

## Ventilação de alta frequência em bebês prematuros e neonatos

[High-frequency ventilation in preterm infants and neonates.](#)

Ackermann BW, Klotz D, Hentschel R, Thome UH, van Kaam AH. *Pediatr Res.* 2023 Jun;93(7):1810-1818. doi: 10.1038/s41390-021-01639-8.

Epub 2022 Feb 8. PMID: 35136198 **Free PMC article.** Review

Free PMC **Artigo Gratis!**

## NEONATOLOGIA - HMIB

Apresentação: Gabriela Muniz Taham Carvelo (R5)

Coordenação: Diogo Pedroso

[www.paulomargotto.com.br](http://www.paulomargotto.com.br)

Brasília, 18 de maio de 2024

# VENTILAÇÃO DE ALTA FREQUÊNCIA

É um modo de ventilação mecânica invasiva, caracterizado pela entrega de volumes correntes muito pequenos em frequências suprafisiológicas.

Estudos em animais mostraram que a ventilação com volumes correntes pequenos, juntamente com a prevenção do colapso alveolar, é fundamental para minimizar lesões pulmonares induzidas pelo ventilador.

# VENTILAÇÃO DE ALTA FREQUÊNCIA

É considerada uma modalidade de ventilação protetora para os pulmões, sendo frequentemente usada em cuidados neonatais devido à sua capacidade de evitar a hiperinsuflação inspiratória e o colapso pulmonar expiratório.

O conhecimento sobre como a HFV funciona, seu impacto na fisiologia e sua aplicação prática diária é essencial para seu uso ótimo e seguro.

# VENTILAÇÃO DE ALTA FREQUÊNCIA

Este artigo tem como objetivo revisar aspectos essenciais da ventilação de alta frequência (VAF) e resumir as evidências disponíveis para seu uso terapêutico em recém-nascidos.

01. PRINCÍPIOS BÁSICOS  
Mecanismos de troca de gases;  
Tecnologias e modalidades ventilatórias;  
VAF e proteção pulmonar
02. USO CLÍNICO DA VAF  
MAP;  
Amplitude;  
Frequência;  
I:E;  
Extubação;  
Complicações.
03. ENSAIO CLÍNICO  
SDR;  
Uso do surfactante durante a VAF;  
HFJV e SDR;  
VAF em outras condições pulmonares.
04. PRÁTICAS ATUAIS E FUTURAS  
PERSPECTIVAS
05. CONCLUSÃO

# TROCA DE GASES

A VAF depende da pressão média das vias aéreas (MAP) e da  $FiO_2$  para controlar a oxigenação, enquanto gera oscilações de pressão para a eliminação de  $CO_2$ .

A otimização do volume pulmonar no final da expiração reduz atelectasias e shunts intrapulmonares, aumentando a troca gasosa e melhorando a oxigenação.

Gera volumes correntes (VT) oscilatórios, em frequências suprafisiológicas (8-15 Hz) para eliminar o  $CO_2$ .

A troca de gases durante a Ventilação de Alta Frequência (VAF) difere fundamentalmente da Ventilação Mecânica Convencional (VMC).  
A VAF depende da pressão distensiva contínua (PDC) e da fração de oxigênio inspirado ( $FiO_2$ ) para controlar a oxigenação, enquanto gera oscilações de pressão para eliminação de  $CO_2$ .

# TROCA DE GASES

## DETERMINANTES DA REMOÇÃO DE CO<sub>2</sub>

O volume corrente e a frequência são cruciais para a remoção do CO<sub>2</sub> durante a VAF.

Podemos acompanhar a remoção através do coeficiente de difusão do CO<sub>2</sub> (DCO<sub>2</sub>).

O aumento da amplitude também leva a uma maior remoção de CO<sub>2</sub>.

As mudanças na frequência podem ter efeitos complexos a depender do tempo inspiratório e outros.

A amplitude ( $\Delta PO$ ) na VAF se refere a variação na pressão do ar nos pulmões durante cada ciclo respiratório

# TECNOLOGIAS E MODALIDADES VENTILATÓRIAS

## **HFOV:** VENTILAÇÃO OSCILATÓRIA DE ALTA FREQUÊNCIA

TÉCNICA DE VENTILAÇÃO QUE gera um deslocamento ativo bifásico de ar durante a inspiração e a expiração, atualmente em ventiladores híbridos que criam uma expiração ativa completa usando fluxos opostos de inspiração e expiração, ou fontes de pressão positiva e negativa.

## **HFFI:** INTERRUPTÃO DO FLUXO DE ALTA FREQUÊNCIA

UTILIZA EXPLOSÕES CURTAS DE GÁS ENTREGUES DIRETAMENTE NO CIRCUITO VENTILATÓRIO, COM EXPIRAÇÃO PASSIVA OU ASSISTIDA POR UM SISTEMA VENTURI.

## **HFJV:** VENTILAÇÃO A JATO DE ALTA FREQUÊNCIA

Utiliza pulsos rápidos de gás fresco liberados como um jato, diretamente na via aérea superior ou na peça Y do circuito, com expiração passiva.

# TECNOLOGIAS E MODALIDADES VENTILATÓRIAS

## VENTILADORES HÍBRIDOS E VENTILAÇÃO COM VOLUME GARANTIDO:

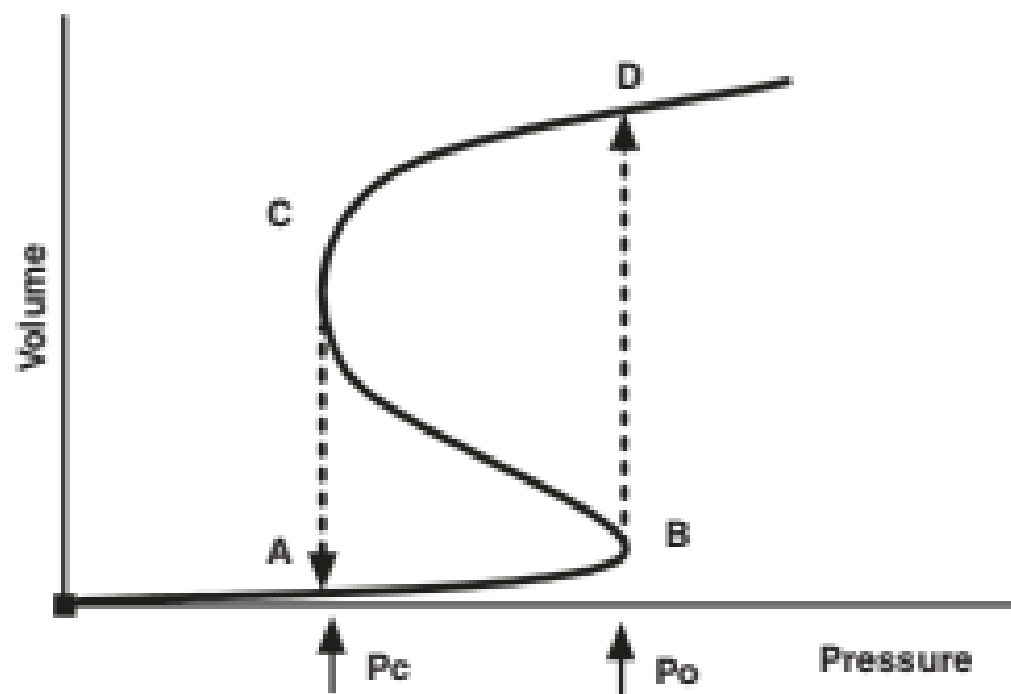
Ventiladores modernos fornecem a opção de entrega simultânea de ventilação mecânica convencional (VMC) e VAF, permitindo a aplicação de suspiros periódicos durante a VAF.

A ventilação garantida a volume (VG) durante a VAF estabiliza o volume corrente (VT) e o  $\text{DCO}_2$ , reduzindo a taxa de hipo e hipercapnia.

## VAF E PROTEÇÃO PULMONAR

A VAF é vista como uma **ventilação protetora para os pulmões** pois entrega um pequeno volume corrente, minimizando a hiperinsuflação pulmonar (volumotrauma). Além disso, o recrutamento pulmonar e redução das atelectasias também contribuem para a proteção pulmonar.

# VAF E PROTEÇÃO PULMONAR



**Fig. 2 Schematic drawing of the pressure-volume relationship of a single alveolus during inspiration and expiration (solid line). At**

**A:** No início da inspiração, o alvéolo está colapsado;

**B:** aumento de pressão atingiu a pressão crítica de abertura, levando a um aumento imediato de volume a medida que o alvéolo é recrutado;

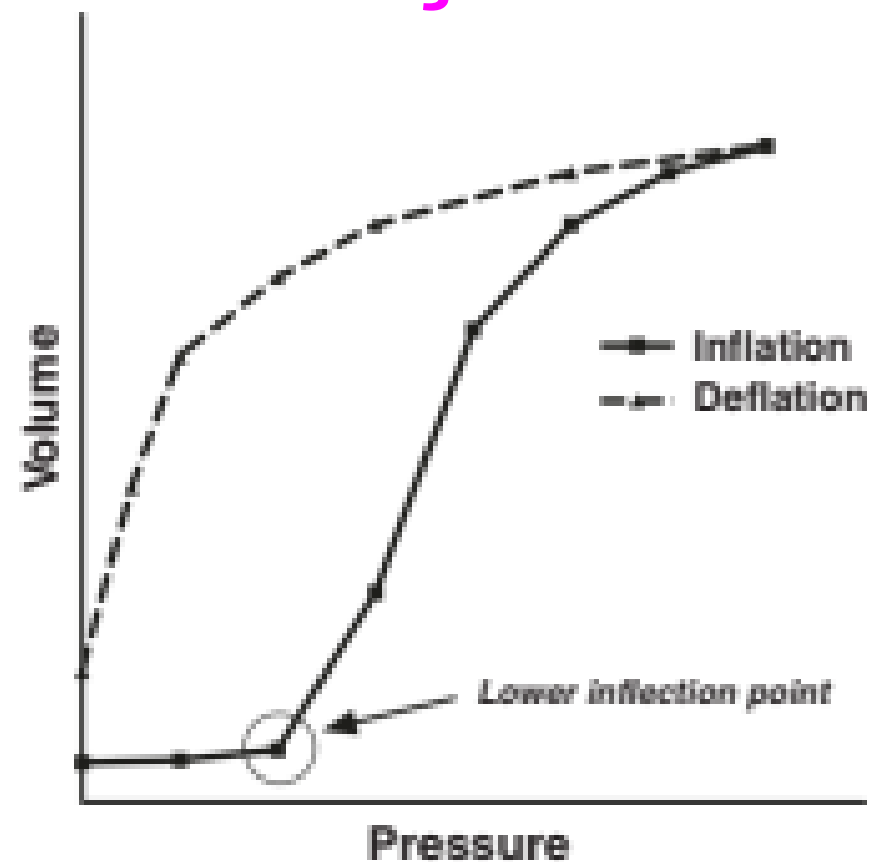
**C:** Conforme a pressão cai lentamente, há pouca perda de volume até que a pressão crítica de fechamento seja alcançada;

**D:** Alvéolo recrutado.

A Figura 2 mostra a relação pressão-volume (P/V) de um alvéolo individual. Após atingir uma pressão crítica de abertura, o alvéolo colapsado se abre, resultando imediatamente em um grande aumento de volume.

Este trecho descreve os eventos que ocorrem em um ciclo respiratório específico, onde o alvéolo passa de um estado colapsado para um estado aberto durante a inspiração e, em seguida, volta a colapsar durante a expiração. A pressão crítica de abertura ( $P_o$ ) é alcançada primeiro, permitindo que o alvéolo se abra rapidamente, enquanto a pressão crítica de fechamento ( $P_c$ ) é atingida mais tarde, resultando no colapso imediato do alvéolo. Isso é explicado pela lei de Laplace, que estabelece uma relação inversa entre a pressão e o raio do alvéolo.

# VAF E PROTEÇÃO PULMONAR



Relação pressão-volume do pulmão mostrando a inflação (linha sólida) e o ramo de desinsuflação (linha tracejada).

A partir de baixas pressões, o volume começa a aumentar acentuadamente quando na maioria dos alvéolos  $P_o$  (pressão crítica de abertura) é atingida. Assim que o volume pulmonar se aproxima da capacidade pulmonar total (CPT), o ramo de insuflação se achata. Observe a aparente diferença no volume pulmonar entre ambos os membros a pressões idênticas (histerese).

**Fig. 3 Pressure-volume relationship of the lung showing the inflation (solid line) and the deflation limb (dashed line). Starting**

## Mudanças de volume cumulativas de todos os alvéolos/sacúlos no pulmão em resposta a mudanças de pressão

Quando a pressão aumenta, os alvéolos começam a se encher de ar, mas o volume aumenta mais rapidamente quando a pressão crítica de abertura ( $P_o$ ) é alcançada. À medida que o volume pulmonar se aproxima da capacidade pulmonar total, o aumento de volume desacelera, resultando em um achatamento da curva de inflação.

A "histerese" mencionada se refere à diferença de volume observada entre os ramos de inflação e deflação do gráfico, mesmo quando as pressões são as mesmas. Isso ocorre devido às propriedades elásticas dos tecidos pulmonares e à presença de surfactante, que afetam a resistência ao colapso dos alvéolos durante a expiração.

Na parte inicial plana da ramificação de inflação, a complacência será baixa e o volume corrente resultante a uma determinada amplitude de pressão será baixo. Ao subir pela ramificação de inflação durante o recrutamento pulmonar, a complacência melhorará e o dióxido de carbono diminuirá com o aumento do volume corrente. Ao atingir a parte superior plana da ramificação de inflação, a  $PCO_2$  aumentará devido a uma diminuição na complacência pulmonar e um aumento no espaço morto alveolar. Ao retroceder na ramificação de deflação, à medida que as pressões são reduzidas, a  $PCO_2$  diminuirá novamente.

# VAF E PROTEÇÃO PULMONAR

## RECRUTAMENTO PULMONAR

Otimizará o volume pulmonar no final da expiração e reduzirá o shunt direito-esquerdo intrapulmonar, ou seja, a perfusão de unidades pulmonares não aeradas, resultando em melhor oxigenação.

A VAF foi estudada para recrutamento pulmonar principalmente com MAP variável e  $\Delta PO$  constante; somente quando ocorria hipo ou hipercapnia significativa, o  $\Delta PO$  era adaptado.

O recrutamento pulmonar na processo pelo qual os alvéolos colapsados ou inativos são abertos e ventilados. Na HFOV (Oscilação de Alta Frequência), a pressão média das vias aéreas é mantida constantemente elevada, o que ajuda a recrutar alvéolos que estão colapsados devido a diferentes condições, como doença pulmonar ou lesão. Essa alta pressão média ajuda a manter os alvéolos abertos durante todo o ciclo respiratório, melhorando a oxigenação e a troca gasosa nos pulmões. O recrutamento pulmonar é um dos principais mecanismos pelos quais a HFOV pode ser eficaz na ventilação de pacientes com insuficiência respiratória aguda ou em risco de lesão pulmonar.

# USO CLÍNICO DA VAF

NA PRÁTICA CLÍNICA, A VAF DEVE SER ADAPTADA À DOENÇA PULMONAR SUBJACENTE.

A VAF pode ser utilizada tanto em doenças pulmonares recrutáveis quanto não recrutáveis.

Podem ocorrer combinações de condições recrutáveis e não recrutáveis.

A VAF pode ser utilizada como modo primário ou de resgate.

Em doenças como a hipoplasia pulmonar, a VAF pode ser preferível à VMC para evitar lesões pulmonares induzidas pelo ventilador.

Exemplos de doenças recrutáveis são a síndrome do desconforto respiratório (SDR), pneumonia e síndrome de aspiração de mecônio.

Em doenças pulmonares não recrutáveis, como a hipoplasia pulmonar após ruptura prolongada de membranas ou hérnia diafragmática congênita, o foco deve ser evitar a sobredistensão pulmonar, que pode levar a lesões pulmonares e síndromes de escape de ar.

Em lactentes com doença pulmonar hipoplásica, o volume corrente por quilograma precisa ser reduzido na VMC para evitar lesões pulmonares graves induzidas pelo ventilador, que podem resultar em hipercapnia.

A VAF, apesar de utilizar volumes correntes pequenos, frequentemente pode manter a troca gasosa potencialmente sem lesões pulmonares adicionais excessivas.

# USO CLÍNICO DA VAF

**PRIMÁRIA:** PARA OS LACTENTES QUE NÃO RESPONDEM AO SUPORTE RESPIRATÓRIO NÃO INVASIVO SÃO INICIADOS DIRETAMENTE NA VAF. ESTA ABORDAGEM É CONSISTENTE COM O CONCEITO DE QUE A VAF VISA PREVENIR LESÕES PULMONARES E NÃO É UM MODO PARA RESOLVER LESÕES PULMONARES.

**RESGATE:** É INICIADA QUANDO OUTROS MODOS DE VENTILAÇÃO INVASIVA NÃO CONSEGUEM FORNECER UMA TROCA GASOSA ADEQUADA OU O FAZEM APENAS ÀS CUSTAS DE CONFIGURAÇÕES VENTILATÓRIAS LESIVAS. NESTE CASO, A VAF É UTILIZADA PARA CORRIGIR A TROCA GASOSA E MINIMIZAR A PROGRESSÃO DA LESÃO PULMONAR.

**O OBJETIVO PRINCIPAL DA VAF É PREVENIR LESÕES PULMONARES E CORRIGIR A TROCA GASOSA, NÃO RESOLVER LESÕES PULMONARES JÁ EXISTENTES.**

Minimização da Progressão da Lesão Pulmonar: A VAF é utilizada para minimizar a progressão da lesão pulmonar e corrigir a troca gasosa, especialmente em situações de falha de outras modalidades de ventilação.

# USO CLÍNICO DA VAF - MAP

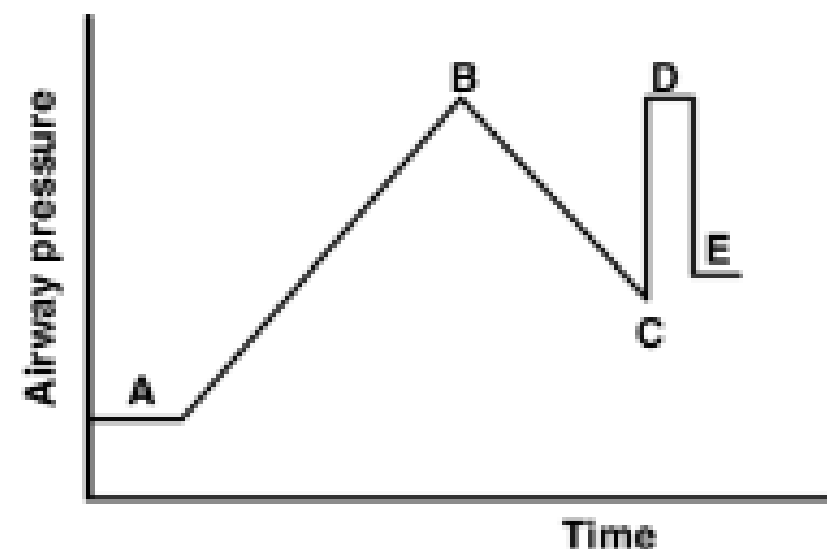
A FUNÇÃO PRIMÁRIA DA MAP É OTIMIZAR O VOLUME PULMONAR NO FINAL DA EXPIRAÇÃO , REDUZINDO ASSIM POSSÍVEIS LESÕES PULMONARES INDUZIDAS PELO VENTILADOR E SHUNT INTRAPULMONAR, ALÉM DE MELHORAR A TROCA GASOSA.

Se o paciente estiver sofrendo de doença pulmonar recrutável, a MAP também é usada para reverter a atelectasia.

Um dos desafios cruciais na neonatologia é monitorar mudanças no volume pulmonar no final da expiração de forma não invasiva e segura ao lado do leito durante o recrutamento pulmonar.

Recomendamos o uso da oxigenação como uma ferramenta indireta para monitorar o recrutamento pulmonar. Isso se baseia na suposição de que o recrutamento de alvéolos colapsados reduzirá o shunt direito-esquerdo intrapulmonar e melhorará a oxigenação.

# USO CLÍNICO DA VAF - MAP



**Fig. 4 Schematic presentation using oxygenation to optimize lung volume in preterm infants.**

**A:** No início, a pressão das vias aéreas é baixa e a FiO<sub>2</sub> é alta, indicando um alto grau de atelectasia e shunt intrapulmonar.

**B:** A pressão das vias aéreas é aumentada até que a FiO<sub>2</sub> alvo indicando recrutamento ótimo seja atingida ou a oxigenação não melhora mais

**C:** A pressão das vias aéreas é então reduzida gradualmente até que a FiO<sub>2</sub> comece a aumentar, indicando desrecrutamento alveolar;

**D:** Reabertura dos alvéolos com a pressão de abertura conhecida;

**E:** a pressão das vias aéreas é ajustada 2 mbar acima de da pressão de fechamento para garantir a estabilização do volume pulmonar.

Ao longo do tempo, as pressões das vias aéreas são aumentadas gradualmente, resultando em recrutamento alveolar, redução do shunt intrapulmonar e melhoria da oxigenação. Isso permite uma redução gradual na FiO<sub>2</sub>, prevenindo a hiperoxemia.

# USO CLÍNICO DA VAF - MAP

A MAP no início do recrutamento pulmonar depende se a VAF é usada como modo primário ou de resgate. Quando usada como modo primário, a MAP recomendada no início da VAF é de cerca de 8 **mbar**.

Se um paciente for resgatado de uma falha na VMC, a maioria dos clínicos começa com uma MAP configurada 2 **mbar** acima da pressão média das vias aéreas usada durante a VMC.

Em seguida, a MAP é aumentada gradualmente, e à medida que a oxigenação melhora, a FiO<sub>2</sub> é gradualmente reduzida para manter a SpO<sub>2</sub> dentro da faixa alvo pretendida.

Em síndromes respiratórias agudas (<72 horas), recomendamos aumentar a PRESSÃO DE DISTENSÃO CONTÍNUA (PDC) em incrementos de 2 mbar e aguardar pelo menos 3 minutos entre os passos, ou mais tempo se a oxigenação continuar a melhorar.

Em neonatos com mais de 72 horas ou com doença pulmonar mais heterogênea, podem ser tomados passos maiores (3–4 mbar) enquanto se reserva mais tempo (até 20 minutos) para avaliar o efeito de cada passo no volume pulmonar expiratório final (EELV).

O tamanho dos passos de pressão e o tempo entre cada passo dependem da doença pulmonar subjacente. Monitorar a pressão arterial durante o procedimento de recrutamento também é recomendado para detectar uma redução no débito cardíaco devido à sobredistensão pulmonar.

## USO CLÍNICO DA VAF - MAP

É importante enfatizar que o uso da oxigenação para guiar o recrutamento pulmonar é dificultado em recém-nascidos com shunt direito-esquerdo extrapulmonar, por exemplo, hipertensão pulmonar persistente do recém-nascido (HPPRN), cardiopatia congênita.

Na HPPRN grave, a  $FiO_2$  não é reduzida durante o recrutamento, visando uma  $PaO_2$  arterial elevada em vez disso.

Em pacientes com doença pulmonar não recrutável, não devem ser feitas tentativas de aumentar a MAP para o recrutamento pulmonar. Preferencialmente, é mantida abaixo de 10 **mbar** para evitar o risco de superdistensão e complicações.



## USO CLÍNICO DA VAF - MAP

O recrutamento pulmonar guiado pela oxigenação requer um monitoramento adequado das mudanças na oxigenação em tempo real. Opções possíveis são a oximetria de pulso e a PO<sub>2</sub> transcutânea.

A radiografia de tórax deve ser usada principalmente para avaliar a posição do tubo, a presença de pneumotórax ou atelectasia e sinais de hiperinsuflação.

# USO CLÍNICO DA VAF - AMPLITUDE

No início da ventilação, é estabelecido uma amplitude de pressão oscilatória ( $\Delta PO$ ) que resulta em pequenas oscilações no tórax, o que geralmente resulta em um volume oscilatório em torno de 2 ml/kg a uma frequência de 10-12 Hz.

Várias condições podem afetar a eliminação de CO<sub>2</sub> em um determinada  $\Delta PO$ . Mudanças na doença pulmonar subjacente, superdistensão pulmonar, presença de muco nas vias aéreas e posicionamento do tubo endotraqueal podem influenciar a complacência pulmonar e, portanto, afetar o volume oscilatório na VAF.

No entanto, a relação entre o volume oscilatório entregue e o nível real de CO<sub>2</sub> no sangue arterial (PaCO<sub>2</sub>) é limitada.

## USO CLÍNICO DA VAF - AMPLITUDE

Para reduzir ainda mais o risco de hipocapnia, sugere-se ajustar a amplitude para permitir a respiração espontânea do recém-nascido.

A alta frequência oscilatória (HFO)V é eficiente na remoção de CO<sub>2</sub>, aumentando o risco de hipocapnia grave não intencional, o que pode prejudicar a perfusão cerebral. Por isso, é recomendado monitorar continuamente o PaCO<sub>2</sub> ou a diferença de CO<sub>2</sub> (DCO<sub>2</sub>) para ajustar o  $\Delta$ P<sub>O</sub> e a frequência

# USO CLÍNICO DA VAF - FREQUÊNCIA

Frequências variando de 8 a 15 Hz são usadas na prática clínica diária; no entanto, raramente uma frequência definida é alterada, a menos que a amplitude atinja configurações não convencionais.

Doença pulmonar de baixa complacência com uma constante de tempo curta pode se beneficiar de frequências mais altas, e doenças pulmonares de alta resistência de frequências mais baixas. No entanto, o aumento da frequência é limitado pela diminuição do desempenho do ventilador.

Na neonatologia, doenças pulmonares de baixa complacência com uma constante de tempo curta podem incluir síndrome do desconforto respiratório (SDR) em prematuros e displasia broncopulmonar (DBP), especialmente em estágios iniciais ou em bebês que apresentam formas mais graves da doença.

Resposta inflamatória pulmonar, imaturidade pulmonar e deficiência de surfactante, o que resulta em uma redução na capacidade dos pulmões de expandir e relaxar adequadamente durante a respiração. Isso leva a uma baixa complacência pulmonar e uma constante de tempo respiratório mais curta.

ALTA RESISTÊNCIA: PCA, HPPN, DBP, SAM

Nessas situações, a inflamação, a lesão pulmonar e a remodelação vascular contribuem para o aumento da resistência nos vasos pulmonares.

## USO CLÍNICO DA VAF - RELAÇÃO I:E

As configurações mais amplamente utilizadas são de 1:1 ou 1:2.

Uma relação I:E de 1:2 pode levar a uma queda significativa na pressão média das vias aéreas ao nível alveolar, especialmente em configurações de amplitude alta e frequências mais altas.

Essa queda não é observada com uma proporção de 1:1, o que pode resultar em retenção de gases nos pulmões, um fenômeno que foi observado em estudos com animais e modelos de pulmão.

# USO CLÍNICO DA VAF - EXTUBAÇÃO

Assim que possível

Tentar reduzir a MAP a cada 12-24h

A amplitude é desmamada com base no PCO<sub>2</sub> e na presença de sinais de respiração espontânea.

Alguns clínicos tendem a voltar da HFV para a CMV para desmame, mas a extubação diretamente da HFV também é viável. As configurações ideais para extubação são objeto de pesquisas em andamento.

## USO CLÍNICO DA VAF - EXTUBAÇÃO

Para recém-nascidos com SDR, a extubação pode ser tentada quando a MAP atinge 8 **mbar** e a FiO<sub>2</sub> está abaixo de 0,30. Recém-nascidos com doença pulmonar mais heterogênea provavelmente podem ser extubados de configurações mais altas.

## USO CLÍNICO DA VAF - COMPLICAÇÕES

### A VAF TEM SIDO ASSOCIADA A VÁRIAS COMPLICAÇÕES

#### - HEMORRAGIA INTRAVENTRICULAR:

LAVAGEM RÁPIDA DE CO<sub>2</sub> E FALTA DE MONITORAMENTO ADEQUADO DO PCO<sub>2</sub> E/OU DIFICULDADE DO RETORNO VENOSO POR AUMENTO DA PRESSÃO INTRATORÁCICA (HIPOCAPNIA E INSTABILIDADE NA PERFUSÃO CEREBRAL).

Estudos mais recentes em recém-nascidos extremamente prematuros não relataram aumento na hemorragia intraventricular em comparação com a VMC

#### - AUMENTO NA INCIDÊNCIA DE VAZAMENTOS DE AR.

# USO CLÍNICO DA VAF - COMPLICAÇÕES

A HFV TEM SIDO ASSOCIADA A VÁRIAS COMPLICAÇÕES.

- INSTABILIDADE HEMODINÂMICA:

A APLICAÇÃO DE MAP MAIS ALTA DURANTE A VAF TAMBÉM PODE AFETAR A ESTABILIDADE HEMODINÂMICA AO IMPEDIR O RETORNO VENOSO.

MAPs mais altas podem ser aplicadas em pulmões com baixa complacência sem comprometer a hemodinâmica.

Se ocorrer uma queda na pressão sanguínea durante o recrutamento pulmonar, isso deve ser considerado um sinal sério de superdistensão pulmonar

Estudos de coorte em recém-nascidos prematuros mostraram que o recrutamento pulmonar individualizado não afeta significativamente o débito cardíaco e o retorno venoso, mas a superdistensão reduz o débito cardíaco do ventrículo direito

# ENSAIOS CLÍNICOS

- Principal linha de estudo: Bebês prematuros com SDR;
- Metanálises mostraram uma redução modesta, mas significativa, na displasia broncopulmonar (DBP), morte ou DBP e retinopatia da prematuridade grave;

No entanto, o efeito sobre a DBP é enfraquecido pela inconsistência entre os ensaios, alguns mostrando benefício da VAF, enquanto ensaios mais recentes relataram diferenças pequenas ou inexistentes entre VAF e VMC.

- Vários estudos relataram um aumento nos vazamentos de ar, embora nem todos o tenham feito.

(Várias tentativas foram feitas para explicar essa heterogeneidade entre os ensaios, mas essas são prejudicadas por dados insuficientes apresentados na seção de resultados da maioria dos ensaios. Com base nos dados disponíveis, parece que diferenças nas características dos pacientes, terapias de suporte, tecnologia ventilatória e a estratégia de ventilação usada durante tanto HFV quanto CMV são em grande parte responsáveis pelo efeito heterogêneo da HFV na DBP)

# ENSAIOS CLÍNICOS

Este estudo sugere benefícios de longo prazo da VAF primária em recém-nascidos prematuros com SDR, independentemente da classificação de DBP às 36 semanas de idade gestacional.

A Figura 6 mostra um metagráfico subdividido de acordo com as estratégias de ventilação usando critérios descritos por Thome et al.

Efeito da ventilação oscilatória de alta frequência (HFOV) na taxa de displasia broncopulmonar (BPD) às 36 semanas corrigidas de gestação em prematuros com síndrome do desconforto respiratório (RDS). Os estudos são subdivididos de acordo com as estratégias ventilatórias aplicadas, conforme descrito por Thome et al., incluindo os estudos mais recentes.

Embora tenha sido observada uma taxa globalmente significativamente menor de BPD nos pacientes tratados com HFOV, esse efeito foi evidente apenas em estudos que compararam estratégias de HFOV de pulmão aberto com CMV com uma frequência respiratória de  $\leq 60$ /min. Comparando HFOV com CMV não regulada ou CMV de alta taxa, não houve diferença no desfecho pulmonar às 36 semanas.

As colunas "Eventos" mostram o número de crianças com BPD moderado ou grave às 36 semanas, e as colunas "Total" mostram o número de sujeitos no grupo. As barras horizontais indicam intervalos de confiança de 95%.

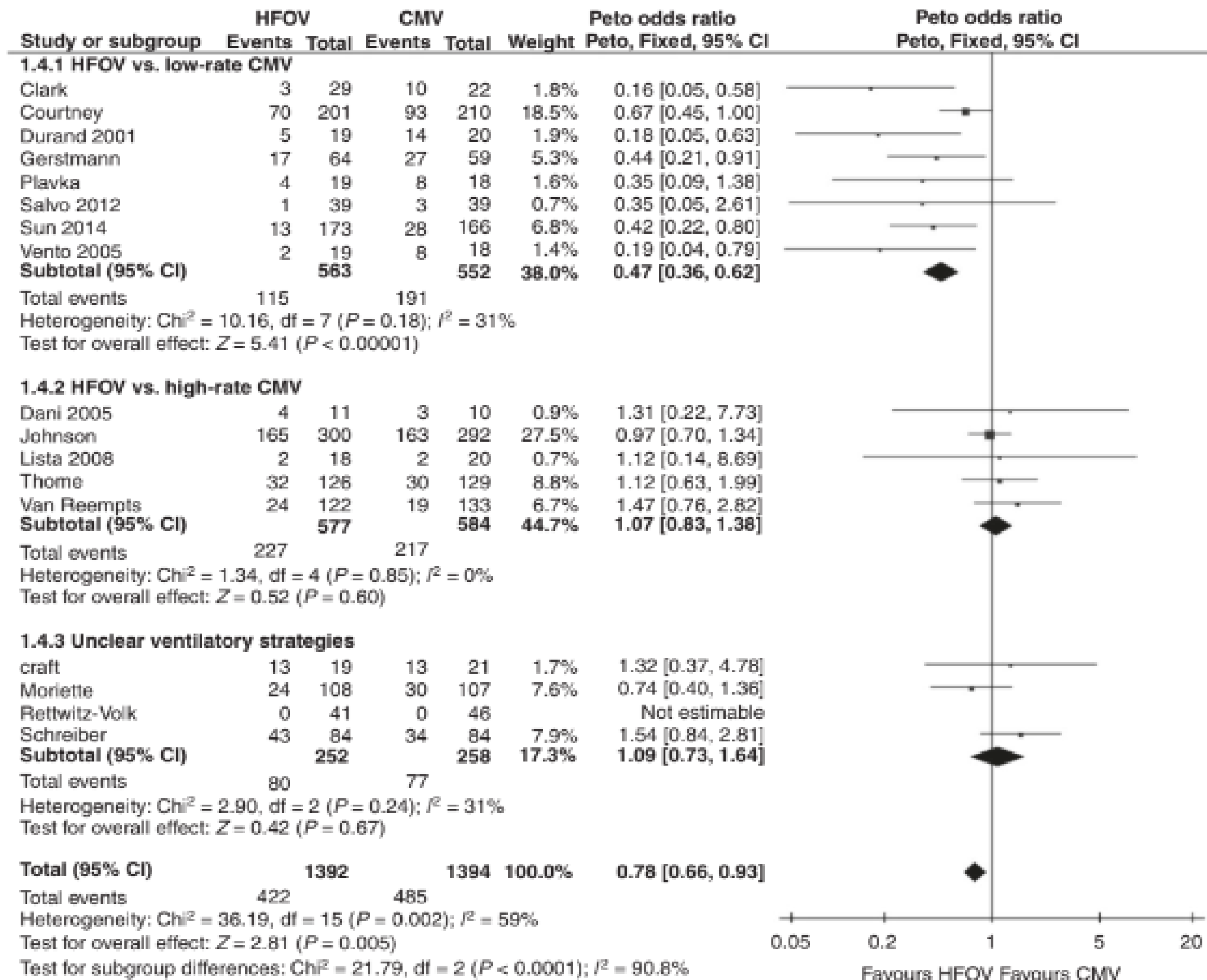


Fig. 6 Effect of high-frequency oscillatory ventilation (HFOV) on the rate of BPD at corrected 36 weeks of gestation in preterms with respiratory distress syndrome (RDS). The studies are sub-grouped according to the applied ventilatory strategies as described by Thome



## ENSAIOS CLÍNICOS - SURFACTANTE + VAF

Um estudo publicado recentemente investigou o impacto de realizar o recrutamento pulmonar na VAF na eficácia do tratamento com surfactante.

O recrutamento com HFOV antes da administração do surfactante resultou em uma redução na necessidade de ventilação mecânica nas primeiras 72 horas de vida (ponto final primário), mas não houve redução da DBP.

Vários aspectos metodológicos impedem conclusões finais, e também não está claro como esse método se compara à redução da intubação pelo uso do método de aplicação de surfactante menos invasivo (LISA).

# ENSAIOS CLÍNICOS – HFJV (VENTILAÇÃO A JATO DE ALTA FREQUÊNCIA) EM SDR

Até o momento, quatro estudos randomizados comparando HFJV com CMV em recém-nascidos prematuros com SDR foram publicados, dos quais três foram analisados detalhadamente em uma revisão Cochrane. Embora os resultados sugiram uma taxa menor de DBP nos grupos de HFJV, é difícil tirar conclusões, já que os protocolos de ventilação convencional não foram especificados ou otimizados, e o número total de casos foi pequeno.

Até onde sabemos, não há estudos comparando os efeitos clínicos de HFOV (VAF) com HFJV.

HFJV - ventilação a jato em alta frequência

# ENSAIOS CLÍNICOS - VAF EM OUTRAS DOENÇAS PULMONARES

## HÉRNIA DIAFRAGMÁTICA CONGÊNITA:

Ensaio VICI: único ensaio prospectivo randomizado comparando VMC com VAF.

Este estudo não mostrou benefício do VAF sobre VMC, mas relatou uma tendência a uma **taxa mais alta do desfecho combinado de morte ou BPD no grupo VAF.**

Esse achado pode ser explicado pelo fato de que a hipoplasia pulmonar causada pela HDC é uma doença não recrutável, e a aplicação de MAPS mais altas não oferecerá os mesmos benefícios que em doenças pulmonares recrutáveis.

# ENSAIOS CLÍNICOS - VAF EM OUTRAS DOENÇAS PULMONARES

## INSUFICIÊNCIA RESPIRATÓRIA AGUDA NO RN A TERMO:

Poucos estudos - A maioria incluiu bebês que sofriam de síndrome de aspiração de mecônio, desconforto respiratório e pneumonia;

Em cerca de 25-50% dos bebês com insuficiência respiratória grave, a mudança de CMV para HFV resultou em uma melhora de curto prazo na troca gasosa.

Além disso, a combinação de VAF com iNO (óxido nítrico inalado) proporcionou maior resposta em pacientes com HPPN grave.

No entanto, esses estudos tinham poder estatístico insuficiente para avaliar um possível impacto em desfechos clínicos mais significativos.

# ENSAIOS CLÍNICOS - VAF EM OUTRAS DOENÇAS PULMONARES

## SÍNDROME DE VAZAMENTO DE AR:

Embora a VAF possa estar associada ao risco aumentado de vazamento de ar em RNPT com SDR, alguns estudos exploraram o possível benefício da VAF em vazamentos de ar já estabelecidos.

Clark et al. relataram benefícios da VAF em bebês com enfisema pulmonar intersticial.

O uso de frequências mais baixas (5-6 Hz) e uma relação I:E de 1:2 também pode ser benéfico em casos de enfisema estabelecido.

# PRÁTICA ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS

Atualmente, apenas uma minoria das Unidades Neonatais utiliza VAF como modo primário.

Mais frequentemente, é usado como ventilação de resgate quando a VMC falha ou são necessárias configurações elevadas.

No entanto, o uso de resgate de HFV não foi estudado suficientemente e deve ser abordado em pesquisas futuras.

## PRÁTICA ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS

O uso de VAF em bebês com deficiência de surfactante e imaturidade pulmonar foi extensivamente estudado.

No entanto, seu uso em outras causas de insuficiência respiratória, especialmente em RNT, é pouco estudado.

Estudos multicêntricos futuros são necessários para avaliar o potencial benefício em outras condições que comprometem direta ou indiretamente a função pulmonar.

A recrutabilidade do pulmão, o impacto em outros órgãos e o comprometimento hemodinâmico devem ser considerados nos desenhos dos estudos.

# CONCLUSÃO

## VAF PROTEGE O PULMÃO

Atenuará a lesão pulmonar induzida pela ventilação se for combinada a uma estratégia de ventilação aberta otimizando o volume corrente final expiratório.

A HFV é um modo de ventilação que se destaca por usar volumes correntes extremamente pequenos para garantir uma troca gasosa adequada. Isso significa que, durante a HFV, os volumes de ar que entram e saem dos pulmões são mínimos, o que pode reduzir o risco de lesão pulmonar associada à ventilação mecânica tradicional.

## INDIVIDUALIZAR CONFIGURAÇÕES DO VENTILADOR

Buscar volume expiratório final otimizado e VT pequeno.

## MAIS ADEQUADA PARA TRATAR DOENÇAS PULMÓNARES RECRUTÁVEIS

Doenças não recrutáveis com aumento da MAP: Hiperdistensão e lesão pulmonar

HFV só pode minimizar a lesão pulmonar se for combinada com uma estratégia específica de ventilação pulmonar aberta. Essa estratégia visa otimizar o volume corrente final expiratório (EELV), ou seja, o volume de ar deixado nos pulmões após a expiração. Ao manter os pulmões abertos e evitar a atelectasia (colapso alveolar), a estratégia de ventilação pulmonar aberta pode maximizar os benefícios da HFV na proteção pulmonar.

As configurações do ventilador devem ser individualizadas com base nas características fisiopatológicas e na gravidade da doença pulmonar subjacente, priorizando a correção da função pulmonar com um EELV otimizado e volume corrente pequeno.

## EFEITO MODESTO E INCONSISTENTE NA DBP

Dados a longo prazo limitados

# CONCLUSÃO

A VAF é considerada um modo de ventilação que protege os pulmões

# NA PRÁTICA

## QUANDO?

Hipercapnia importante  
(PCo<sub>2</sub> 70-75)  
Pi muito elevada  
(>25-28 RNT | > 22-25 RNPT)  
Enfisema intersticial ou  
pneumotórax não resolvido

## PARÂMETROS INICIAIS

MAP: +2 acima da VMC  
Amplitude: 1,5 x  $\Delta P$   
Frequência:  
RNT 10-12 | RNPT 12-15

## MONITORIZAR

Gasometria  
Radiografia de tórax  
Hemodinâmica

RX de tórax: 30 a 60min após ; Gasometria: 30 a 60min após ; Tolerar 8-9 EIC e ajustar a MAP com o raio x; Lembrar que se estiver hipo ou hiperinsuflado não vai responder às mudanças na amplitude

Se hipoinsuflado: aumentar a MAP; Se hiperinsuflado: reduzir a MAP

Se instabilidade hemodinâmica: Reduzir a MAP (MAP elevada vai reduzir RV e DC)

Se hipercapnia: aumentar a amplitude, DEPOIS reduzir a frequência, DEPOIS aumentar a MAP.

Se hipocapnia: reduzir a amplitude, DEPOIS aumentar a FR, DEPOIS reduzir a MAP.

Hipóxia: aumentar a MAP.

# ABSTRACT

High-frequency ventilation (HFV) has been used as a respiratory support mode for neonates for over 30 years. HFV is characterized by delivering tidal volumes close to or less than the anatomical dead space. Both animal and clinical studies have shown that HFV can effectively restore lung function, and potentially limit ventilator-induced lung injury, which is considered an important risk factor for developing bronchopulmonary dysplasia (BPD). Knowledge of how HFV works, how it influences cardiorespiratory physiology, and how to apply it in daily clinical practice has proven to be essential for its optimal and safe use. We will present important aspects of gas exchange, lung-protective concepts, clinical use, and possible adverse effects of HFV. We also discuss the study results on the use of HFV in respiratory distress syndrome in preterm infants and respiratory failure in term neonates.

*Pediatric Research* (2023) 93:1810–1818; <https://doi.org/10.1038/s41390-021-01639-8>

## **IMPACT:**

- Knowledge of how HFV works, how it influences cardiorespiratory physiology, and how to apply it in daily clinical practice has proven to be essential for its optimal and safe use.
- Therefore, we present important aspects of gas exchange, lung-protective concepts, clinical use, and possible adverse effects of HFV.
- The use of HFV in daily clinical practice in lung recruitment, determination of the optimal continuous distending pressure and frequency, and typical side effects of HFV are discussed.
- We also present study results on the use of HFV in respiratory distress syndrome in preterm infants and respiratory failure in term neonates.

# RESUMO

A ventilação de alta frequência (HFV) tem sido usada como modo de suporte respiratório para neonatos há mais de 30 anos. A HFV é caracterizada por fornecer volumes correntes próximos ou menores que o espaço morto anatômico. Estudos em animais e clínicos demonstraram que o HFV pode efetivamente restaurar a função pulmonar e potencialmente limitar a lesão pulmonar induzida pelo ventilador, que é considerada um importante fator de risco para o desenvolvimento de displasia broncopulmonar (DBP). O conhecimento de como funciona a HFV, como influencia a fisiologia cardiorrespiratória e como aplicá-la na prática clínica diária tem se mostrado essencial para seu uso ideal e seguro. Apresentaremos aspectos importantes das trocas gasosas, conceitos de proteção pulmonar, uso clínico e possíveis efeitos adversos do HFV. Também discutimos os resultados do estudo sobre o uso da HFV na síndrome do desconforto respiratório em prematuros e na insuficiência respiratória em neonatos a termo.

## **Impacto**

O conhecimento de como funciona a HFV, como influencia a fisiologia cardiorrespiratória e como aplicá-la na prática clínica diária tem se mostrado essencial para seu uso ideal e seguro.

Portanto, apresentamos aspectos importantes sobre trocas gasosas, conceitos de proteção pulmonar, uso clínico e possíveis efeitos adversos do HFV.

O uso da VAF na prática clínica diária no recrutamento pulmonar, na determinação da pressão e frequência de distensão contínua ideal e nos efeitos colaterais típicos da VAF são discutidos.

Apresentamos também resultados de estudos sobre o uso da HFV na síndrome do desconforto respiratório em prematuros e na insuficiência respiratória em neonatos a termo.

# REFERÊNCIAS

Consulte no artigo integral gratis!

**NOTA DO EDITOR DA PÁGINA NEONATAL**  
**[WWW.PAULOMARGOTTO.COM.BR](http://WWW.PAULOMARGOTTO.COM.BR) DR. PAULO R.**  
**MARGOTTO. VEJAM TAMBÉM!**



**Drs. Sanda Lins, Marta Rocha, Milton Myoshi (SP) e Paulo R. Margotto**  
**(21o Simpósio Internacional de Neonatologia do Santa Joana, 13-17 de setembro de 2017, São Paulo)**

# VENTILAÇÃO DE ALTA FREQUÊNCIA: CIÊNCIA E ARTE



Judy Aschner (EUA)

6º Simpósio Internacional de Neonatologia do Rio de Janeiro, 28 a 30 de agosto de 2008

Realizado por Paulo R. Margotto,

- **O que é a ventilação de alta frequência (VAF)?** Trata-se da aplicação de volumes correntes muito pequenos (menores que o espaço morto fisiológico) em frequências suprafisiológicas. Há um pequeno problema. Se você aplicar os conceitos clássicos da fisiologia respiratória à VAF não faz muito sentido, pelo menos não matematicamente. O bom senso ensina que a ventilação ideal é igual ao volume corrente menos o espaço morto. Matematicamente, como você pode ter esta equação funcionando se o volume corrente é menor que o espaço morto? Então você tem que acreditar que o espaço morto fisiológico é eficaz sendo menor que o espaço morto anatômico. Estudos em animais com VAF demonstraram que você pode ter ventilação adequada com remoção de CO<sub>2</sub> muito eficaz com volume corrente de apenas 1 ml/kg, muito menor que o espaço morto anatômico. Como podemos fazer isto? Teoricamente é o fluxo que reduz o espaço morto efetivo e assim, você usa somente porções do espaço morto anatômico, porque o gás fresco penetra em alguns alvéolos diretamente mesmo quando o volume corrente é menor que o espaço morto.

# Ventilação oscilatória de alta frequência versus ventilação convencional no manejo respiratório de recém-nascidos

a termo com hérnia diafragmática congênita: um estudo de coorte retrospectivo



[High-frequency oscillatory ventilation versus conventional ventilation in the respiratory management of term neonates with a congenital](#)

[diaphragmatic hernia: a retrospective cohort study](#). Semama C, Vu S, Kyheng M, Le Duc K, Plaisant F, Storme L, Claris O, Mur S, Butin M. Eur J Pediatr. 2022 Nov;181(11):3899-3906. doi: 10.1007/s00431-022-04590-w. Epub 2022 Aug 22. PMID: 35994123.

Realizado por Paulo R. Margotto

- **O objetivo deste estudo retrospectivo foi comparar ventilação oscilatória de alta frequência (VOAF) com pressão média das vias aéreas (MAP ) abaixo de 12 cmH<sub>2</sub>O e ventilação mecânica convencional (VMC) em recém-nascidos com HDC em termos de morbidade respiratória de curto prazo quantificada pela duração da oxigenoterapia.**
- 
- Comparando ventilação de alta frequência com pressão de vias aéreas (PAM) baixa de 12 cmH<sub>2</sub>O e ventilação convencional nesses recém-nascidos (RN) como modo inicial de ventilação nesses pacientes não foi associado a diferenças na duração da oxigenoterapia ou na sobrevida do paciente.
- Os resultados deste estudo sugerem que a VOAF continua sendo uma escolha válida para a ventilação inicial de pacientes com HDC. Esse estudo enfatiza a importância da estratégia geral de ventilação em relação ao modo inicial de ventilação, incluindo a escolha da pressão das vias aéreas, critérios para extubação e experiência no manejo desses pacientes. Seja para VOAF ou VMC, equipes experientes ajustam com precisão as pressões das vias aéreas para reduzir o risco de hiperdistensão. O presente estudo prepara o terreno para trabalhos futuros na melhoria da gestão e resultados de recém-nascidos com HDC.
-

# Monografia-Neonatologia-HMIB-2023:Ventilação Oscilatória de Alta Frequência em uma Unidade de Terapia Intensiva Neonatal, um estudo observacional



Carolina Beatriz Ferreira Mesquita. Coordenação: Carlos Alberto Moreno Zaconeta

- Os pacientes que utilizam a ventilação oscilatória de alta frequência (VOAF) na Unidade estudada são na sua maioria **prematuros extremos**.
- Ela foi **indicada com uma média de 14 dias de ventilação mecânica convencional (VMC)**, sendo que a falha da VMC foi o principal motivo de indicação.
- Não houve nenhum caso em que ela foi utilizada como estratégia de proteção em pacientes com risco de lesão pulmonar induzida pela ventilação mecânica( LPIVM).
- Observou-se uma média baixa do pH (7,1) das gasometrias de indicação da VOAF, mas após a mudança da ventilação, os pacientes melhoraram os parâmetros gasométricos.
- A maioria dos pacientes foi a óbito na internação do uso da VOAF, porém a causa do óbito não foi analisada, o que poderia trazer mais informações sobre a eficácia do uso dessa ventilação.
- Por ser um trabalho observacional e com uma amostra pequena, houve limitação na análise dos dados.
- Um estudo com uma amostra maior pode fornecer melhores evidências sobre a eficácia da VOAF e os fatores relacionados aos desfechos bons e ruins.
- Sugerimos mais treinamento da equipe quanto ao uso da VOAF e a disponibilização de mais ventiladores modernos que possibilitem tanto o uso desse modo ventilatório, quanto a **promissora ventilação com volume garantido**.

# ASSISTÊNCIA RESPIRATÓRIA AO RECÉM-NASCIDO-



Paulo R. Margotto, Fabiana Pontes, Renata Araripe, Diogo Pedroso, Adriana Kawaguchi, Maria Eduarda Canellas de Castro, Jefferson Guimarães de Resende

(Capítulo do Livro Assistência ao Recém-Nascido de Risco, 4a Edição, 2021)

## VENTILAÇÃO DE ALTA FREQUÊNCIA: COMO FAZEMOS

### Indicações

- 
- Falha da ventilação convencional:
- RN em ventilação convencional necessitando de altas pressões inspiratórias como:
  - - 1000 g. PIP maior que 25cm de H<sub>2</sub>O
  - 1001 - 1500 g. PIP maior que 28 cm de H<sub>2</sub>O
  - 1501 - 2000 g. PIP maior que 30 cm de H<sub>2</sub>O
- Hipertensão pulmonar persistente em conjunto com o óxido nítrico: o óxido nítrico para agir, necessita de chegar ao alvéolo, ou seja, que haja recrutamento do alvéolo, o que é conseguido com a ventilação de alta frequência (é a otimização do óxido nítrico)
- Enfisema intersticial pulmonar
- Hemorragia pulmonar
- Insuficiência respiratória intratável com indicação de ECMO (Oxigenação por membrana extracorpórea).
- Pacientes com hipoplasia pulmonar com necessidade de suporte ventilatório prolongado, apresentaram benefícios em VAFO (crescimento pulmonar)
- Pacientes com Hérnia diafragmática: enquanto aguardam a instalação da ECMO, a VAFO se mostrou eficiente e por vezes, suficiente.
- Nas síndromes de escapes aéreos (enfisema intersticial, pneumomediastino e pneumotórax), apesar de poucos estudos, houve redução das complicações, da DBP e mortalidade. A razão da vantagem da VAF no PTX é o fato de que a VAF mantém MAP elevada com diminuição do vazamento pela fístula. Na VC, o tempo expiratório é tal que haverá muito mais tempo para o vazamento ocorrer do que na VAF, na qual o tempo expiratório é tal que o vazamento seria mínimo.
- Doença pulmonar com tendência a colapamento alveolar e que não responde a ventilação convencional ou que estejam respondendo parcialmente à custa de pressão de pico muito elevada (risco de barotrauma)

## Parâmetros Iniciais

- FiO<sub>2</sub>: necessária para obter saturação adequada
- Fluxo: 8 a 15L/min
- Frequência de 10-15 Hz: RN a termo: 10 a 12Hz; RN prematuro ou muito baixo peso: 12 - 15 Hz. Pacientes maiores ou portadores de patologias obstrutivas necessitam de frequências mais baixas
- Tempo inspiratório: 33% do ciclo oscilatório (relação I: E 1/2)
- MAP (determina o volume corrente): 2 a 3 cm H<sub>2</sub>O acima da MAP em ventilação convencional
- Amplitude: principal determinante na eliminação do CO<sub>2</sub>. O melhor método de se iniciar com este parâmetro é começar com valores mais baixos e aumentar até que haja movimentos perceptíveis na parede torácica, progredindo até a virilha. Pode ser ajustada de duas formas: inicialmente visando a vibração torácica e abdominal. Às vezes valores de 35-40 cmH<sub>2</sub>O são necessários ou duas vezes o valor da MAP de acordo com expansibilidade torácica.

### **É importante usar uma tática baseada na patologia que você está ventilando:**

- Na doença atelectásica difusa, usar volumes altos (MAP alta) com objetivo de recrutar alvéolos; RN com enfisema intersticial pulmonar/escape aéreo, usar uma MAP mais baixa; RN com aspiração de mecônio ou pneumonia lobar (é uma doença heterogênea do ponto de vista de mecânica respiratória e é difícil de ventilar), procurar a MAP ideal.

## Monitorização

- Monitorização contínua do CO<sub>2</sub> pela capnografia (consulte o capítulo sobre Oximetria/Capnografia)
- Gases sanguíneos – fundamental para ajuste da amplitude
- Radiografia de tórax – deve ser solicitada 1 a 2 horas após o início da VAF e a cada 6 a 8 horas até estabilização ou em caso de piora clínica. Posteriormente, a radiografia de tórax deve ser solicitada diariamente ou a após mudanças significativas nos parâmetros de VM e sempre que houver deterioração respiratória súbita com queda inexplicável da PSaO<sub>2</sub>, elevação da frequência cardíaca e/ou queda de pressão arterial)
- Ausculta respiratória e cardíaca: devido à interferência da vibração, este exame só pode ser feito no momento da aspiração das vias aéreas ou por alguma interrupção da VAF.

## Desmame

- Reduzir a Amplitude, objetivando PaCO<sub>2</sub> 45-65 mmHg;
- Reduzir a FiO<sub>2</sub> até 30% e depois a MAP;
- Quando menor a FIO<sub>2</sub> em uso, mais rapidamente a MAP pode ser reduzida
- Havendo necessidade de aumentar a FiO<sub>2</sub> neste processo de desmame, considerar aumentar a MAP em 1-2 cm H<sub>2</sub>O ou realizar mantras de recrutamento. Caso a manobra não seja satisfatória, considerar a realização do RX.
- MAP mínima de 3-6 cmH<sub>2</sub>O, se insuflação adequada;
- Em bebês <1.000 g, uma vez que a FIO<sub>2</sub> esteja em 40% e a Amplitude abaixo de 20 cmH<sub>2</sub>O, reduzir a frequência da ventilação de alta frequência para reduzir riscos de *air trapping*.
- O RN pode ser extubado para NIPPV (ventilação não invasiva) ou colocado em ventilação convencional

## ***OBSERVEM O EXEMPLO (BELIK J, 2001):***

- *imagine você um RN com 1kg na ventilação convencional (VC) com MAP de 12-13-14 cm H<sub>2</sub>O com FiO<sub>2</sub> 100% e PSaO<sub>2</sub> 50-60%. Neste RN você decidiu por na ventilação de alta frequência (VAF). A estratégia é: inicia a VAF com 2 cmH<sub>2</sub>O da MAP da convencional e você vai aumentando gradualmente a MAP com o objetivo de você poder reduzir a FiO<sub>2</sub> a 30%. O objetivo é que você alcance uma FiO<sub>2</sub> de 30% com MAP de 18-19cmH<sub>2</sub>O; uma vez atingido este momento e o RN estiver com PaO<sub>2</sub> de 70-80mmHg, iniciar o desmame diminuindo a MAP. **Assim o desmame não é na FiO<sub>2</sub>. Se o RN piorar aumentar a MAP.** É o que entendemos da otimização da VAF (se você não expandir o pulmão no momento em que você colocou o RN na VAF, você não se utilizou do **processo básico da VAF que é o recrutamento do pulmão**). Pulmão não recrutado fica difícil eliminar CO<sub>2</sub> e melhorar a PaO<sub>2</sub>.*
- *Em resumo, iniciar o desmame com a redução da MAP levando em conta a expansão pulmonar, guiado com o RX de tórax (estar preparado para aumentar a MAP se houver piora clínica), raciocinar com o tipo de patologia que o RN possui, aceitar PaCO<sub>2</sub> mais elevadas (até 55 mmHg, com pH>7,20).*



Drs. Judy Aschner (EUA), Paulo R. Margotto e Marta David Rocha de Moura  
(Rio de Janeiro, junho de 2018 )