y muestra las curvas en tiempo real de manera alternativa. Algunas capacidades de monitorización han sido especialmente adaptadas a la ventilación de alta frecuencia:

- $DCO_2 = VT_{AF}^2 * f$: coeficiente de transporte gaseoso (cf. 3.4)
- VT_{AF} : volumen tidal inspirado, media de varios ciclos
- MV_{IMV} : volumen minuto inspirado de las respiraciones en IMV
- V_{TIM} : volumen tidal inspirado de las respiraciones en IMV

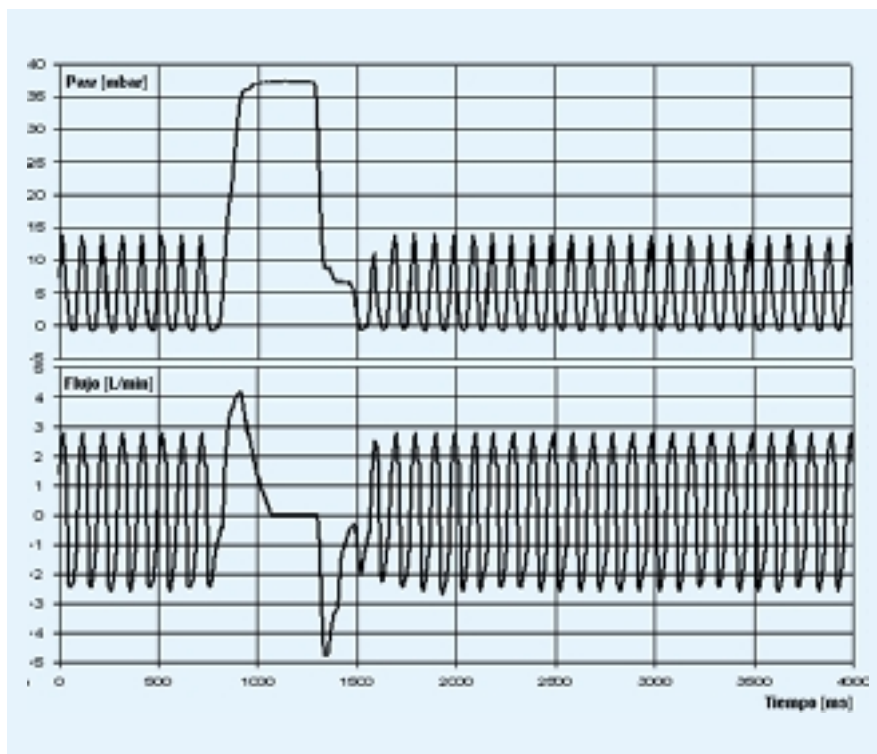
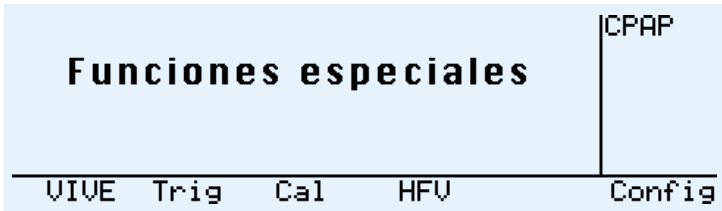


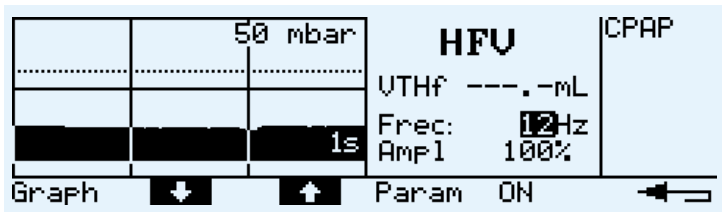
Figura 12.1: Curvas de presión y flujo: La primera oscilación después de una respiración en IMV comienza en fase espiratoria.

12.1.1 Ajuste de VAFO con el Babylog 8000

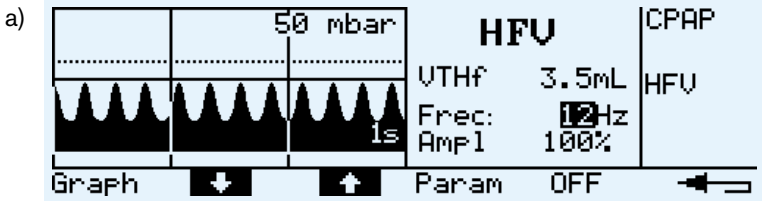
Para buscar el submenú HFV, pulsar el botón HFV del 'Menú Mode'.

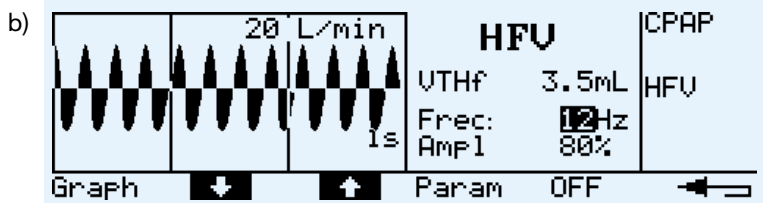


Aquí se fijan la frecuencia oscilatoria y la amplitud.



Pulsar el botón 'Graph' para cambiar entre la curva de presión (a) o la de flujo (b).

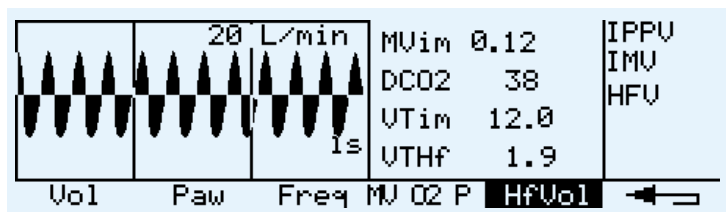




Monitorización y visualización de los parámetros de VAF

Cuando se combinan IMV y VAF, se visualizan tanto el volumen minuto como el volumen tidal de IMV.

Durante la VAF pura, estos parámetros se borran.



Para ver los valores fijados y medidos, cambiar al submenú 'List'. Bajo 'Aju 1', se muestran todos los parámetros fijados en ventilación convencional.

TI	0.40 s	Uinsp	8.0 L/min	IPPV
TE	1.1 s	Uexp	8.0 L/min	IMV
fset	40 /min	Pinsp	30 mbar	
I:E	1: 1.5	PEEP	3.0 mbar	
FiO2	27 %	Trig	1.6	
Aju1	Aju2	Med1	Med2	→

Bajo 'Aju 2' aparecen la amplitud y frecuencia en HFV.

HFV: Ampl. 83%	Freq. 12 Hz	IPPV
		IMU
Aju1	Aju2	Med1 Med2

Para ver todos los parámetros medidos en ventilación convencional, pulsar 'Med 1'.

Peak 30 mbar	MV 0.53 L/min	IPPV
Mean 9.3 mbar	VT 13 mL	IMU
PEEP 3.1 mbar	Leak 0 %	
FiO2 27 %	spont 0 %	
f 40 /min		
Aju1	Aju2	Med1 Med2

Bajo 'Med 2' se verán los parámetros especiales de la VAF.

MVim 0.14 L/min	IPPV	
DCO2 38 mL ² /s	IMU	
UTim 13 mL	HFV	
UTHF 1.9 mL		
Aju1	Aju2	Med1 Med2

12.1.2 Volumen oscilatorio, frecuencia y PMA con el Babylog 8000

La siguiente tabla e ilustración muestran la dependencia del volumen oscilatorio de la frecuencia y la presión media de la vía aérea. Estos datos fueron medidos utilizando un montaje con el sistema de tubuladuras Dräger Aquamod (complianza: 0.25 ml/mbar) y un pulmón de prueba Dräger (Complianza: 0.66 ml/mbar, resistencia: 0.07 mbar/ml/s).

Frecuencia	PMA 5mbar	PMA 10mbar	PMA 15mbar	PMA 20mbar	PMA 25mbar
Hz	Vt-hf	Vt-hf	Vt-hf	Vt-hf	Vt-hf
5	9.7	12	14	12	10
6	9.7	11	14	12	11
7	9	10	13	12	11
8	8.5	8.2	13	11	11
9	8.2	8	10	11	11
10	6	6.6	8.3	8.7	8.3
11	5.3	5.9	6.6	7.7	8.3
12	4.9	4.6	6.1	6	7
13	4.4	4.3	6.2	4.9	5.6
14	4.4	4.3	5.1	4.9	5.7
15	2.8	3.9	4.9	4.8	4.8
16	2.9	3.9	4.9	4.8	4.7
17	2.8	2.7	3.6	3.6	3.5
18	2.8	2.7	3.6	3.5	3.5
19	2.8	2.7	3.7	3.5	3.5+
20	2.8	2.7	2.4	2.8	3.1

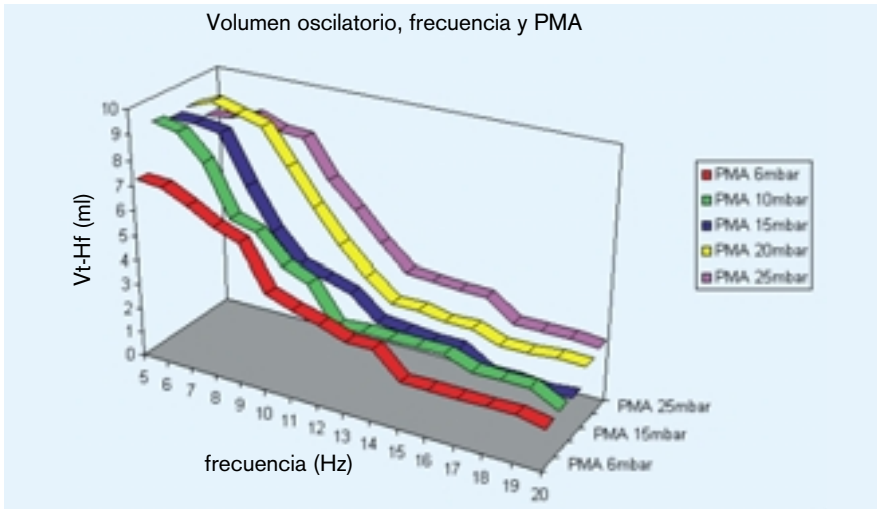


Figura 12.2 Representación gráfica de la tabla.

Con un pulmón de prueba con una compliancia más alta, los volúmenes oscilatorios pueden ser mayores.

El circuito de un paciente con una compliancia mayor, por ejemplo 0.77 ml/mbar, reduce los volúmenes oscilatorios un 50%! (vease Figura 12.2 y 12.3).

Hay 5 tipos distintos disponibles para el Babylog 8000:

	Compliancia ml/mbar
Circuito Paciente P Aquamod	0,50
Circuito Paciente P Aquamod light	0,45
Circuito Paciente AF Aquamod	0,25
Circuito Paciente Fisher-Paykel ¹⁾	0,95-1,1
Circuito Paciente AF Fisher-Paykel ¹⁾	0,75-0,9

¹⁾ con cámara MR340, llenado máximo, la compliancia del sistema varía enormemente con el nivel de agua en la cámara.

12.1.3 Programación de la amplitud y volúmenes oscilatorios

La relación entre la amplitud de oscilación relativa y el volumen resultante no es lineal. La siguiente ilustración muestra que sólo por debajo del 65% baja el volumen oscilatorio. Esto se midió a 25 mbar de PMA (circuito del paciente y humidificador: Fisher-Paykel; compliancia del circuito: 0.77 ml/mbar; complianza del pulmón de prueba: 0.66 ml/mbar).

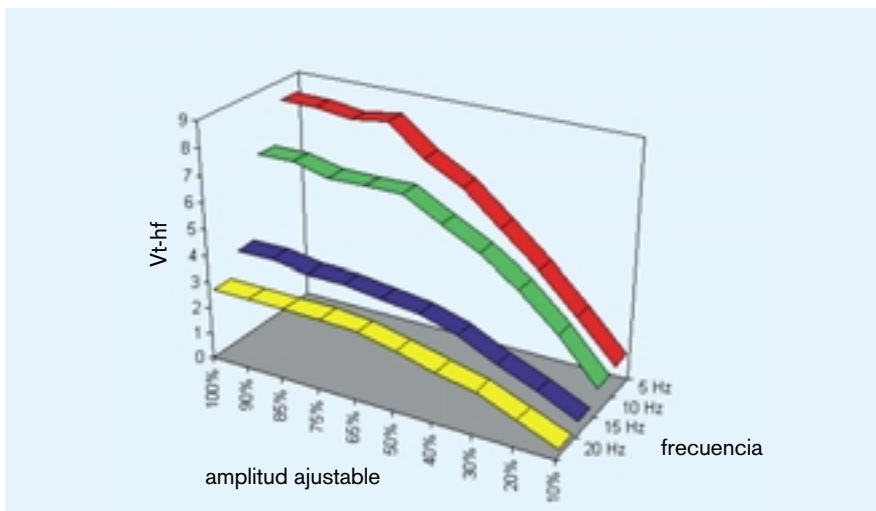


Figura 12.3: Volumen oscilatorio en función de la amplitud y la frecuencia programada.

12.2 Casos clínicos

Caso 1

Pretérmino mujer, 26 semanas de edad gestacional, peso al nacer de 895 g. Cesárea por rotura prematura de membranas y cardiotocograma patológico. Apgar 5/7/9, ph 7.19. La radiografía de tórax muestra distress respiratorio estadio 3-4. Se administraron 3 dosis de surfactante pulmonar, 150 mg/kg en total. Al tercer día de vida presenta enfisema intersticial a pesar de picos de presión relativamente bajos. A las 7.45 presenta necesidades progresivamente mayores de oxígeno, con marcada hipercapnia. Se decide pasarla a VAF.

7.50: Se decide inicialmente combinar IMV y VAF. Se programa una PMA 2 mbar por encima de la previa en ventilación convencional. En unos pocos minutos bajan las necesidades de oxígeno. Sin embargo persiste la hipercapnia. Los volúmenes oscilatorios siguen siendo bajos (menos de 2 ml/kg). Nuestro objetivo es ahora bajar PCO_2 aumentando específicamente la DCO_2 . Por tanto:

8.00: Se baja la frecuencia de AF de 10 a 7 Hz. El creciente volumen oscilatorio resulta en un mejor lavado de CO_2 . Debido al enfisema intersticial, se maneja sin IMV, intentando reducir el barotrauma en lo posible. Con FiO_2 de 0.5 se reduce ligeramente la presión media de la vía aérea.

8.40: Para contrarrestar el rápido descenso de la PCO_2 , se sube la frecuencia a 8 Hz. Inmediatamente caen el VTHF y la DCO_2 mientras la PCO_2 sube de nuevo. Por tanto se baja la frecuencia a 7 Hz de nuevo. Una Rx tórax muestra expansión pulmonar hasta la octava costilla. Se mantiene la PMA constante.

9.00: Con un descenso rápido de la PCO_2 , se reduce la amplitud al 80%.

11.00: Se sigue bajando hasta 60%. Con una compliancia pulmonar mejorada, sin embargo no hay reducción del volumen oscilatorio.

11.15: Se produce una caída brusca de la DCO_2 , y la PCO_2 sube. La presencia de abundantes secreciones que ocluyen parcialmente la luz del tubo ET es la causa.

11.25: Tras aspiración de secreciones, se normaliza la situación.

Modo Hora	IMV 7.45	IMV+AFO 7.50	AFO 8.00	AFO 8.30	AFO 8.40	AFO 9.00	AFO 11.00	AFO 11.15	AFO 11.25
IMV-Frec.	75	3	0	0	0	0	0	0	0
IMV-Pico	24	20	0	0	0	0	0	0	0
PEEP	4	12	14	12	12	12	12	12	12
PMA	10	12	14	12	12	12	12	12	12
FiO ₂	0.70	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40	0.50	0.50
AFO-Frec.		10	7	7	8	7	7	7	7
AFO-Ampl. %		100	100	100	100	80	60	60	70
V _{TAF}		1.20	2.40	2.40	1.50	2.10	2.60	1.50	2.50
DCO ₂		12	32	33	18	33	39	17	38
tc pO ₂	60	70	63	65	65	71	49	61	58
tc pCO ₂	80	78	55	52	65	44	36	60	39
pH	7.21			7.30		7.33			
Pulso	150	145	140	142	143	148			165
RR	55/32		52/28	55/30		58/35			46/29

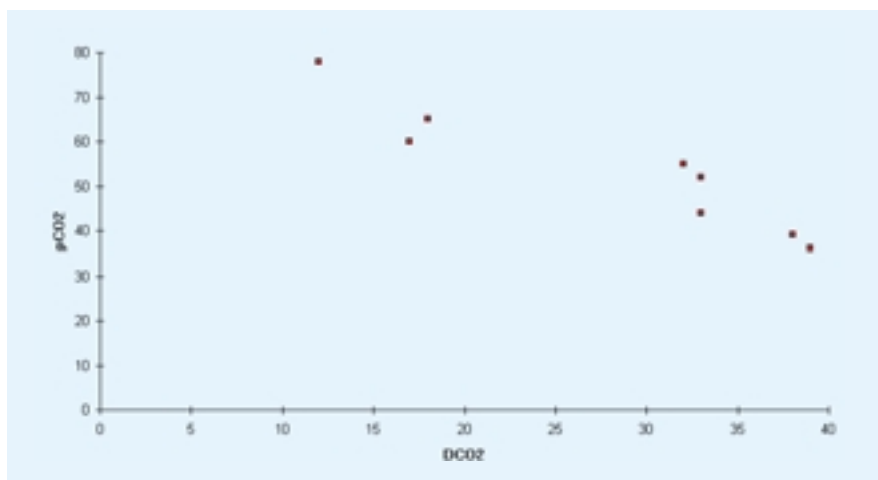


Figura 12.4: Relación entre pCO₂ y DCO₂ del caso 1

Habiendo recibido VAF durante un total de 4 días, esta paciente es destetada. La situación clínica se ha estabilizado; la imagen radiológica del enfisema intersticial ha mejorado. Las horas finales del destete se muestran en la siguiente tabla.

9.30: La paciente está sólo en oscilación, precisando FiO_2 ; la amplitud es de 60%. Debido a las bajas necesidades de oxígeno y a la mejoría del enfisema intersticial, se decide retirar de la VAF:

11.00: Se vuelve a combinar IMV y VAF, con menor amplitud (40%). La reducción fue demasiado rápida, con disminución de la DCO_2 y elevación de la PCO_2 . Con ligeros descensos de la PMA también se observa un pequeño descenso de PO_2 .

11.30: Elevación del pico de presión en IMV, con mayor amplitud y, por tanto mayor VTHF y DCO_2 , mejora la hipercapnia.

15.00: Se normalizan los niveles de CO_2 .

16.00: Se cambia a IMV a una frecuencia de 25 bpm.

Dos días más tarde es extubada definitivamente.

Modo Hora	AFO 9.30	IMV+AFO 11.00	IMV+AFO 11.30	IMV+AFO 15.00	IMV 18.00
IMV-Frec.	0	8	8	12	25
IMV-Pico	0	18	20	20	20
PEEP	10	9	9	8	4
PMA	10	9.3	9.5	8.6	9.2
FiO ₂	0.30	0.35	0.40	0.38	0.30
AFO-Frec.	7	7	7	7	0
AFO-Ampl. %	60	40	50	50	0
V _{TAF}	2	1.70	2.10	2.20	0.00
DCO ₂	27	15	25	27	0
tc pO ₂	52	44	50	60	65
tc pCO ₂	43	64	51	40	30
pH	7.36				7.46
Pulso	146	168	169	165	160
RR	38/19				

Caso 2

Prematuro de 25 semanas de edad gestacional, peso al nacer de 720 g. Se administran dos dosis de surfactante. Tras 6 semanas de ventilación mecánica: DBP. Alta tras 17 semanas de tratamiento hospitalario. En la actualidad 5 meses de vida, 3300 g, recibe nuevamente ventilación mecánica por insuficiencia respiratoria debido a una bronquiolitis por VRS. Se inicia tratamiento con ribavirina.

Rx tórax: zonas de atelectasia junto con imágenes de burbujas grandes e hiperinsuflación. Debido a empeoramiento progresivo, se decide aplicar ventilación oscilatoria, aunque un test de función pulmonar muestra obstrucción periférica importante(ver figura 12.5).

- 0.00: Se decide pasar a la VAF con picos de 30 mbar y FiO_2 de 0.9.
- 0.15: Combinando IMV y VAF, se fija una PMA de 5 mbar más que en ventilación convencional. Aumentan rápidamente las necesidades de oxígeno. A pesar de amplitud de 100%, VTHF insuficientes de 1.2 ml/k produce hipercapnia progresiva. Descenso ligero de la frecuencia cardíaca. Se administra dopamina y dobutamina en perfusión continua.
- 0.30: A pesar de la baja TA, se aumenta la PMA a 19 mbar, intentando mejorar la oxigenación. Reduciendo la frecuencia oscilatoria a 8 Hz, se alcanzan mayores VTHF y DCO_2 con estos niveles de PMA. En pocos minutos se observa una ligera reducción de la hipercapnia. Se continúa en VAF al aumentar la TA.
- 1.00: Al bajar nuevamente la frecuencia a 6 Hz, aumentan el VTHF y la DCO_2 . Como consecuencia se normalizan los valores de PCO_2 .
- 1.30-2.00: Se produce un nuevo deterioro de la oxigenación. Ni siquiera ayuda un tiempo inspiratorio más largo en IMV. Se realiza otra radiografía que muestra una mayor sobredistensión local. Una vez más se realizan pruebas de función pulmonar y se ve que la complianza estática se ha deteriorado, indicando FRC aumentada. Se produce un mayor aumento de la resistencia. Se vuelve a ventilación convencional, debido al deterioro producido en la VAF.

Modo Hora	IMV 0.00	IMV+AFO 0.15	IMV+AFO 0.30	IMV+AFO 1.00	IMV+AFO 1.30	IMV+AFO 2.00
IMV-Frec.	30	3	3	3	3	3
Ti	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	1.2
IMV-Pico	30	30	30	28	27	27
PEEP	4	14	19	19	19	19
PMA	9	14	19	19	19	20
FiO ₂	0.90	1.00	0.95	0.93	0.93	1
AFO-Frec.		10	8	6	6	6
AFO-Ampl.%		100	100	100	100	100
V _{TAF}		4.00	5.30	6.80	6.30	6
DCO ₂		162	202	264	220	218
tc pO ₂	40	38	60	57	46	48
tc pCO ₂	51	67	60	54	49	49
pH	7.32				7.35	
Pulso	158	142	144	146	160	
RR	101/64	74/43	87/43		89/51	

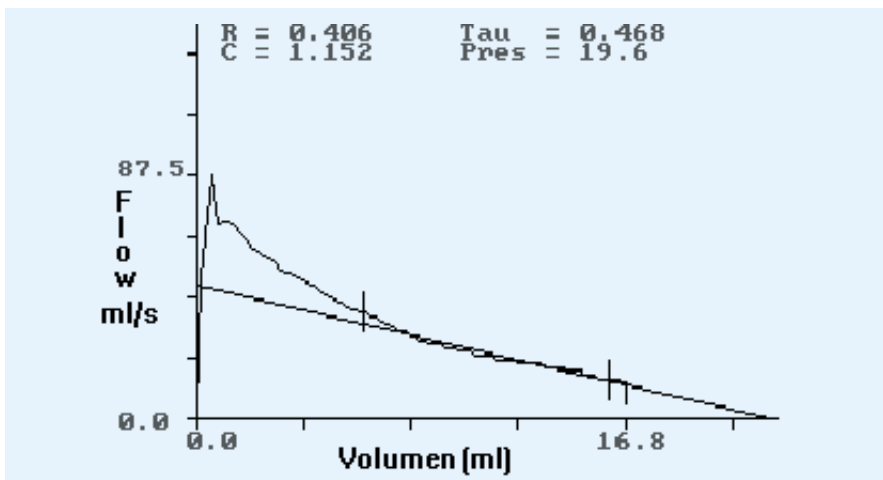


Figura 12.5: Ejemplo de la curva flujo-volumen del caso 2

La curva de flujo-volumen del caso 2 muestra una deformación cóncava. Este paciente no debería recibir la VAF porque es probable que su situación empeore debido a atrapamiento aéreo.

12.3 DCO₂ en 11 pacientes

Se ha estudiado la relación entre DCO₂ y PCO₂ ó VTHF, respectivamente en 11 neonatos ó niños que han recibido VAF. Considerando intervalos cortos de tiempo (1 a 6 horas), en 5 de los 11 pacientes se encontró correlación de regresión (PCO₂, como función de DCO₂/kg y vthf/kg) era relativamente buena ($r=0.79$ y $r=0.72$, respectivamente; ver el ejemplo en figura 12.4). En éstos y en 3 más de los 11 pacientes un aumento de la DCO₂ ó el VTHF conducía a una bajada marcada de la PCO₂. Teniendo en cuenta las mediciones de PCO₂ y DCO₂ (y VTHF) en los 11 pacientes, sin embargo, encontramos unos coeficientes de correlación de tan solo $r=0.255$ y $r=0.288$, respectivamente. Con respecto al control de ventilación, los dos parámetros DCO₂/kg y VTHF/kg parecen equivalentes en este grupo de pacientes. La siguiente tabla muestra niveles de DCO₂ por encima de los cuales la PCO₂ era menos de 55 mmHg. Por tanto, VTHF por encima de 2.5 ml/kg, el 81% de los datos de PCO₂ eran menores de 50 mmHg.

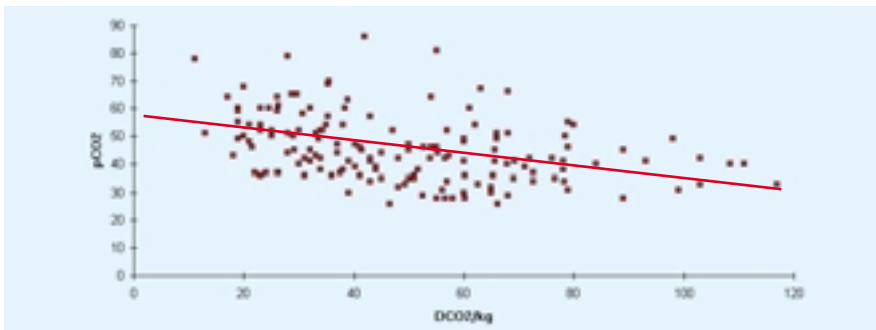


Figura 12.6: Puntos medidos y línea de correlación entre PCO₂ y DCO₂ específicos

DCO ₂ /kg	valores de pCO ₂ menores que 50 mmHg
≤ 40	49%
40 to 60	85%
60 to 80	79%
> 80	100%

12.4 Resultados de la VAF en un grupo de neonatos

Desde Septiembre de 1993 hasta Mayo de 1995, 61 pacientes recibieron ventilación de alta frecuencia con el Babylog 8000 en la unidad de cuidados intensivos del Hospital General Heidberg (Hamburgo, Alemania) y en la unidad de cuidados intensivos neonatal del Hospital Purpan, respectivamente (Toulouse, Francia) [96,97].

En ambas clínicas, la indicación de la VAF fue el fracaso de la ventilación convencional (PIP > 24 mbar para PO₂ > 55 mmHg y PCO₂ < 65 mmHg). Además, la existencia de barotrauma (neumotórax, neumopericardio, enfisema intersticial) se consideraba entre las indicaciones de la VAF.

Diagnóstico principal	hasta 2 kg sobre 2 kg	
	SDR	28
Pneumonia	3	
Barotrauma (pneumothorax, PIE)	5	3
BPD, MAS, SDRA, aspiración de sangre	1	9
CDH, Hipoplasia pulmonar, deformaciones	3	5
RSV-bronquiolitis		2
NEC	1	

Tabla 12.4.1

Diagnóstico pulmonar	hasta 2 kg sobre 2 kg	
	Enfermedades pulm. homogéneas difusas	28
Enfermedades pulm. no homogéneas	6	10
Fugas de aire	7	5
HPPRN (como diagnóstico principal)		3
HPPRN adicional (como diagnóstico sec.)	9	9

Tabla 12.4.2

Los diagnósticos principales, así como los hallazgos con respecto a los pulmones, se resumen en la tabla 12.4.1 y 12.4.2, respectivamente, separados en dos categorías según el peso. Todos los pacientes con SDR habían recibido surfactante pulmonar previo a la VAF. En Hamburgo la VAF se combinó con IMV en la mayoría de los casos, mientras que en Toulouse se utilizó siempre la VAF aislada.

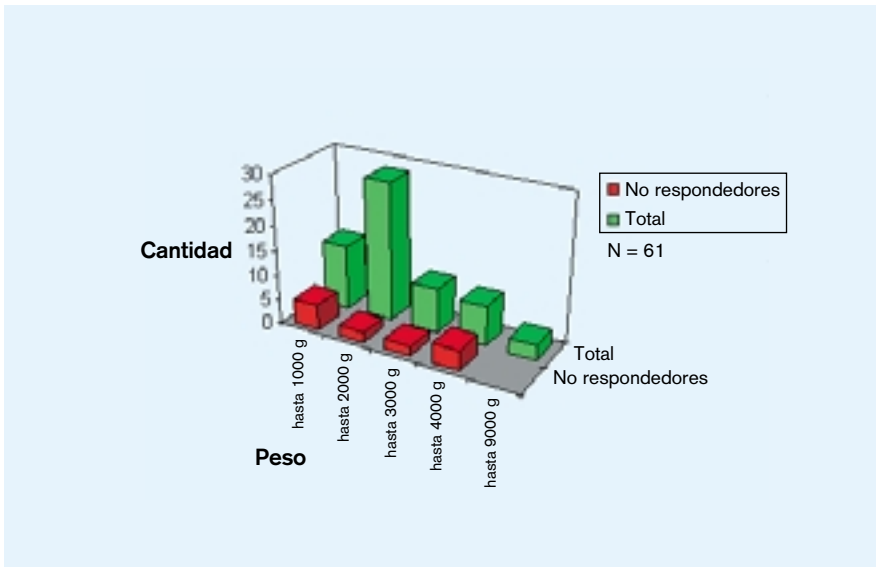


Figura 12.7: Distribución del peso de 61 pacientes al inicio de la oscilación. Las barras rojas representan el número de no respondedores.

El tratamiento con la VAF mejoró rápidamente la situación ventilatoria crítica de 48 de los 61 pacientes, pero falló en 13 pacientes (figura 12.7).

Después de instaurar la VAF, los respondedores de todas las categorías de peso mostraron una rápida mejoría en la gasometría, mecánica pulmonar, y parámetros de ventilación (figuras 12.8 a 12.11). La eliminación de la inicial hipercapnia era muy distinta en los pacientes pequeños (figura 12.9). Estos cambios requieren una rápida adaptación de los parámetros ventilatorios. Especialmente el aumento de la complianza (figura 12.11) puede provocar hiperinsuflación.

El fracaso de la VAF se consideró cuando ni la PCO_2 ni el índice de oxigenación mejoraban al menos el 20% en 24 horas. En 2 de 13 no respondedores estaba presente una contraindicación (obstrucción).

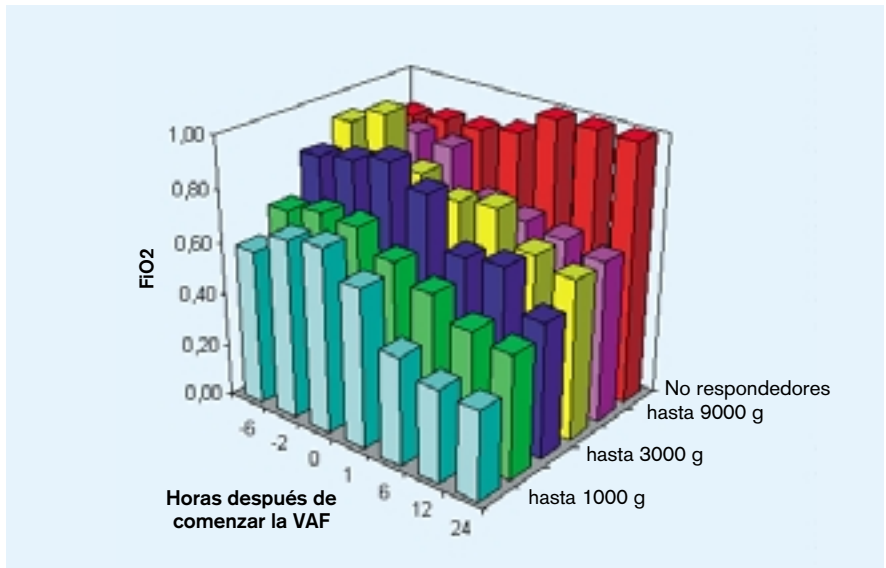


Figura 12.8: Desarrollo de las necesidades de oxígeno antes y durante la VAF en las distintas categorías de peso en respondedores y no respondedores.

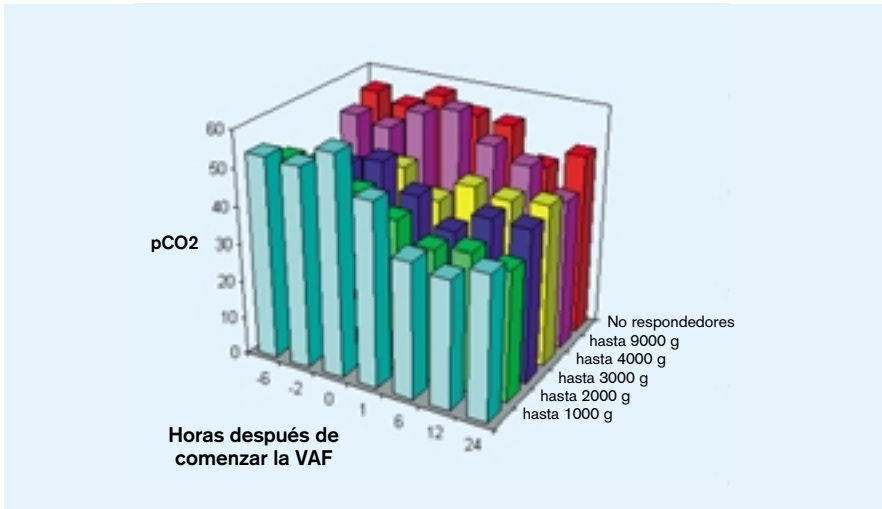


Figura 12.9: Desarrollo de la eliminación de CO₂ antes y durante la VAF en las distintas categorías de peso en respondedores y no respondedores.

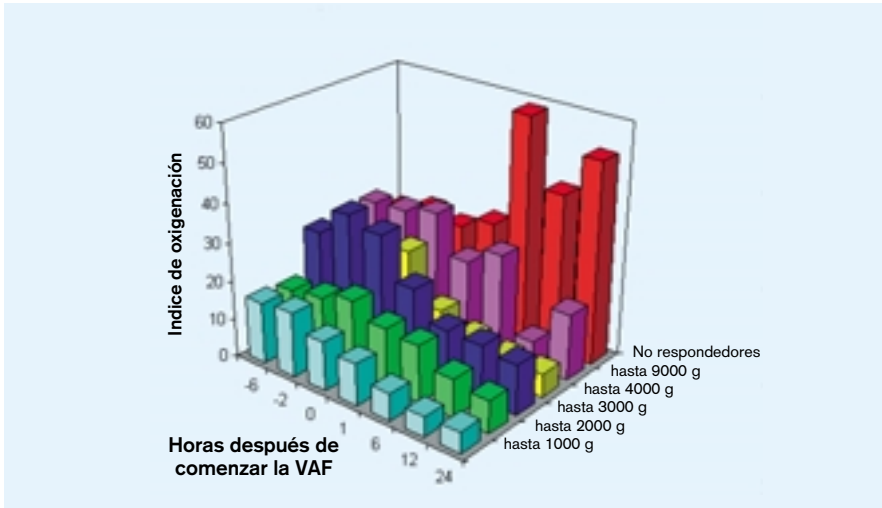


Figura 12.10: Índice de oxigenación ($OI = PMA \times FiO_2 \times 100 / PO_2$) antes y durante la VAF en las distintas categorías de peso en respondedores y no respondedores.

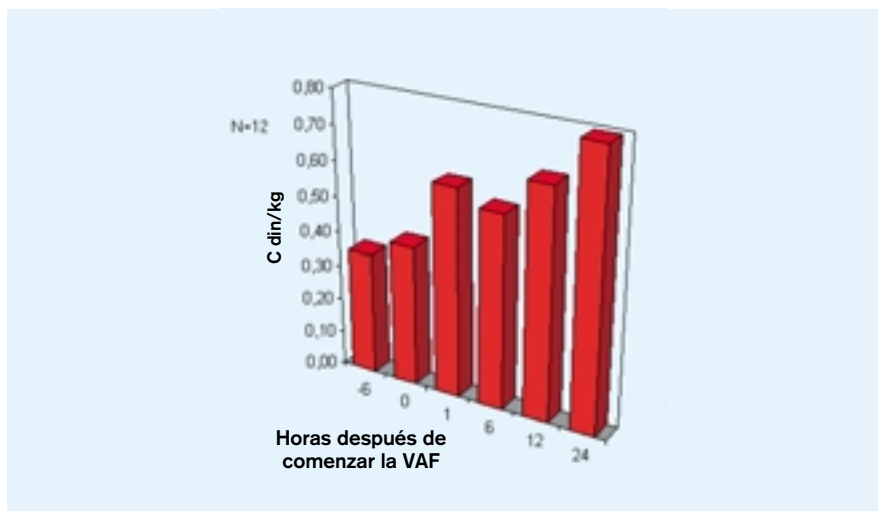


Figura 12.11: Compliancia dinámica/kg en 12 pacientes ventilados en AF de Hamburgo.

Los no respondedores (peso medio 2042 g) requirieron significativamente más oxígeno y PMA al principio y en el curso posterior de la VAF que los respondedores (peso medio 1982 g) y no mostraron mejora en el índice de oxigenación. Además, la eliminación de CO_2 fue significativamente peor en el grupo de los no respondedores después de 2 a 6 horas (ver figura 12.8.10).

La edad media al inicio de la VAF fue de 8.5 días excepto un niño que tenía 1.2 años, pesaba 9 kg y mostraba SDRA después de la aspiración. La duración de la oscilación fue de entre 6 horas y 15 días, con una media de 83 horas.

La frecuencia oscilatoria media fue de 8.9 Hz al inicio de la VAF, y descendió a 8.2 Hz en la evolución posterior. La presión media de la vía aérea fue de 15 mbar de media en un principio, y disminuyó a 12.6 mbar en las primeras 24 horas.

El coeficiente de transporte de gas específico, DCO_2/kg , varió entre valores medios de 47 y 63 ml^2/s en los pacientes de Hamburgo. En Toulouse se encontraron valores considerablemente más altos (139 a 154 ml^2/s). En algunos de estos niños, se podrían explicar estos valores por una fuga en el tubo ET. No se encontró diferencia significativa en la eliminación de CO_2 entre los pacientes de Hamburgo y los de Toulouse.

El índice de éxito de la VAF varió con el diagnóstico subyacente y se muestra en la siguiente tabla. Para compararlo mejor, los datos se dan en porcentajes:

Resultados de la VAF

Enfermedad pulmonar	Éxito	Mortalidad
Homogénea	83%	44%
Heterogénea	79%	28%
Fuga de aire	80%	20%
HPPRN	69%	47%
		N = 61

Hubo fuga de aire en 4 pacientes, probablemente como complicación de la VAF. Uno de estos niños, sin embargo tenía un enfisema intersticial previo a la VAF. En 2 pacientes que mostraban obstrucción inminente, se encontró hiperinsuflación progresiva. Por ello se suspendió la VAF antes de que se produjera barotrauma. Durante el tratamiento se produjeron hemorragias intracraneales severas en 4 pacientes: 2 grandes inmaduros (820 g y 750 g) con distress respiratorio severo e hipercapnia, 2 pacientes (1200 g y 1650 g) con importante HPPRN y sepsis. 10 de 28 pacientes con SDR y un niño con hipoplasia pulmonar en relación con hernia diafragmática desarrollaron posteriormente displasia broncopulmonar. En la mayoría de los pacientes se observó una ligera caída en la frecuencia cardíaca. No se produjo traqueobronquitis necrotizante. Fallecieron un total de 19 pacientes (ver tabla 12.4.3).

Causas de muerte:

Hamburgo: 2 gemelos, 650 g, asfixia severa, hipotermia
 1 secuencia Potter
 1 hipoplasia pulmonar con múltiples malformaciones
 1 NEC/sepsis

Toulouse: 4 Hemorragia intracraneal grado 4
 4 leucomalacia periventricular
 1 parada cardíaca con fuga de aire y reanimación
 1 hipoplasia pulmonar
 2 sepsis (inf. Nosocomial), meningitis
 2 sepsis (inf. Nosocomial), meningitis
 1 asfixia con SAM

12.5 Protocolo de ventilación

Nombre: Fecha de nacimiento: Peso: Diagnósticos

Fecha:

	Time								
Ajustes 1	Ti								
	Te								
	f-ajustada (IMV)								
	FiO ₂								
Ajust. 2	AFO frecuencia								
	AFO amplitud								
Medición 1	IMV pico								
	PMA								
	PEEP								
Medición 2	VM im								
	DCO ₂								
	Vt-im								
	V _{THF}								
Datos del paciente	pO ₂								
	pCO ₂								
	SaO ₂								
	BGA								
	pulso								
	presión sanguínea								
	orina								

12.6 Abreviaturas

AFO:	Alta frecuencia oscilatoria
C:	Compliancia
CFR:	Capacidad funcional residual
CPAP:	Presión positiva continua de la vía aérea
DBP:	Displasia broncopulmonar
DCO ₂ :	Coeficiente de transporte de gas= $V_{THF}^2 \times f$
EPC:	Enfermedad pulmonar crónica
F:	frecuencia ventilatoria
FiO ₂ :	Fracción de concentración de oxígeno inspirado
HDC:	Hernia diafragmática congénita
HIC:	Hemorragia intracraneal
HPPRN:	Hipertensión pulmonar persistente del recién nacido
I:E:	índice de inspiración-espriación
IMV:	Ventilación mandatoria intermitente
IPPV:	Ventilación con presión positiva intermitente
LPV:	Leucomalacia periventricular
PEEP:	Presión positiva al final de la espiración
PIE:	Enfisema pulmonar intersticial
PIP:	Pico de presión inspiratoria
PMA:	Presión media de la vía aérea
R:	Resistencia
SDR:	Síndrome de distress respiratorio
SIMV:	Ventilación mandatoria intermitente sincronizada
SIPPV:	Ventilación con presión positiva intermitente sincronizada
Te:	Tiempo espiratorio
Ti:	Tiempo inspiratorio
VAF:	Ventilación de alta frecuencia
VAFJ:	Ventilación de alta frecuencia jet
VAFO:	Ventilación de alta frecuencia oscilatoria
VIVE:	Flujo inspiratorio variable, flujo espiratorio variable
VM:	Volumen minuto
VMim:	Volumen minuto inspiratorio en los ciclos ventilatorios en IMV

VRS:	Virus respiratorio sincitial
VTHF:	Volumen tidal, media de varios ciclos inspiratorios oscilatorios
VTim:	Volumen tidal de respiraciones en IMV, medidos en inspiración

13 Bibliografia

1. Abbasi S Bhutani VK Spitzer AR Fox WW Pulmonary mechanics in preterm neonates with respiratory failure treated with high-frequency oscillatory ventilation compared with conventional mechanical ventilation. In: *Pediatrics* (1991 Apr) 87(4):487-93
2. Ackerman NB, DeLemos RA: High-Frequency-Ventilation in Year Book Medical Publishers .pp259 (1984)
3. Ackerman NB, Coalson JJ et al: Pulmonary interstitial Emphysema in the premature baboon with hyaline membrane dis. *Crit Care Med* (1984) 12: 512-6
4. Arnold JH, Hansson JH et.al.: Prospective, randomized comparisonb of HFOV and CMV in pediatric respiratory failure (1994) *Crit.Care Med* 22: 1530
5. Bancalari E, Goldberg RN: High-Frequency Ventilation in the Neonate. *Clin.Perinatol.* (1987) 14/3:581
6. Blanc T Devaux AM Eurin D Ensel P [Systemic gas embolism in the greater circulation in a ventilated premature infantIn: *Arch Fr Pediatr* (1992 Oct) 49(8):725-7 (Published in French)
7. Blanco CE, Maetzdorf WJ, Walther FJ: Use of combined HFO and IMV in rabbits. *J Intensive Care Med* (1987) 2: 214-17
8. Blum-Hoffmann E Kopotic RJ Mannino FL High-frequency oscillatory ventilation combined with intermittent mandatory ventilation in critically ill neonates: 3 years of experience] *Eur J Pediatr* (1988 May)
9. Bohn DJ, Myasaka K, Marchak BE, Thompson WK, Froese AB, Bryan AC: Ventilation by HFO. *J Appl Physiology* (1980) 48:/10 716
10. Bond DM McAloon J Froese AB Sustained inflations improve respiratory compliance during high-frequency oscillatory ventilation but not during large tidal volume positive-pressure ventilation in rabbits.In: *Crit Care Med* (1994 Aug) 22(8):1269-77
11. Bond DM Froese AB Volume recruitment manoeuvres are less deleterious than persistent low lung volumes in the atelectasis-prone rabbit lung during high- frequency oscillation.In: *Crit Care Med* (1993 Mar) 21(3):402-12
12. Boynton BR, Frank LM, et al (1984) Combined high-frequency oscillatory ventilation and intermittent mandatory ventilation in critically ill neonates. *Jour.Pediatr.*105: 297
13. Bryan AC, Slutsky AS. Lung volume during high frequency ventilation . *Am Rev Resp Dis* (1986) 133:928-30
14. Bryan AC Froese AB Reflections on the HIFI trial.In: *Pediatrics* (1991 Apr) 87(4):565-7
15. Butler WJ, Bohn DJ, Bryan CA: Ventilation by High Frequency Oscillation in Humans. *Anaest.Analg* 59:577 (1980)
16. Carter JM Gerstmann DR Clark RH Snyder G Cornish JD Null DM Jr deLemos RA High-frequency oscillatory ventilation and extracorporeal membrane oxygenation for the treatment of acute neonatal respiratory failure.In: *Pediatrics* (1990 Feb) 85(2):159-64
17. Chang HK: Mechanics of Gas transport during high frequency ventilation. *J Appl Physiol* (1984) 56 (3) : 553-563
18. Chan V Greenough A Determinants of oxygenation during high frequency oscillation. In: *Eur J Pediatr* (1993 Apr) 152(4):350-3
19. Chan V Greenough A Giffin F Disease severity and optimum mean airway pressure level on transfer to high frequency oscillation. In: *Pediatr Pulmonol* (1994 Mar) 17(3):178-82
20. Chan V Greenough A Milner AD The effect of frequency and mean airway pressure on volume delivery during high-frequency oscillation. In: *Pediatr Pulmonol* (1993 Mar) 15(3):183-6
21. Chan V Greenough A Gamsu HR High frequency oscillation for preterm infants with severe respiratory failure.In: *Arch Dis Child* (1994 Jan) 70(1 Spec No):F44-6
22. Clark RH Gerstmann DR Null DM Jr deLemos RA Prospective randomized comparison of high-frequency oscillatory and conventional ventilation in respiratory distress syndrome. In: *Pediatrics* (1992 Jan) 89(1):5-12
23. Clark RH, Null DM: HFOV: Clinical management and Strategies. *Cardio Pulmonary Review* (1991) Sensor Medics Corp.
24. Clark RH Gerstmann DR Null DM Yoder BA Cornish JD Glasier CM Ackerman NB Bell RE Delemos RA Pulmonary interstitial emphysema treated by high-frequency oscillatory ventilation.In: *Crit Care Med* (1986 Nov) 14(11):926-30
25. Clark RH High-frequency ventilation. In: *J Pediatr* (1994 May) 124(5 Pt 1):661-70
26. Clark RH Yoder BA Sell MS Prospective, randomized comparison of high-frequency oscillation and conventional ventilation in candidates for extracorporeal membraneoxygenation In: *J Pediatr* (1994 Mar) 124(3):447-54

27. Cornish JD Gerstmann DR Clark RH Carter JM Null DM Jr deLemos Extracorporeal membrane oxygenation and high-frequency oscillatory ventilation: potential therapeutic relationships. In: *Crit Care Med* (1987 Sep) 15(9):831-4
28. Cortambert F Putet G Salle B Deiber M High frequency ventilation by oscillation in the treatment of the hyaline membrane disease in severe form. In: *Arch Fr Pediatr* (1988 Apr) 45(4):243-7 (Published in French)
29. deLemos RA, Gerstmann DR et al: HFV- The relationship between Ventilator Design and clinical strategy of hyaline membrane disease and its complications. (1987) *Ped.Pulm.* 3:370
30. 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. In: *Pediatr Pulmonol* (1992 Jan) 12(1):29-36
31. Dorkin HL, Stark AR et al: Respiratory Impedance from 4 - 40 Hz in paralysed intubated infants with RDS. *J Clin Invest* (1983) 72: 903-910
32. England SJ Onayemi A Bryan AC Neuromuscular blockade enhances phrenic nerve activity during high- frequency ventilation. In: *J Appl Physiol* (1984 Jan) 56(1):31-4
33. Frantz ID (1985) High frequency ventilation. in: Milner AD (Hrsg) *Neonatal and pediatric respiratory medicine*. S.37ff, Butterworths, London
34. Fredberg JJ: Augmented diffusion in the airways can support pulmonary gas exchange. *J. Appl Physiol.* 48:710 (1980)
35. Fredberg JJ, Glass GM, Boynton BR: Factors influencing mechanical performance of neonatal high frequency ventilators. *J Appl Physiology* (1987) 62:2485
36. Fredberg JJ, Allen J, Tsuda A: Mechanics of the respiratory tract during high frequency ventilation. *Acta Anaesthesiol Scand Suppl.* (1989) 90:39
37. Froese AB Butler PO Fletcher WA Byford LJ High-frequency oscillatory ventilation in premature infants with respiratory failure: a preliminary report. In: *Anesth Analg* (1987 Sep) 66(9):814-24
38. Fujino Y Takezawa J Nishimura M Imanaka H Taenaka N Yoshiya I High-frequency oscillation for persistent fetal circulation after repair of congenital diaphragmatic hernia. *Crit Care Med* (1989 Apr) 17(4):376-7
39. Gaylord MS Quissell BJ Lair ME High-frequency ventilation in the treatment of infants weighing less than 1,500 grams with pulmonary interstitial emphysema: a pilot study. In: *Pediatrics* (1987 Jun) 79(6):915-21
40. Gerhart T, et al. Pulmonary function in preterm infants whose lungs were ventilated conventionally or by HFO. *J Ped.* 115:121 (1989)
41. Gerstmann DR deLemos RA Clark RH High-frequency ventilation: issues of strategy. In: *Clin Perinatol* (1991 Sep) 18(3):563-80
42. Gerstmann DR, Mintom SD, Stoddard RA, Meredith KS, Bertrand JM: Results of the PROVO multicenter Surfactant HFOV controlled Trial. (Abstract) 1995
43. Hall DC, Schmidt J, Kinsella JP: HFJ/HFOV in the Term and Near-Term with severe respiratory failure. Conference Abstracts. *Ped. Pulm.* (1993) 15:365
44. Hamilton PP, Onayemi A, Smyth JA: Comparison of CMV and HFV: oxygenation and lung pathology. *J Appl Physiol* (1983) 55: 131
45. HIFI Study Group: High-frequency oscillatory ventilation compared with conventional intermittent mechanical ventilation in the treatment of respiratory failure in preterm infants: neurodevelopmental status at 16 to 24 months of postterm age. In: *J Pediatr* (1990 Dec) 117(6):939-46
46. HiFO Study Group. Durant DJ et al: Randomized study of high-frequency oscillatory ventilation in infants with severe respiratory distress syndrome. In: *J Pediatr* (1993 Apr) 122(4):609-19
47. Hentschel R, Suska A, Hülkamp G, Jorch G, Lunkenheimer P: Die Bedeutung der Beatmungsparameter bei HFOV (1994) 20. Symposium Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin, Graz. Alete Wissenschaftlicher Dienst.
48. Herterich R Fackeldey E Hofweber K Steck W Neumaier F Arends H Hochfrequenzoszillation (HFO) bei Mekoniumaspiration und bei Bronchopulmonaler Dysplasie. In: *Klin Pädiatr* (1994 Mar-Apr) 206(2):80-5 (Published in German)
49. Hörnchen H, Merz U, Wicher W, Mühler E: Die persistierende pulmonale Hypertension des Neugeborenen. (1990) *Z.Kinderchir.* 45: 336
50. Hoskyns EW, Milner AD, Hopkin IE (1991) Combined conventional ventilation with high frequency oscillation in neonates. *Eur J Pediatr* 150:357-361 Hoskyns EW Milner AD Hopkin IE Dynamic lung inflation during high frequency oscillation in neonates. In: *Eur J Pediatr* (1992 Nov) 151(11):846-50

51. Hülskamp G, Hentschel R, Rabe H, Jorch G, Harms E: HFOV bei 5 Nbg mit konnataler Lungenhypoplasie/ Fehlbildung.(1994) 20. Symposium Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin, Graz. Alete Wissenschaftlicher Dienst
52. Huth RG: Rescue Therapie mit HFOV- zwei Fallberichte. (1995) Symposium der Universitätskinderklinik Münster.
53. Jaeger MJ, Manner M, Gallager J: Alveolar ventilation in high frequency studies. Federation Proc (1983) 12:1351
54. Jackson JC, Truog WE, Standaert TA, Murphy JH, Juul SE, Chi EY, Hildebrandt J, Hodson WA: Reduction in lung injury after combined surfactant and high-frequency ventilation. In: Am J Respir Crit Care Med (1994 Aug) 150(2):534-9
55. Jackson JC, Truog WE, Stadaert TA: HFV reduces alveolar edema in premature monkeys. FASEB J 4:A945 (1990)
56. Kachel W, Arnold D, Rettwitz W, Schlicker H, Lasch P (1987) HFOV bei Neugeborenen mit kritischen Pulmonalerkrankungen. in Schröder H (Hrsg) Pädiatr.Intensivmedizin VIII S.17-20, Thieme Verlag Stuttgart-New York.
57. Kamitsuka MD, Boynton BR. Et al: Frequency, Tidal volume, and Mean Airway Pressure Combinations that provide adequate gas exchange in HFOV. Ped Res. (1990) 27:1 64-69
58. Karl SR, Null DM, Harris TR: GFV of Infants; Then and Now. Ped Pulm: (1987) 3:268
59. Kawano T: High frequency oscillation. In: Acta Paediatr Jpn (1992 Dec) 34(6):631-5
60. Keefe D, Glass G et al: Alveolar pressure during high frequency ventilation in excised dog lungs. Federation proceedings 42: 763
61. Keszler M, Donn SM, Bucciarelli RL, Alverson DC, Hart M, Lunyong V, Modanlou HD, Noguchi A, Pearlman SA, Puri A et al: Multicenter controlled trial comparing high-frequency jet ventilation and conventional mechanical ventilation in newborn infants with pulmonary interstitial emphysema. In: J Pediatr (1991 Jul) 119(1 (Pt 1)):85-93
62. King M, Philips DM, Gross D (1983) Enhanced tracheal mucus clearance with high frequency chest wall compression. Amer Rev Resp Dis 128: 511-525
63. Kinsella JP, Gerstmann DR, Clark RH, Null DM Jr, Morrow WR, Taylor AF, deLemos RA: High-frequency oscillatory ventilation versus intermittent mandatory ventilation: early hemodynamic effects in the premature baboon with hyaline membrane disease. In: Pediatr Res (1991 Feb) 29(2):160-6
64. Kohelet D, Perlman M, Kirpalani H, Hanna G, Koren G: High-frequency oscillation in the rescue of infants with persistent pulmonary hypertension. Crit Care Med (1988)
65. Kolton M, Cattran CB, Kent G, Froese A, Bryan AC: Oxygenation during High Frequency Ventilation. Anesth. Analg. (1982) 61: 323-332
66. Lunkenheimer-PP; Redmann-K; Stroh-N; Gleich-C; Krebs-S; Scheld-HH; Dietl-KH; Fischer-S; Whimster-WF: High-frequency oscillation in an adult porcine model. Crit-Care-Med. 1994 Sep; 22(9 Suppl): S37-48
67. Lunkenheimer-PP; Salle-BL; Whimster-WF; Baum-M :High-frequency ventilation: reappraisal and progress in Europe and abroad [editorial] Crit-Care-Med. 1994 Sep; 22(9 Suppl): S19-23
68. Mammal MC, Boros SJ: High Frequency Ventilation. in Goldsmith et al: Assisted Ventilation of the Neonate. Saunders Co. (1988)
69. Marchak BE, Thompson WK, Duffy P, Miyaki T, Bryan MH, Bryan AC, Froese AB: Treatment of RDS by high-frequency oscillatory ventilation: a preliminary report. In: J Pediatr (1981 Aug) 99(2):287-92
70. McCulloch P, Forkert A, Froese B: Lung volume maintenance Prevents Lung Injury during HFO in surfactant deficient rabbits. Am Rev. Respir. Dis (1987) 137: 1185-92
71. McEvoy RD, Davies NJ, Hedenstierna G, Hatman MT (1982) Lung mucociliary transport during high frequency ventilation. Amer Rev Resp Dis 126:452-456
72. Meredith KS, Gerstmann DR, Null DM et al: The prevention of HMD by the immediate use of HFOV. (Abstract) , (1987) Ped.Pulm 3:374
73. Meredith KS, DeLemos RA et al: Role of lung injury in the pathogenesis of HMD in premature baboons. J Appl Physiol (1986) 66: 2150-8
74. Meredith KS, Null D. et al: HFOV: Candidates, Patients, Population. Cardio Pulmonary Review (1991) Sensor Medics Corp.
75. 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. In: Crit Care Med (1994 Sep) 22(9 Suppl):S77-82

76. Nekvasil R Benda K Penkova Z [Massive systemic and intracranial air embolisms in a premature child with severe RDS syndrome treated with high-frequency oscillation ventilation] In: *Cesk Pediatr* (1992 Jan) 47(1):2-3 (Published in Czech)
77. Niederer-PF; Leuthold-R; Bush-EH; Spahn-DR; Schmid-ER :High-frequency ventilation: oscillatory dynamics.Institute of Biomedical Engineering and Medical Informatics, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich. *Crit-Care-Med.* 1994 Sep; 22(9 Suppl): S58-65
78. Ogawa Y Miyasaka K Kawano T Imura S Inukai K Okuyama K Oguchi K Togari H Nishida H Mishina J A multicenter randomized trial of high frequency oscillatory ventilation as compared with conventional mechanical ventilation in preterm infants with respiratory failure. In: *Early Hum Dev* (1993 Feb) 32(1):1-10
79. Peters EA Engle WA Yoder MC Pulmonary hypoplasia and persistent pulmonary hypertension: favorable clinical response to high-frequency jet ventilation.In: *J Perinatol* (1992 Mar) 12(1):21-
80. Popow C: HFOV bei Früh- und Neugeborenen- Erfahrungsbericht über 2 Jahre. Symposium der Universitätskinderklinik Münster.
81. Raju-TN; Braverman-B; Nadkarny-U; Kim-WD; Vidyasagar-D Intracranial pressure and cardiac output remain stable during high frequency oscillation.: *Crit-Care-Med.* 1983 Nov; 11(11): 856-8
82. Rettwitz-Volk W Schlosser R von Loewenich V One-sided high-frequency oscillating ventilation in the treatment of neonatal unilateral pulmonary emphysema.In: *Acta Paediatr* (1993 Feb) 82(2):190-2
83. Rettwitz-Volk et al: HFOV-Multicenterstudie Frankfurt/Köln/Mannheim- Zwischenergebnisse. (1994) 20. Symposium Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin, Graz. Alete Wissenschaftlicher Dienst
84. Revillon Y Sidi D Chourrou Y Martelli H Ghnassia D Piquet J Isabey D Harf A Jaubert F High-frequency ventilation in newborn lambs after intra-uterine creation of diaphragmatic hernia.In: *Eur J Pediatr Surg* (1993 Jun) 3(3):132-8
85. Roberts JD Jr Shaul PW Advances in the treatment of persistent pulmonary hypertension of the newborn. In: *Pediatr Clin North Am* (1993 Oct) 40(5):983-1004
86. Salle BL Claris O Putet G [High frequency ventilation by oscillation]In: *Pediatrie* (1993) 48(12):861-3 (Published in French)
87. Scherer PW, Haselton FR: Convective exchange in oscillatory flow through bronchial tree models. *J. Appl. Physiol.* 53:1023 (1982)
88. Schmitt M Pierre E Prevot J Lotte E Droulle P [Congenital diaphragmatic hernia. Antenatal diagnosis. thoracic drainage. High frequency ventilation] Les hernies diaphragmatiques congenitales. Diagnostic antenatal. Drainage thoracique. Ventilation a haute frequency *Chir Pediatr* (1985) 26(1):8-12
89. Siles Quesada C Puyol Buil P Omenaca Teres F Molero Diaz F Diaz Cirujano A Gonzalez Montero R de Castro Fernandez J Belaustegui Cueto A [High frequency ventilation in the newborn. Study of 27 cases] In: *An Esp Pediatr* (1992 Nov) 37(5):361-5 (Published in Spanish)
90. Slutsky AS, Drazen JM, Kamm RD: Effective pulmonary ventilation with small volume oscillation at high frequency. *Science* 209:609. (1980)
91. Slutsky AS Kamm RD Rossing TH Loring SH Lehr J Shapiro AH Ingram RH Jr Drazen JM Effects of frequency, tidal volume, and lung volume on CO₂ elimination in dogs by high frequency (2-30 Hz), low tidal volume ventilation.In: *J Clin Invest* (1981 Dec) 68(6):1475-84
92. Spitzer AR, Davis J, Clarke WT, Bernbaum WJ, Fox WW: Pulmonary hypertension and persistent fetal circulation in the newborn. *Clin Perinatol* 15 (1988) 389
93. Stachow R: Hochfrequenzoszillationsbeatmung zur Behandlung therapierefraktärer Atelektasen. 17. Symposium der DÖGNPI 1991, Hamburg. Alete Wiss. Dienst
94. Stachow R, Laux R: Routine Assessment of pulmonary function testing on a NICU (1994) *Pädiatr.Grenzgeb* 33:283.
95. Stachow R, Laux R: Volumenorientierte Hochfrequenzbeatmung. (1995 /1) 21.Symposium Neonatologie und pädiatrische Intensivmedizin, Mannheim.
96. StachowR, Fries F, Blohm MC, Laux R: Hochfrequenzoszillationsbeatmung bei Neugeborenen und Säuglingen mit dem Babylog 8000. . (1995 /2) 21.Symposium Neonatologie und pädiatrische Intensivmedizin, Mannheim.
97. Stachow R, Fries F, Blohm MC, Laux R : Differente Strategien der Hochfrequenzventilation bei verschiedenen Formen des neonatalen Lungenversagens.(1995/3) DIVI 95 (3. Deutscher interdisziplinärer Kongress für Intensivmedizin, Hamburg)

98. Tamura M Tsuchida Y Kawano T Honna T Ishibashi R Iwanaka T Morita Y Hashimoto H Tada H Miyasaka K Piston-pump-type high frequency oscillatory ventilation for neonates with congenital diaphragmatic hernia: a new protocol *J Pediatr Surg* (1988 May) 23(5):478-82
99. Tamura M, Morta Y, Kawano T, Myasaka K: Clinical Experience with Humminbird BMO-20N: HFO is effective for respiratory failure due to restrictive respiratory disease without airway lesion. (Abstract) (1987) *Ped.Pulm* 3:377
100. Taylor G: The dispersion of matter in turbulent flow through a pipe. *Proc.R.Soc. London* 223:446 (1954)
101. Theissen-JL; Redmann-K; Lunkenheimer-PP; Grosskopf-G; Zimmermann-RE; Lawin-P, Hochfrequenzbeatmung: Nebenwirkungen und Gefahren. *Anasth-Intensivther-Notfallmed.* 1990 Jan; 25 Suppl 1: 14-9
102. Thompson WK Marchak BE Bryan AC Froese AB Vagotomy reverses apnea induced by high-frequency oscillatory ventilation. In: *J Appl Physiol* (1981 Dec) 51(6):1484-7
103. Thome U: Hochfrequente Oszillationsbeatmung bei Neugeborenen. (1994) 20. Symposium Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin, Graz. Alete Wissenschaftlicher Dienst.
104. Todd-DA; John-E; Osborn-RA :Tracheal damage following conventional and high-frequency ventilation at low and high humidity. *Crit-Care-Med.* 1991 Oct; 19(10): 1310-6
105. : Todd-MM; Toutant-SM; Shapiro-HM :The effects of high-frequency positive-pressure ventilation on intracranial pressure and brain surface movement in cats. *Anesthesiology.* 1981 Jun; 54(6): 496-504
106. Trough WE, Standaert TA: Effect of HFV on gas exchange and pulmonary vascular resistance in lambs. *J Appl Physiol* (1985) 59: 104-9
107. Tsuzaki K High-frequency ventilation in neonates. In: *J Clin Anesth* (1990 Nov-Dec) 2(6):387-92
108. Varnholt V Lasch P Suske G Kachel W Brands W High frequency oscillatory ventilation and extracorporeal membrane oxygenation in severe persistent pulmonary hypertension of the newborn. In: *Eur J Pediatr* (1992 Oct) 151(10):769-74
109. Varnholt V Lasch P Kachel W Diehm T Koelfen W Hochfrequenzoszillationsbeatmung bei Säuglingen mit schwersten Atemstörungen: Möglichkeiten, Risiken und Grenzen. *Klin. Padiatrie* (1994), 206: 161
110. Vierzig A Gunther M Kribs A Roth B Clinical experiences with high-frequency oscillatory ventilation in newborns with severe respiratory distress syndrome. In: *Crit Care Med* (1994 Sep) 22(9 Suppl):S83-7
111. Walker-AM; Brodecky-VA; de-Preu-ND; Ritchie-BC: High-frequency oscillatory ventilation compared with conventional mechanical ventilation in newborn lambs: effects of increasing airway pressure on intracranial pressures.. Monash University Centre for Early Human Development, Monash Medical Centre, Melbourne, Australia: *Pediatr-Pulmonol.* 1992 Jan; 12(1): 11-6
112. Waffarn F, Turbow R, Yang L, Sills J, Hallmann M: Treatment of PPHN: a randomized trial comparing IMV and HFOV delivering NO. (Abstract) 1995
113. Walsh MC Carlo WA Sustained inflation during HFOV improves pulmonary mechanics and oxygenation. *J Appl Physiol* (1988 Jul) 65(1):368-72
114. Wiswell TE Mendiola J Jr , Respiratory distress syndrome in the newborn: innovative therapies. In: *Am Fam Physician* (1993 Feb 1) 47(2):407-14
115. Wiswell TE, Clark RH et al: Tracheal and bronchial Injury with HFO and HFFI compared with CMV. (Abstract) (1987) *Ped. Pulm:* 3: 376

14 Índice

AFO

- definición 8
- fracaso 39
- intermitente 33
- protocolo de ventilación 65

Amplitud 14; 15; 18; 24; 25;
31; 39; 42

Apnea 36

Aspiración meconial 20; 32; 37

Atelectasias 20; 22; 23

Atrapamiento aéreo 32; 44

Barotrauma 5; 13; 22

BDP 20; 32; 37

Bronquiolitis por VRS 37; 55

Cirucito paciente 41; 40

Coeficiente de gas
transportado 19

Compliance 11; 16; 20; 22;
30; 56

Complicaciones 36

Contraindicaciones 37

Control de presión 42

CPAP 14; 41; 46

DCO₂ 19; 25; 29; 34; 36; 52

Destete 27; 54

Difusión 12

Dispersión 12

Distelectasis 15

ECMO 8

Ecocardiograma 29

Efectos secundarios 36

Eliminación CO₂ 19; 21; 22; 26

Emfisem intersticial 32

Estrategia 31

Expansión del pulmón 29; 24

Extubación 27

Fase espiratoria 41; 64

Fase inspiratoria 41

FiO₂ 25

Flujo 41

Flujo continuo 5

Frecuencia 19

Frecuencia cardíaca 36:

Frecuencia de resonancia 18

Frecuencia oscilatoria 14; 18;
14; 31

Fuga de aire 20; 32; 36

Gas transportado 12

Hemorragia intracraneal 36

Hernia diafragmática 20

Hipercapnia 25

Hiperventilación 34

Hipoplasia pulmonar 20; 31

Hipoxia 25

HPPRN 20; 34

Humidificación 36

IMV 14; 22; 27; 33; 44

Indicación 20

Índice de Ventilación-perfusión
13; 15; 34

Insuflación mantenida 14; 22;
25

Insuflación pulmonar 30

Intercambio gaseoso 11

Límite de presión 21

Mecánica pulmonar 13

Monitorización 29; 44

Neumonía 20; 31

Neumotorax 32

- Obstrucción 36; 55
- Oxigenación 15; 21; 25; 31

- PEEP 14; 41; 66
- Pendelluft 13
- Peso corporal 38
- PIP 21; 66
- Pistón oscilador 9
- PMA 14; 25; 27; 23
- Presión de pico inspiratoria 22
- Presión media de la vía aérea 14
- Presión sanguínea 25; 27; 65
- PVC 25; 27; 29

- Recién nacido 21
- Relación I:E 36; 41
- Resistencia 11; 16; 56

- SDRA 20
- Secreción 14; 25; 36; 52
- Shunt derecha-izquierda 13; 34
- SIMV 44
- Síndrome de distress respiratorio 31
- Sistema Venturi tipo Jet 10; 41
- Sobredistensión
- Succión 25; 33

- Técnica de rescate 20
- Test de función pulmonar 30; 55
- Traqueobronquitis necrotizante 37

- Válvula de exhalación 41
- Ventilación 5
- Ventilación convencional 5; 6
- Ventilación minuto 19
- Vibración del tórax 24
- VIVE 41

- Volumen del espacio muerto 8; 11
- Volumen minuto 19
- Volumen oscilatorio 14; 15; 18; 25; 36; 38; 42
- Volumen tidal 11; 19; 29
- Volúmenes de reclutamiento 22

España:

Dräger Medical Hispania S.A.

c/ Xaudaró n° 5

E-28034 Madrid

Tel: +34-91-728 34 00

Fax: +34-91-358 36 19

E-mail: draegermedical@draeger.es

Latinoamérica, Portugal:

**Centro Regional Dräger
para Latinoamérica, España, Portugal**

c/ Xaudaró n° 5

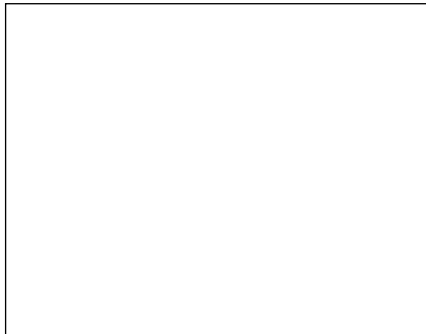
E-28034 Madrid

Tel: +34-91-728 34 09

Fax: +34-91-358 51 61

E-mail: latinoamerica@draeger.es

www.draeger.es



El sistema de gestión de calidad de Dräger Medical AG & Co. KGaA está certificado según el anexo II de la directriz 93/42/EWG (Productos médicos) y según DIN ENISO 9001 y DIN EN 46001.

Ausbelichtung für Rücken

