

# Ventilación de alta Frecuencia en recién nacidos

Dra. Carolina Méndez B.

Neonatóloga

Jefa(s) de Servicio de Neonatología

Hospital San Juan de Dios

Docente Universidad de Chile

MBA con especialización en Salud

Presidenta de Rama de Neonatología SOCHIPE

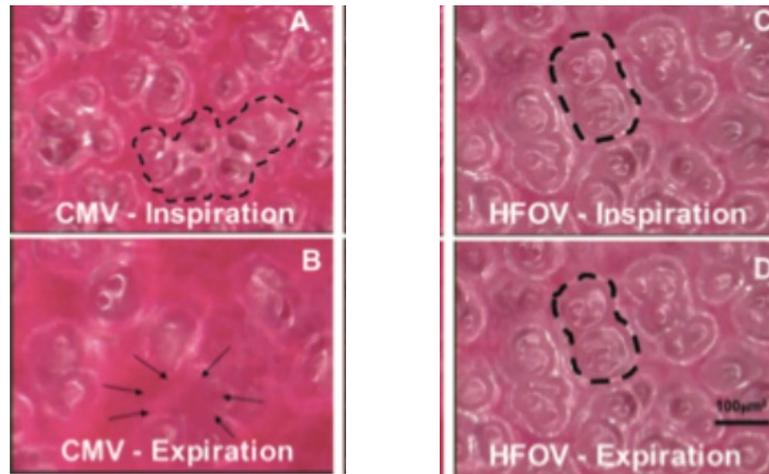
# Ventilación de alta frecuencia

- La ventilación de alta frecuencia llama la atención en la comunidad médica en 1970 donde aparecen los primeros reportes.
- Primer reporte en la literatura en recién nacidos por Frantz y col en el año 1983.
- Genera FR suprafisiológicas (240-900 respiraciones por minuto 4-15 Hertz)
- VC muy pequeños (1-2ml/kg) = o < al espacio muerto alveolar

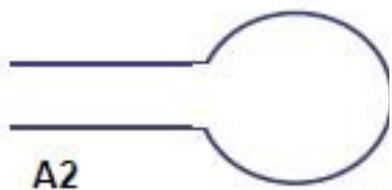


# Ventilación de alta frecuencia

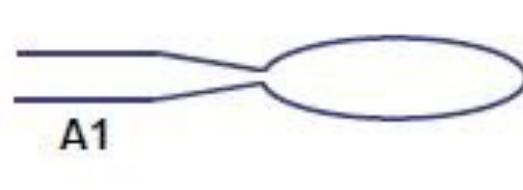
- La ventilación ocurre en una pulmón continuamente abierto, reduciendo así notablemente la sobredistensión alveolar, condicionante del daño por VM.



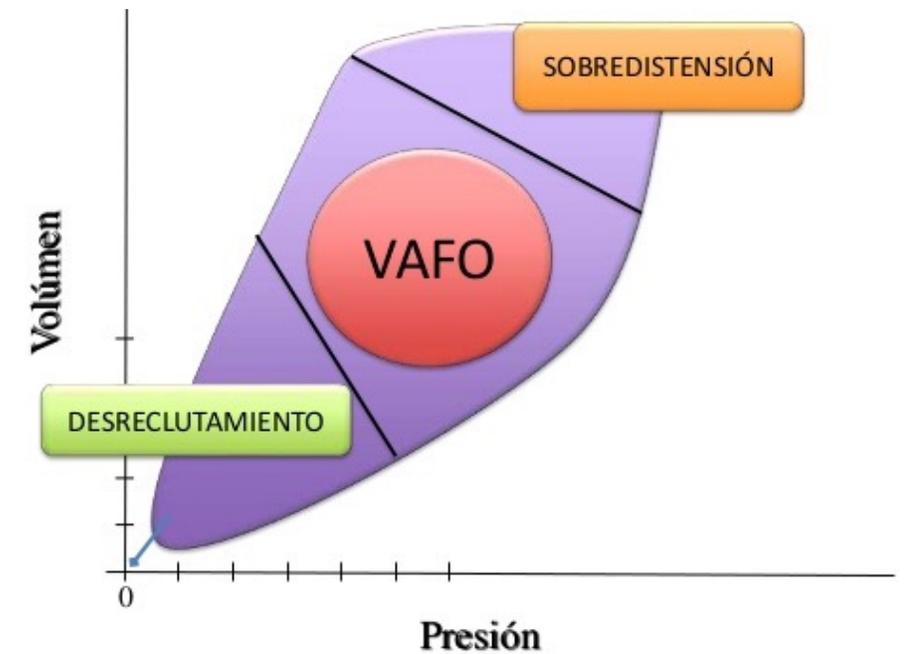
VMC



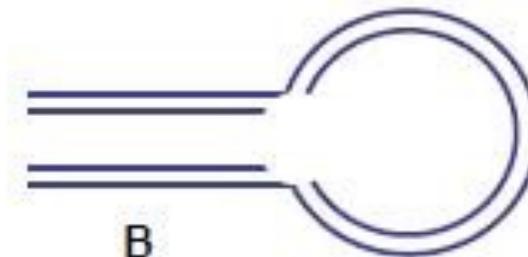
Inspiración



Espiración



VAF



# Mecanismos de generación de la VAF

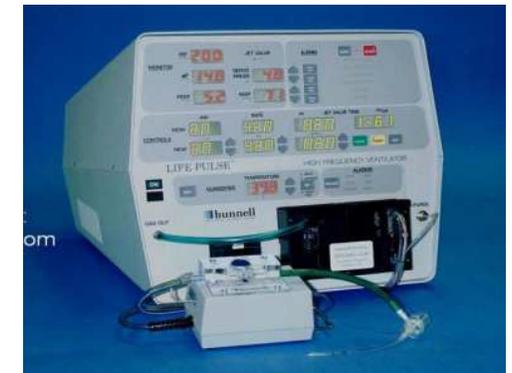
- **Oscilador:**

- Diafragma vía exhalatoria (Drager Babylog 8000<sup>®</sup>, Drager VN 500, 600, 800)
- Diafragma vía inspiratoria (Sensor Medics<sup>®</sup>, Fabian<sup>®</sup>, SLE 5000<sup>®</sup>, 6000)
- Pistón (Hummingbird V<sup>®</sup>)



- **Jet:**

- Bunnell Lifepulse jet ventilator



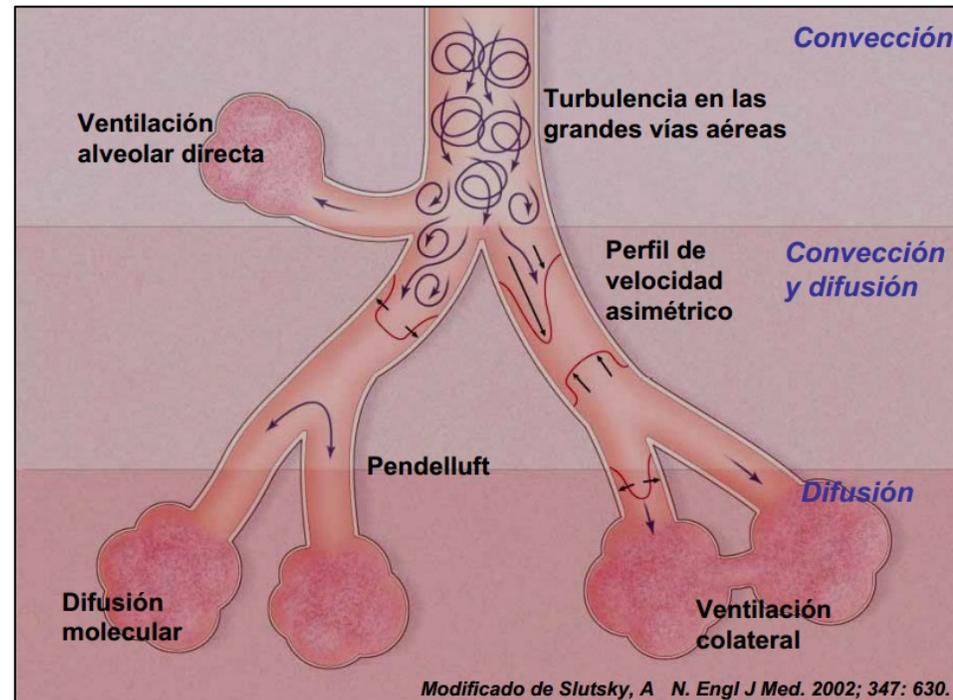
- **Interruptor de flujo:**

- Infant Star



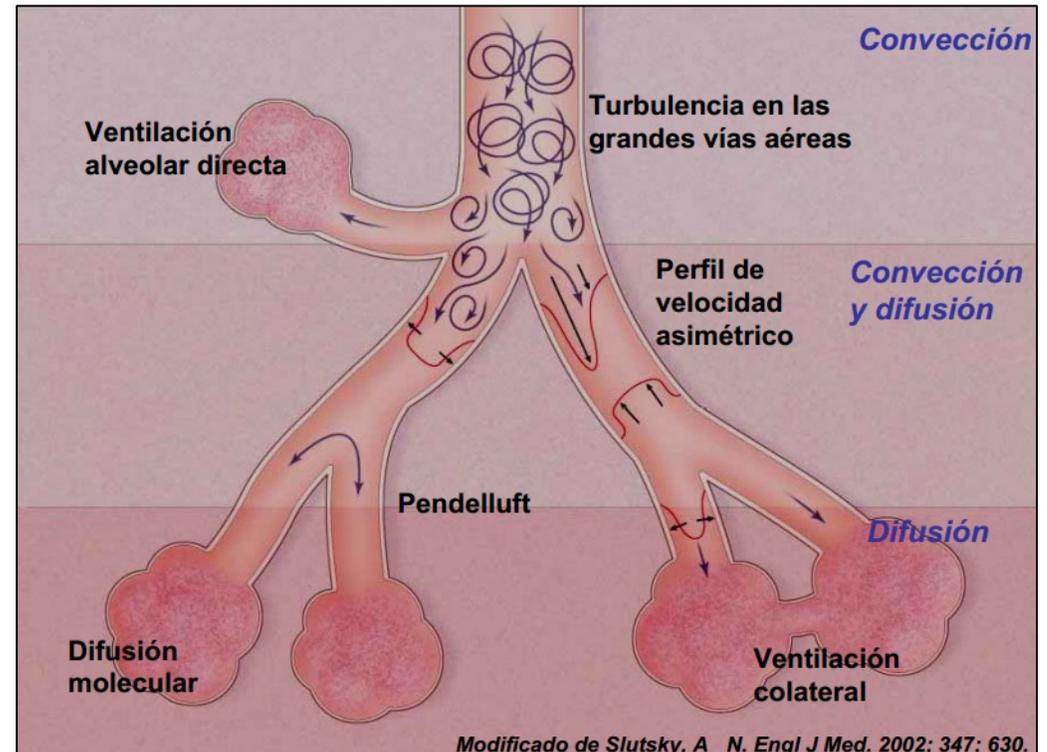
# Intercambio de gases en VAF

- Efecto Pendelluft → recirculación de gas entre alvéolos con distinta cte. de tiempo (tiende a equilibrar [gas] facilitando el intercambio en las unidades alveolares distales)
- Difusión molecular en alvéolos terminales, cerca de la membrana alvéolo capilar
- Ventilación colateral → alvéolos terminales comunicados



# Intercambio de gases en VAF

- Ventilación alveolar directa de alvéolos proximales (unidades con mínimo espacio muerto)
- Aumento de difusión en vías aéreas grandes y medianas dado por un perfil de velocidad asimétrica de flujo en inspiración/espiración



# Gas exchange mechanisms in preterm infants on HFOV – a computational approach

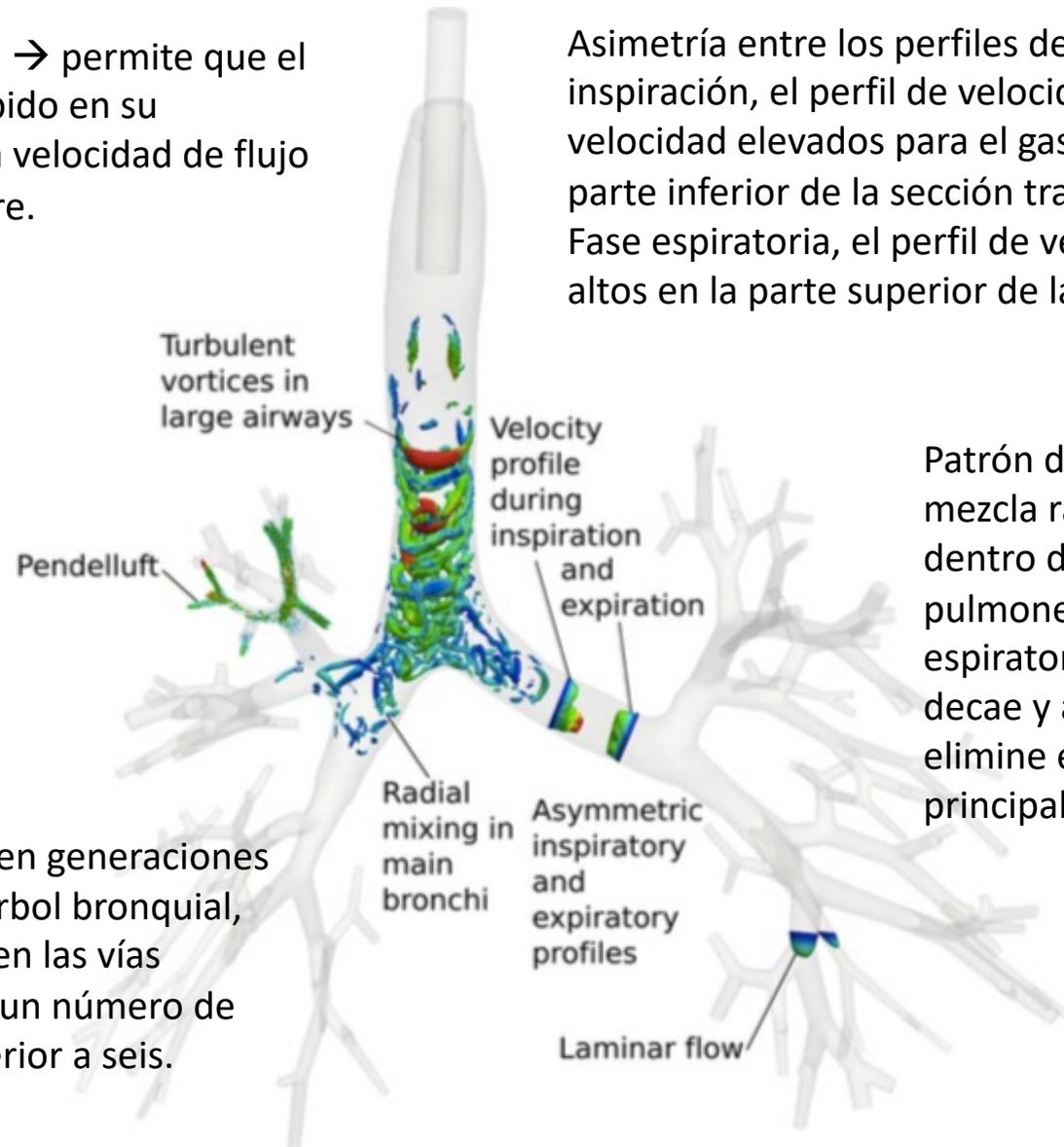
SCIENTIFIC REPORTS 

- Modelo pulmonar computacional de alta resolución (Magnetic)
- Las imágenes de resonancia y las pruebas de función pulmonar se utilizan para revelar como se realiza el intercambio de gases altamente eficiente.

# Intercambio de gases en VAF

Fase inspiratoria → permite que el O<sub>2</sub> viaje más rápido en su superficie que la velocidad de flujo promedio del aire.

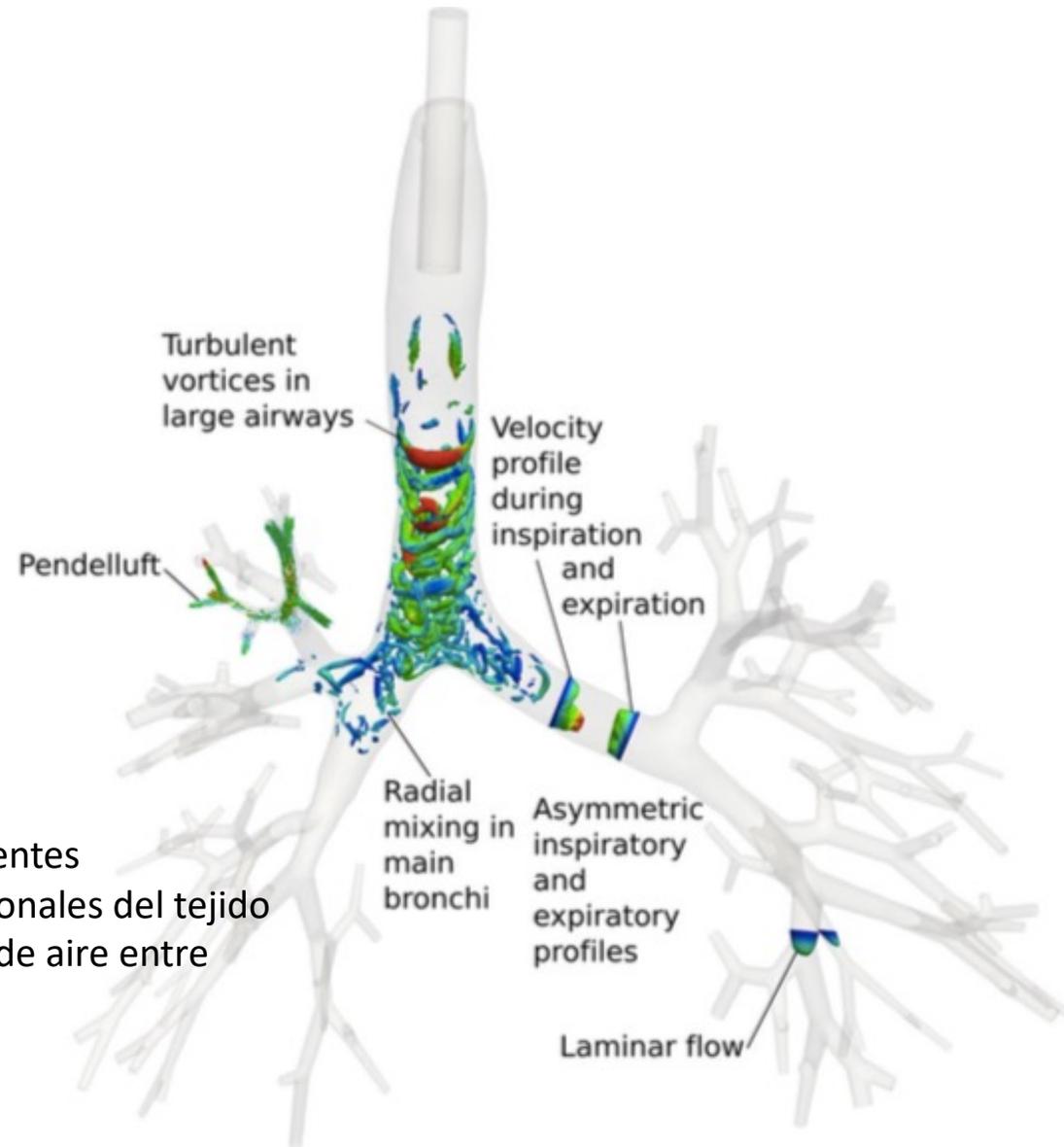
Asimetría entre los perfiles de flujo. Durante la fase de inspiración, el perfil de velocidad muestra valores de velocidad elevados para el gas rico en oxígeno en la parte inferior de la sección transversal de la vía aérea. Fase espiratoria, el perfil de velocidad indica valores más altos en la parte superior de la sección transversal.



El flujo laminar, en generaciones superiores del árbol bronquial, principalmente en las vías respiratorias en un número de generación superior a seis.

Patrón de flujo conduce a una mezcla radial eficiente de oxígeno dentro del gas inflado en los pulmones. Durante la fase espiratoria, esta mezcla radial decae y asegura que el CO<sub>2</sub> se elimine eficazmente del bronquio principal derecho.

# Intercambio de gases en VAF



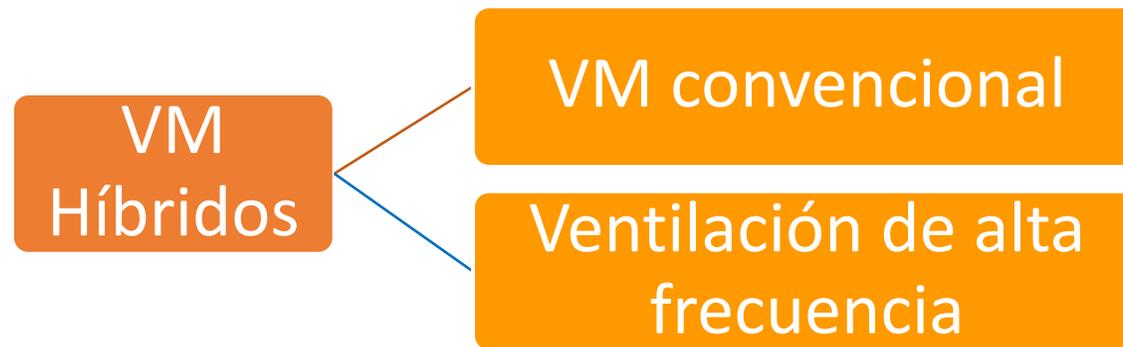
Pendelluft diferentes compliance regionales del tejido pulmonar, flujo de aire entre regiones.

# Indicaciones de VAF

- Falla respiratoria aguda refractaria a VMC
  - IO > 15, o PIM altos > 22 en RNPT
  - IO > 20 o PIM altos > 25 en RNT
  - Candidatos a ECMO
- Escapes aéreos
  - Enfisema intersticial, Neumotórax, fístula broncopleurales, neumopericardio, etc.
- Hipertensión pulmonar persistente primaria o 2º (SAM, HDC)

$$\text{IO: } \frac{\text{PMVA} \times \text{FiO}_2 \times 100}{\text{PaO}_2}$$

# Ventiladores neonatales híbridos



Administración de VAF de forma diferente

Es importante conocer las implicancias en la práctica clínica de estas diferencias

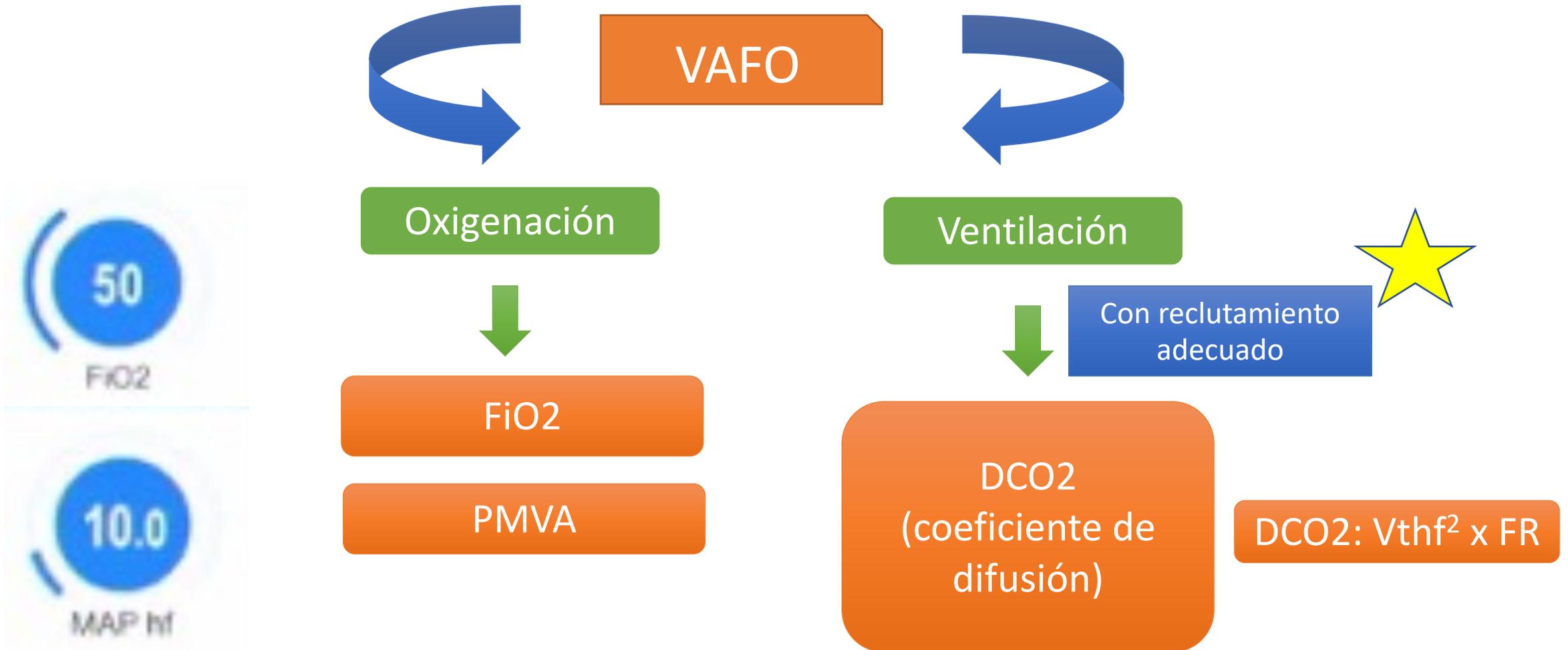
Medición del  $V_{tHf}$

# Ventiladores neonatales híbridos

VN500 VN 600/800	Acutronic Fabian	SLE5000 SLE6000	Leoni plus	Sophie	Babylog 8000



# Manejo respiratorio en VAF



# Barrido de $\text{PCO}_2$

Ventilación convencional



↑ Volumen minuto



$V_m: V_t \times FR$

Ventilación de alta frecuencia



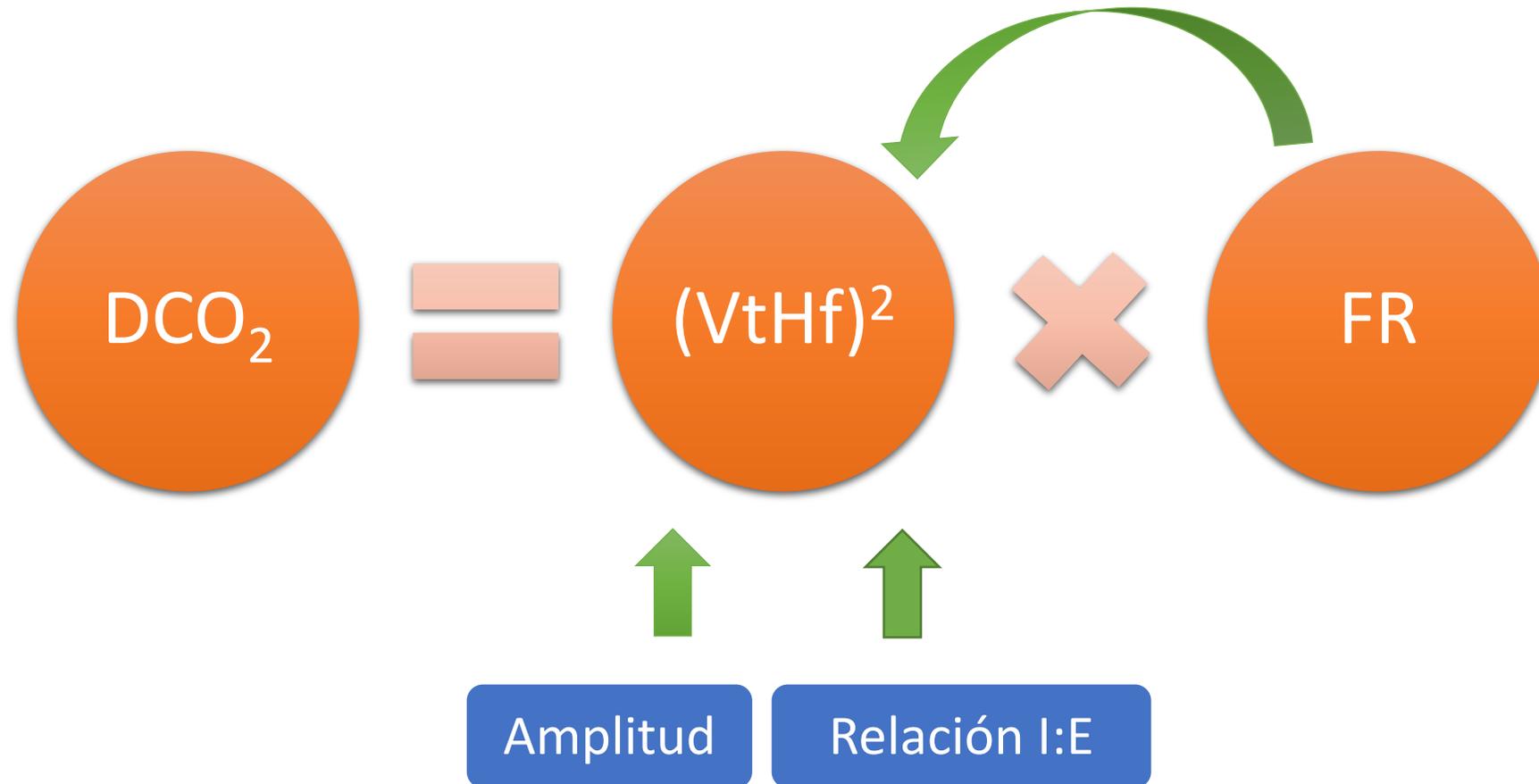
↑ Coeficiente de difusión



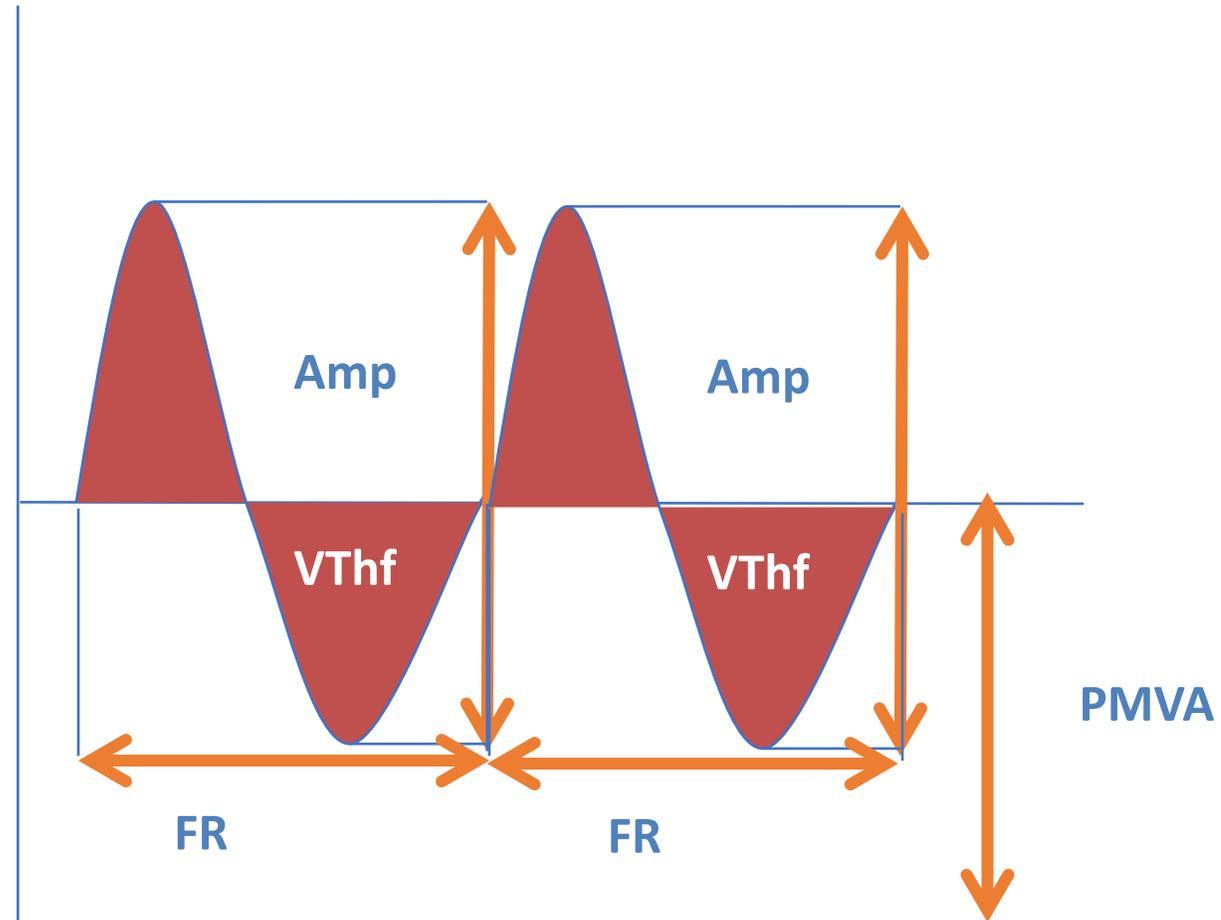
$\text{DCO}_2: V_{thf}^2 \times FR$



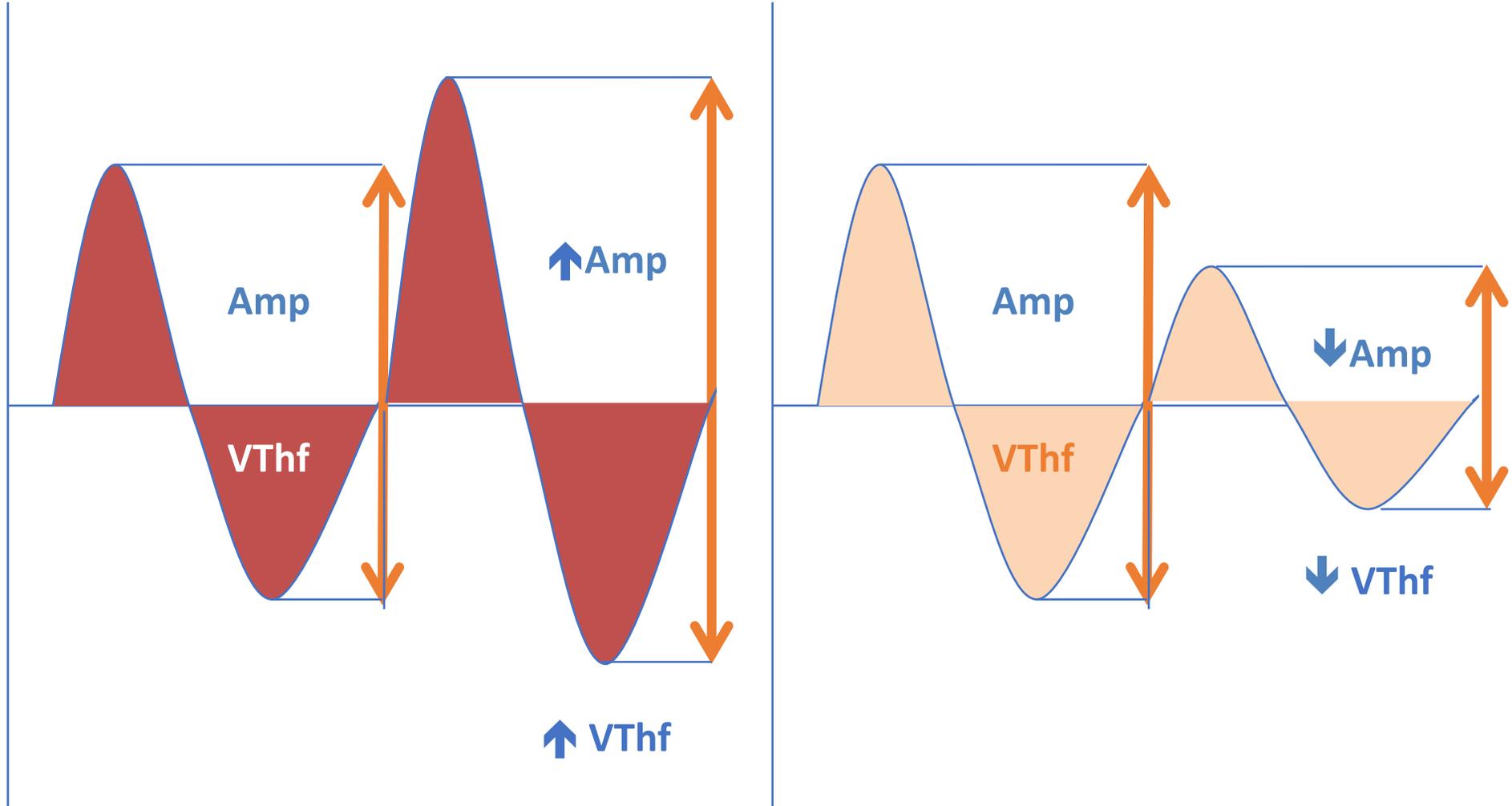
# Coeficiente de difusión



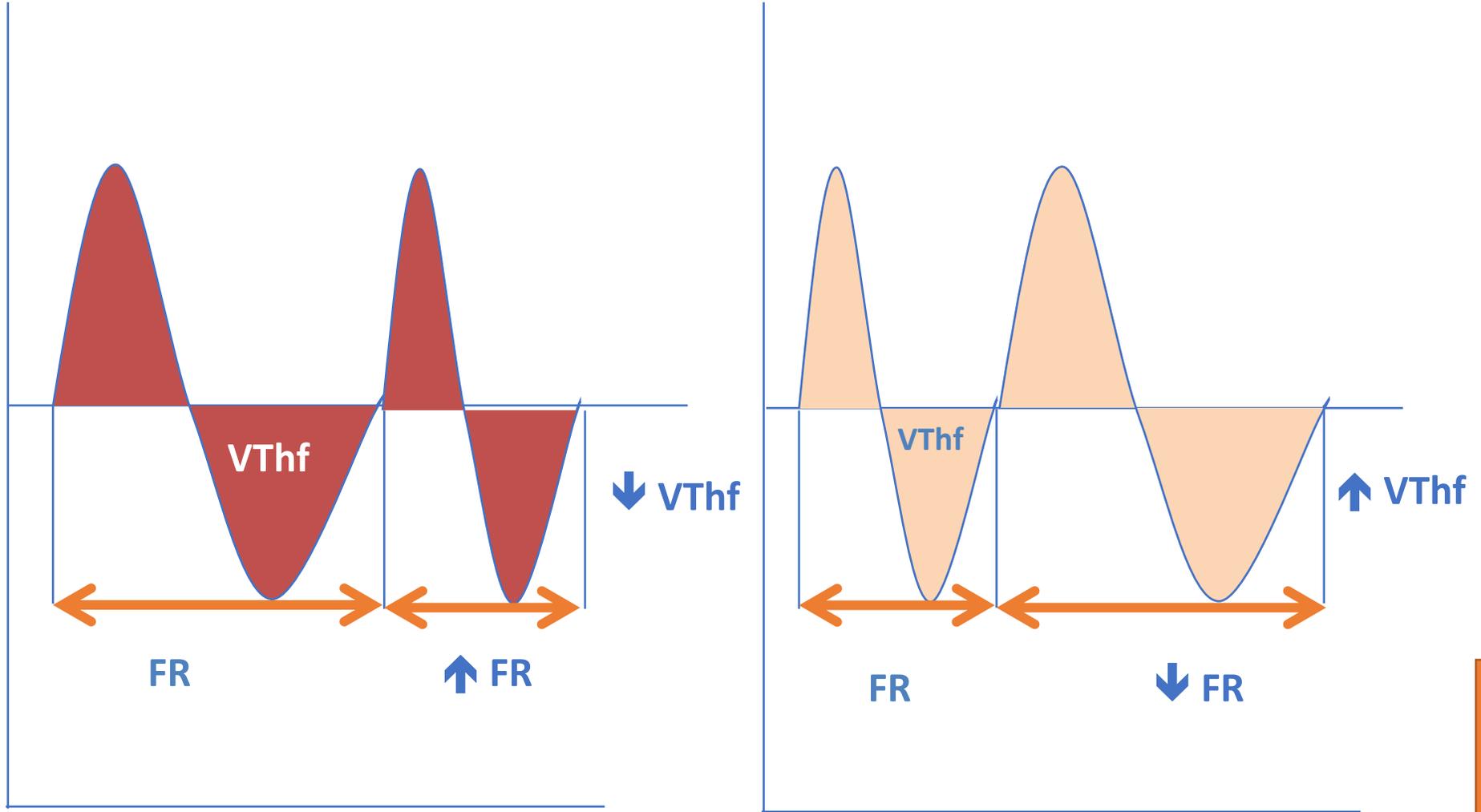
# Curvas en Ventilación de alta frecuencia



# Modificaciones de $V_{Thf}$ al cambiar la Amplitud

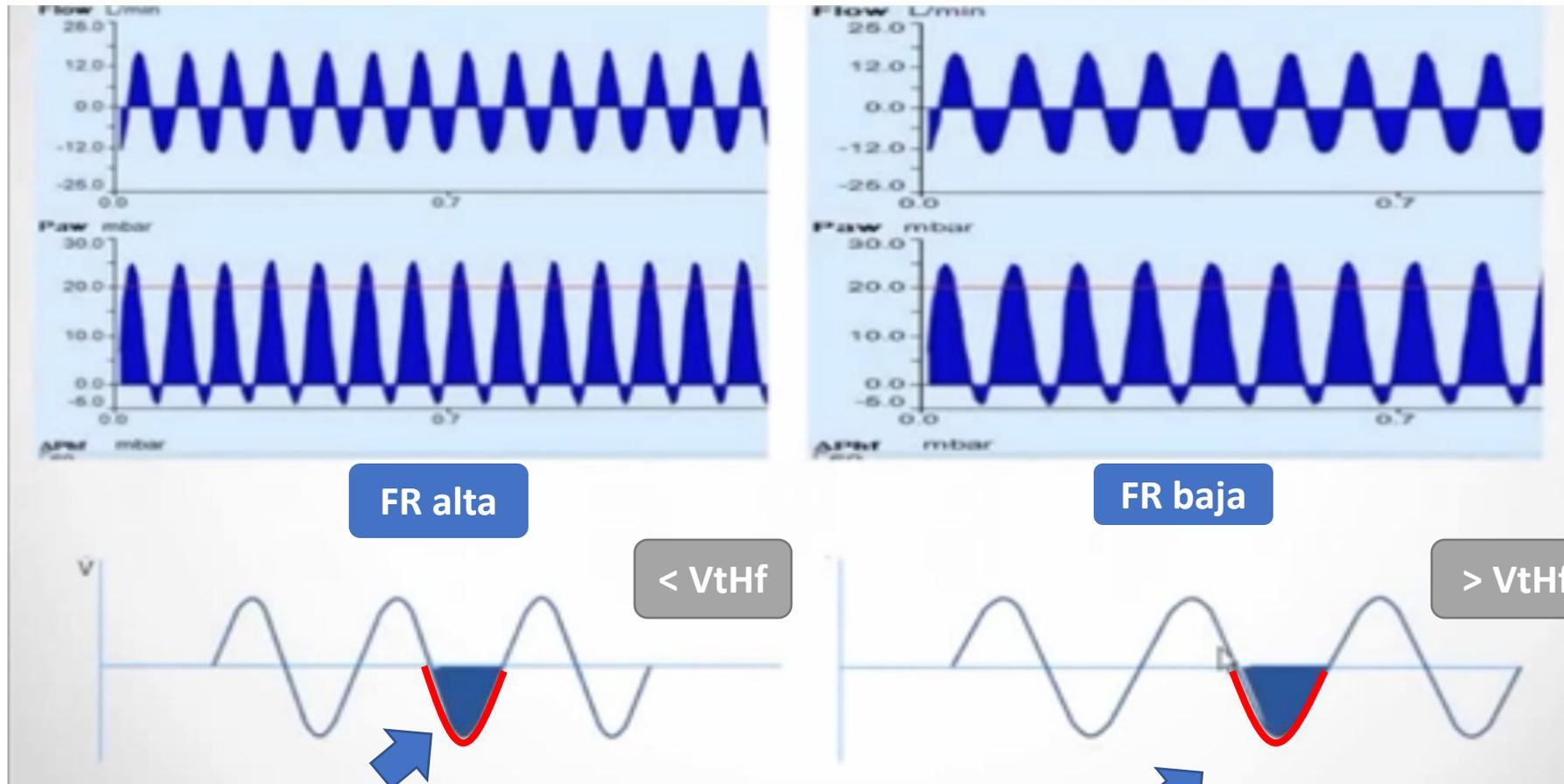


# Modificaciones del $V_{Thf}$ al cambiar la Frecuencia



Tiempo de transmisión de la presión

# Modificaciones del Volumen tidal de alta frecuencia /curvas



# Ajustes en la VAF

↑ Oxigenación

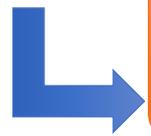
↑ Ventilación

Votación Nº 1

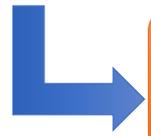
Aumento de eliminación de PCO<sub>2</sub>

Votación Nº 2

Votación Nº 3



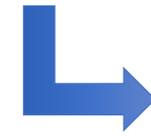
↑ PMVA



↑ FiO<sub>2</sub>



↑ VThf



↑ Amplitud



↓ Frecuencia



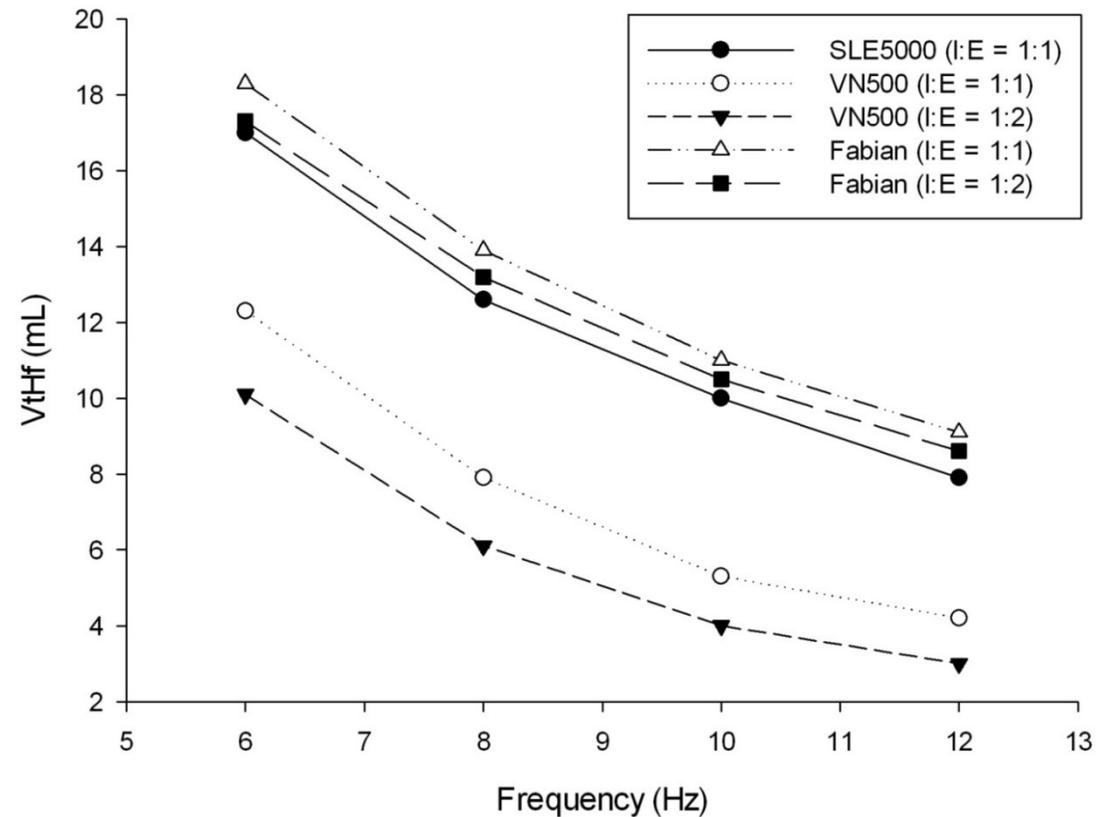
Modificando I:E  
(I:E 1:2 → 1:1)

PS-378

# IMPACT OF AMPLITUDE, FREQUENCY AND I:E RATIO ON TIDAL VOLUME IN HIGH FREQUENCY VENTILATION (VtHf) USING DIFFERENT HYBRID NEONATAL VENTILATORS

C Mendez, MB Milet, A Maturana. *Neonatology, Clinica Alemana, Santiago, Chile*

Amplitud  
80 cmH2O

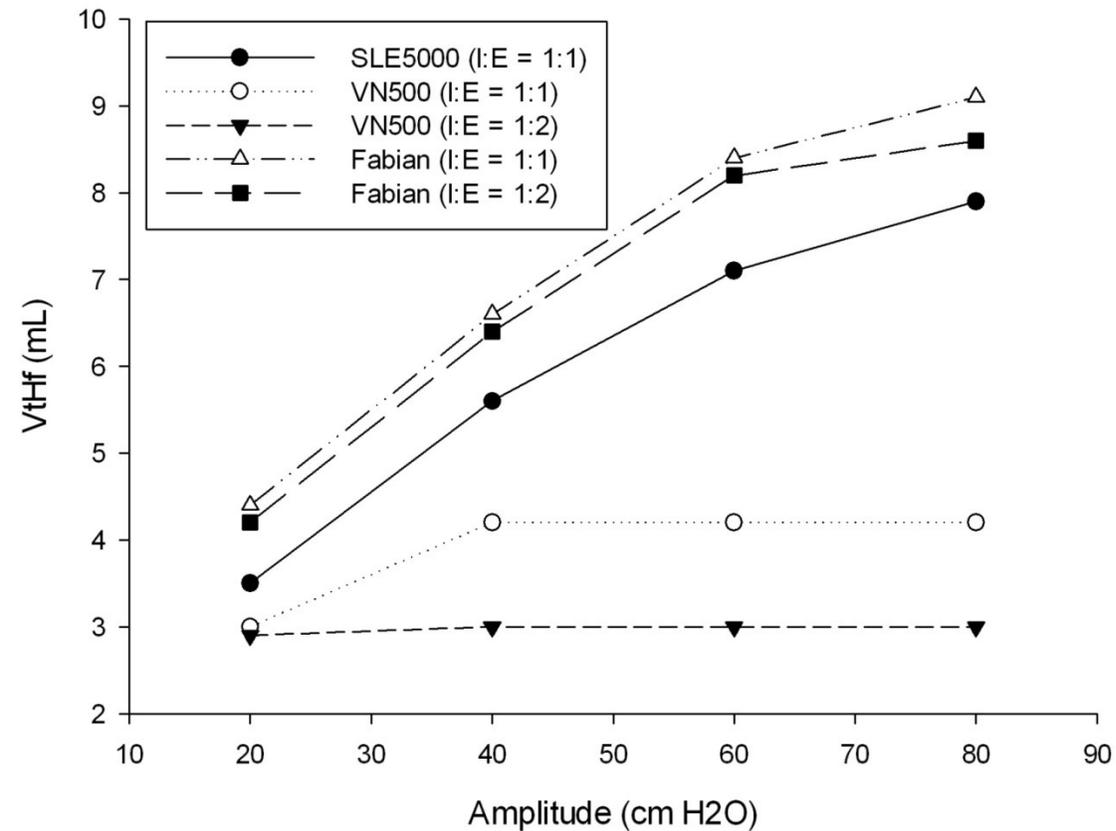


PS-378

# IMPACT OF AMPLITUDE, FREQUENCY AND I:E RATIO ON TIDAL VOLUME IN HIGH FREQUENCY VENTILATION (VtHf) USING DIFFERENT HYBRID NEONATAL VENTILATORS

C Mendez, MB Milet, A Maturana. *Neonatology, Clinica Alemana, Santiago, Chile*

FR 12 Hz

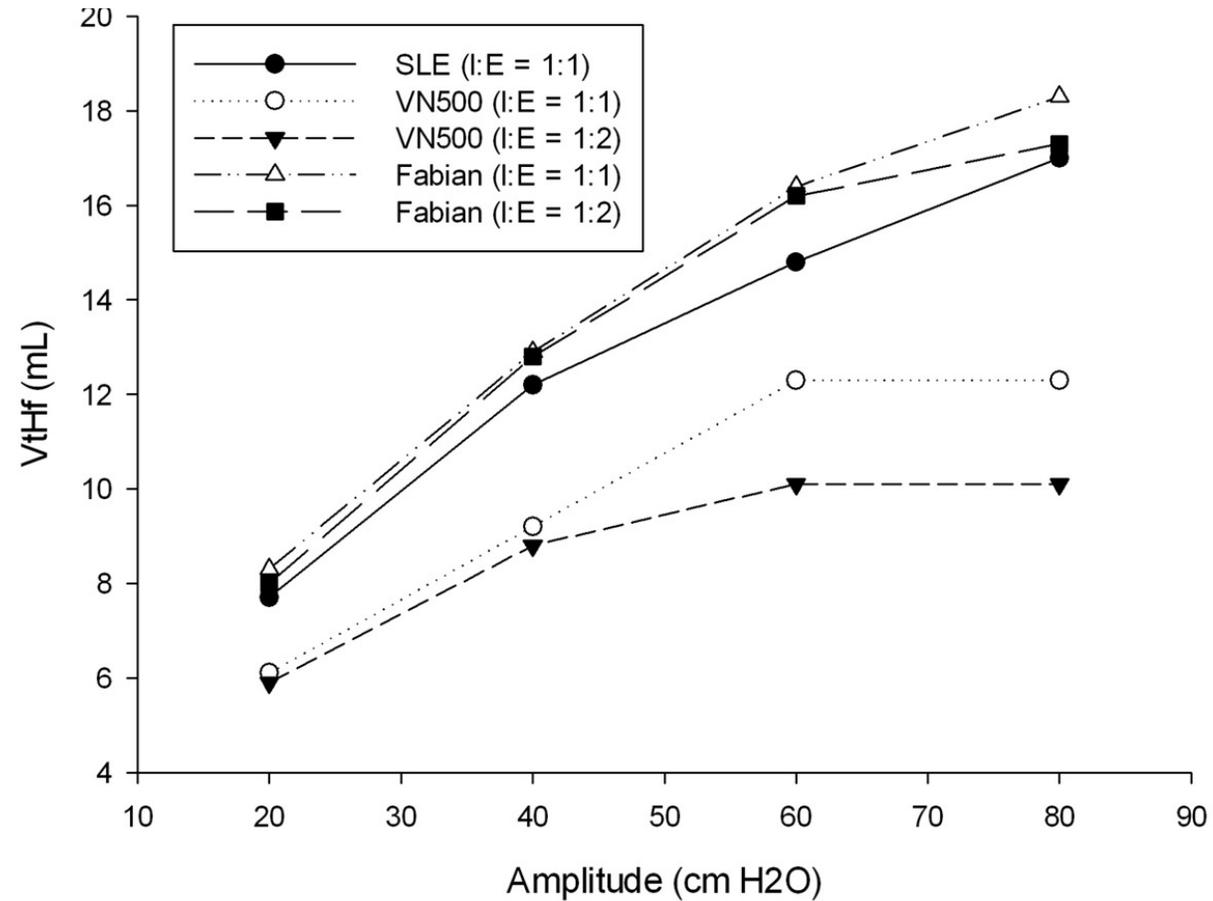


PS-378

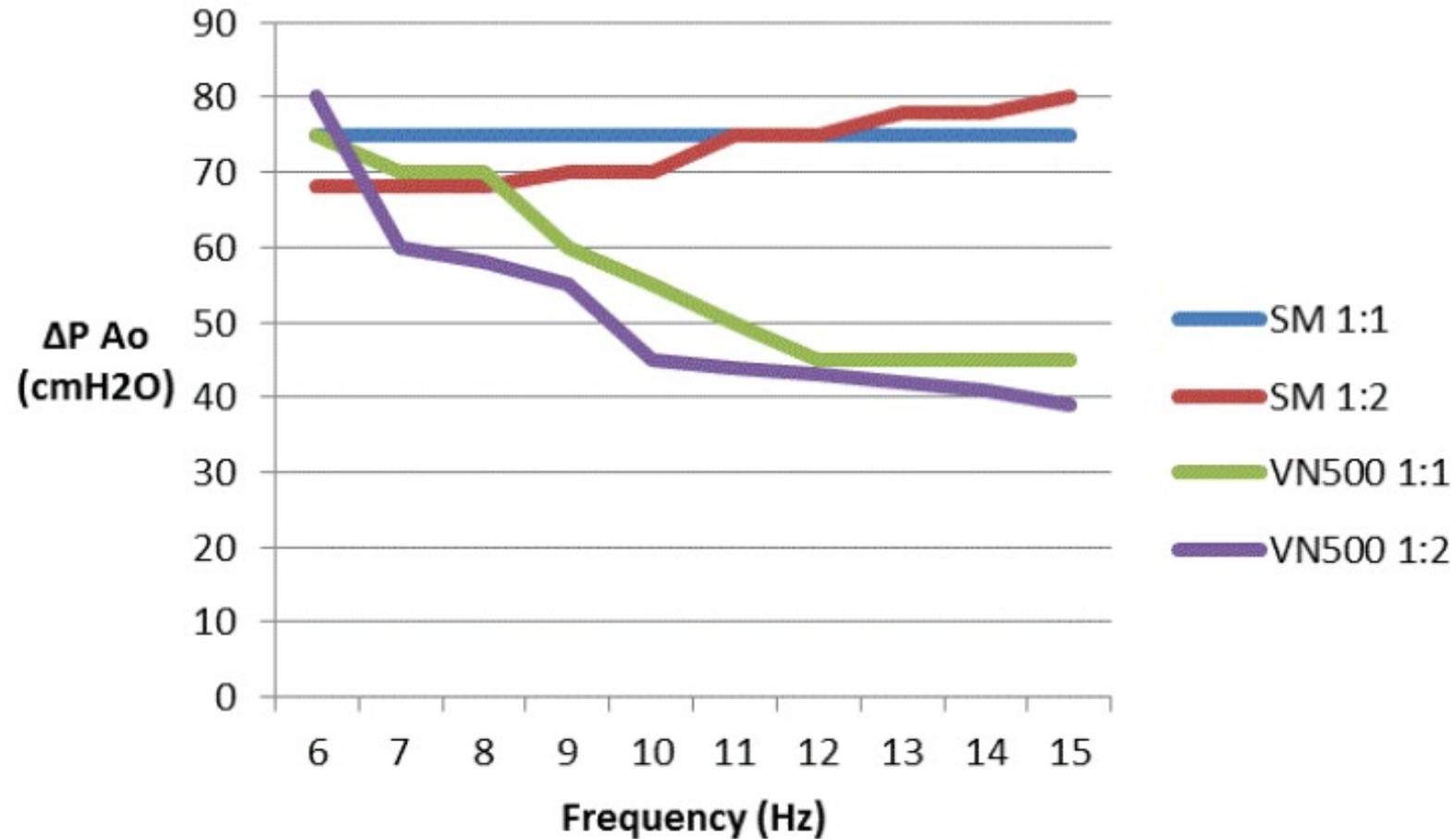
# IMPACT OF AMPLITUDE, FREQUENCY AND I:E RATIO ON TIDAL VOLUME IN HIGH FREQUENCY VENTILATION (VtHf) USING DIFFERENT HYBRID NEONATAL VENTILATORS

C Mendez, MB Milet, A Maturana. *Neonatology, Clinica Alemana, Santiago, Chile*

FR 6 Hz



# VN 500 vs Sensormedics



Adapted from John J. et al.

¿Qué valor  
de  $V_t$  Hf?



# Volume delivery during high frequency oscillation

*Table 1 Comparison of the infants' demographics, oscillatory settings and delivered volume according to oscillator type, data are median (range)*

	<i>SensorMedics (n=28)</i>	<i>SLE (n=17)</i>
Gestational age (weeks)	29 (24–33)	31 (27–37)
MAP (cmH <sub>2</sub> O)	12 (10–25)	11 (8–17)
Oscillatory amplitude (cmH <sub>2</sub> O)	24 (16–39)	33 (20–65)
OI	9.5 (3–21)	7 (4–15)
PaCO <sub>2</sub> (mm Hg)	39 (27–50)	45 (27–37)
PaO <sub>2</sub> (mm Hg)	61 (50–99)	63 (53–89)
Delivered volume (ml/kg)	2.2 (1.3–3.1)	2.6 (1.0–3.6)



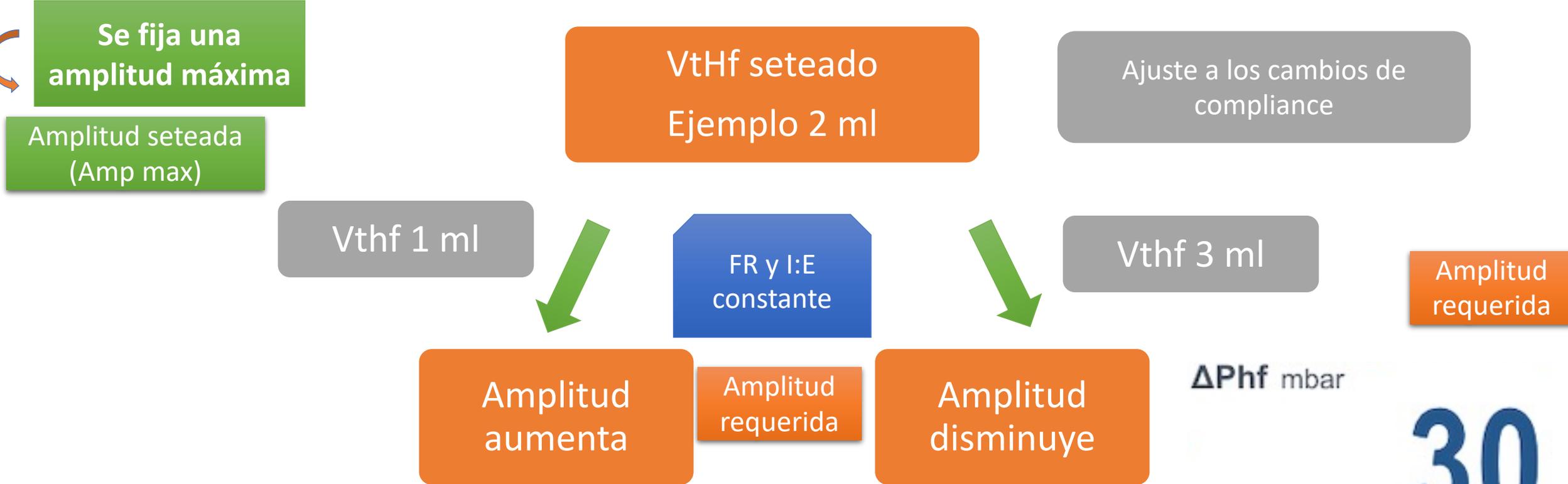
# Barrido de PCO<sub>2</sub> en VAFO

- V<sub>thf</sub> variable entre 1 a 3,5 ml/kg.
- Ajuste de volumen según la PCO<sub>2</sub> del paciente. (DCO<sub>2</sub> 40 a 60ml/kg)
- Evaluar el V<sub>Thf</sub> y DCO<sub>2</sub> del paciente

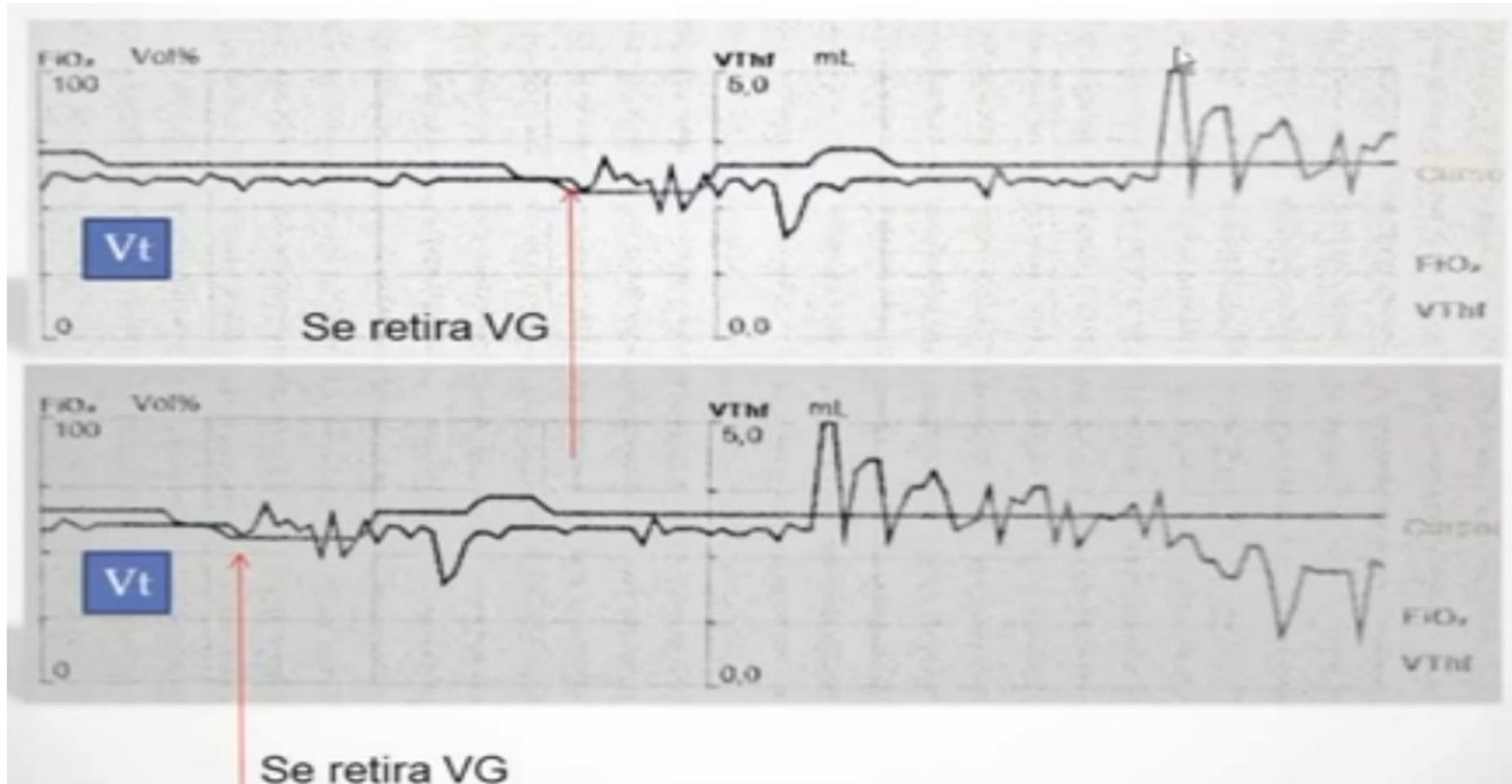
Volumen  
garantizado  
en alta  
frecuencia



# Volumen Garantizado en alta frecuencia

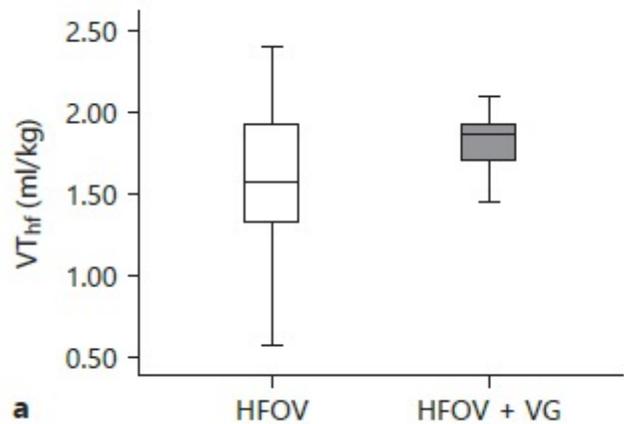


# VAF + VG

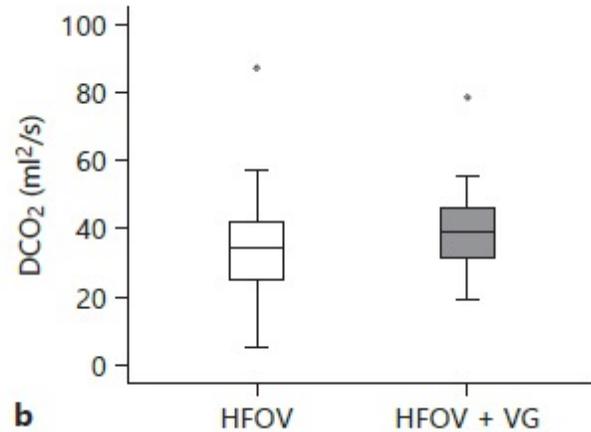


# Impact of Volume Guarantee on High-Frequency Oscillatory Ventilation in Preterm Infants: A Randomized Crossover Clinical Trial

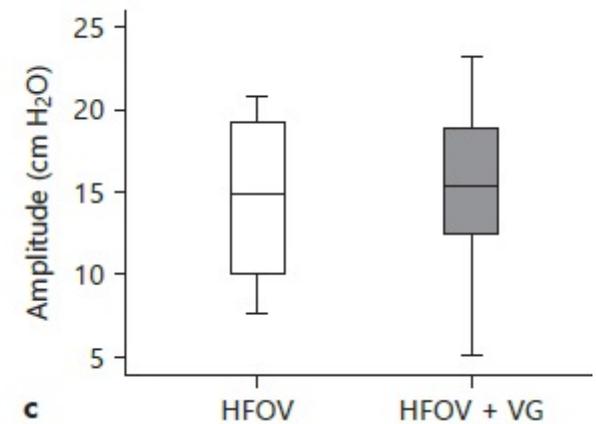
## Variabilidad del V<sub>T</sub>hf, DCO<sub>2</sub> y Amplitud



★  
p = 0.019

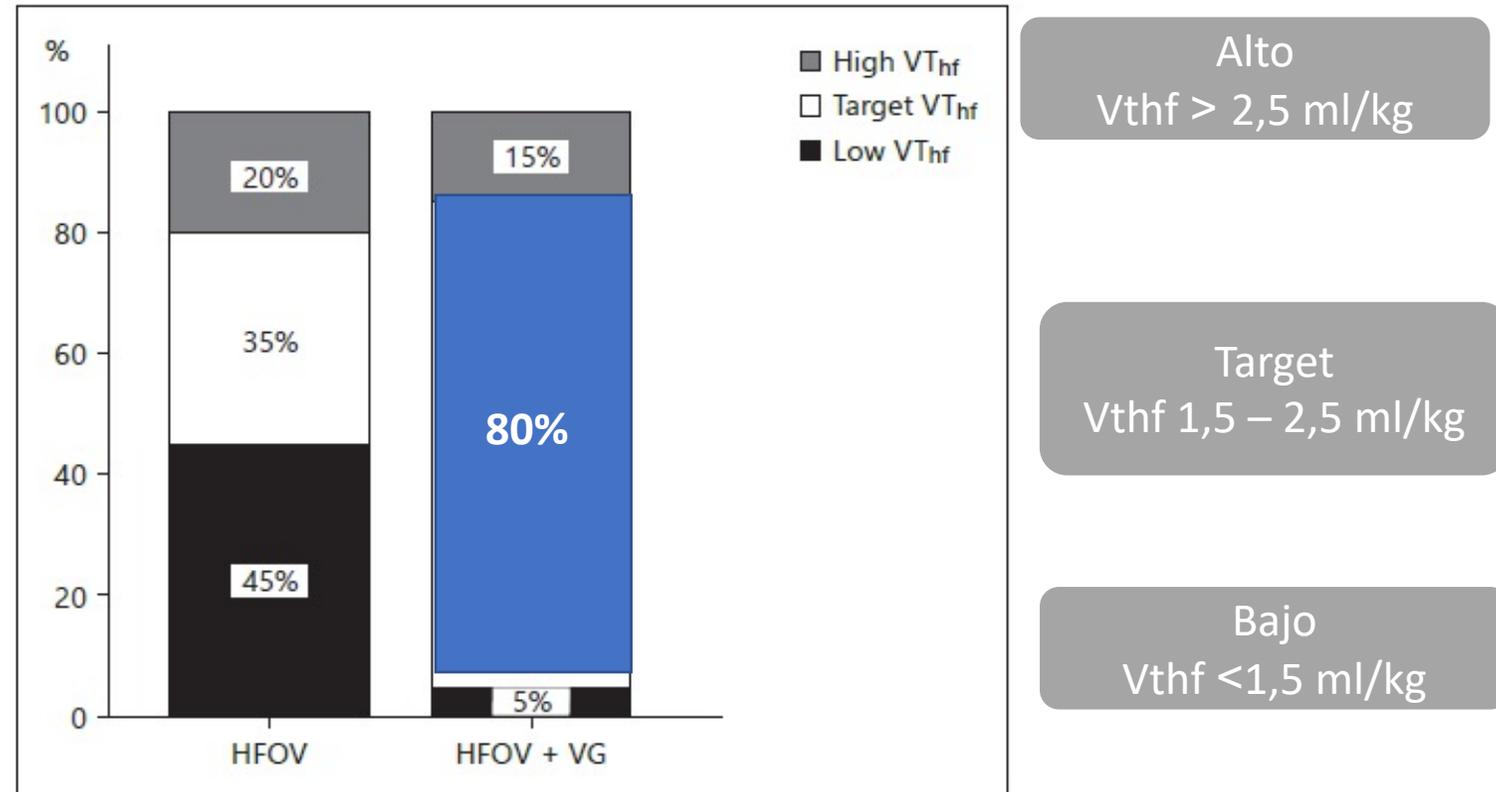


★  
p = 0.038



p = 0.218

# Incidencia de VT target con y sin VG



**Fig. 2.** Incidence of low, normal and high VT during each study period.

## Incidencia de hipercarbia y hipocarbia

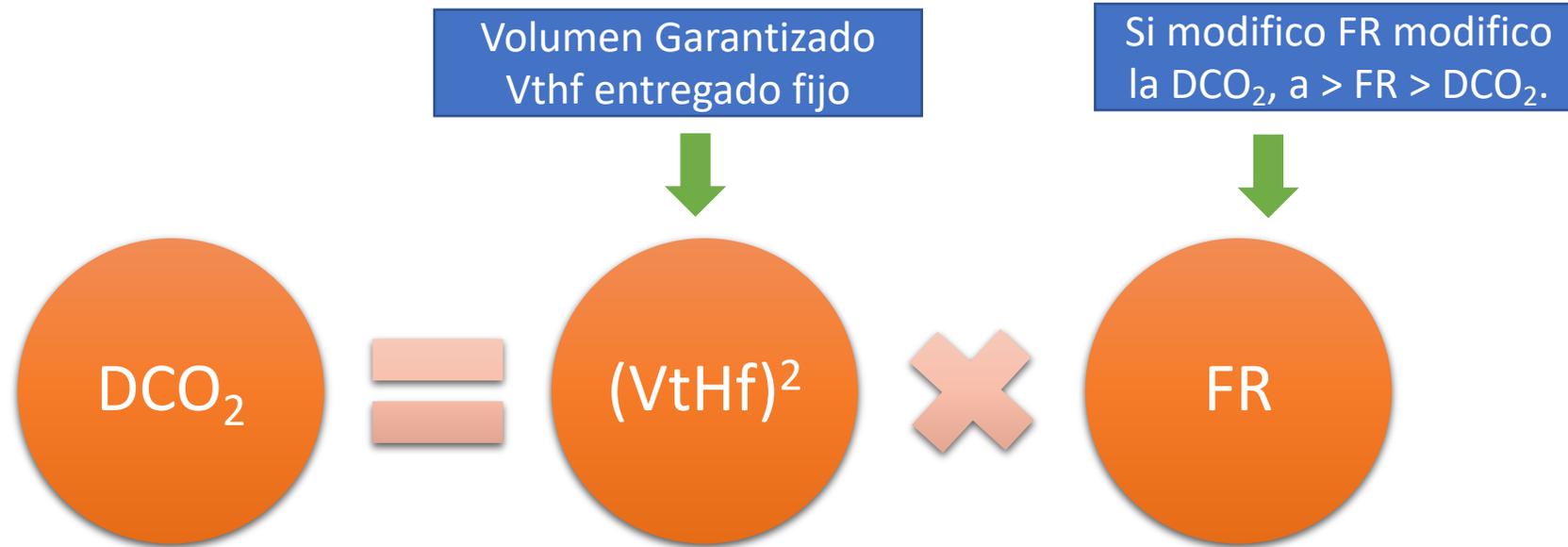
PCO <sub>2</sub> , mm Hg (kPa)	HFOV (n = 41) <sup>a</sup>	HFOV+VG (n = 40) <sup>a</sup>	p <sup>b</sup>
37.5–52.5 (5–7)	21	30	0.04**
≤37.5 (≤5)	7	4	0.01**
≥52.5 (≥7)	13	6	0.014**

<sup>a</sup> Number of blood samples in each period. <sup>b</sup>  $\chi^2$  test for dependent groups (McNemar's test). \*\* p < 0.05.

# Evidencia de VAF + VG

- Mantiene el Vthf más estable
- Mantiene la PCO2 más constante
- Menos incidencia de hipo o hipercapnea.
- Menos fluctuaciones en la saturación (menos episodios de desaturación bajo 80%)

# Consideraciones de VAFO + VG en prematuros menores de 32 semanas.



A mayor DCO<sub>2</sub> mayor barrido de PCO<sub>2</sub> (baja PCO<sub>2</sub>)

Al aumentar la FR en modalidad VAFO+ VG, aumento la DCO<sub>2</sub>, permite bajar Vthf para mantener la misma DCO<sub>2</sub>, podría ser una estrategia de protección pulmonar (uso de Vthf menores)

# Effect of high-frequency oscillatory ventilation combined with volume guarantee on preterm infants with hypoxic respiratory failure

**Table 1**

**Characteristics of the study patients**

	HFOV alone (n = 34)	HFOV with VG (n = 18)	<i>p</i>
Sex (male/female) <sup>a</sup>	21/13	10/8	0.769
Birth weight, g	1113.1 ± 639.6	1319.5 ± 776.5	0.309
Gestational age, weeks	27.7 ± 4.1	29.7 ± 4.6	0.115
Age at initial HFOV therapy, days	7.15 ± 7.83	6.17 ± 6.21	0.648
No. of patients receiving iNO therapy, % <sup>a</sup>	16 (47.1%)	9(50%)	1.0
Maximal iNO concentration, ppm	13.6 ± 5.7	14.6 ± 6.7	0.716
Duration of iNO therapy, days	4.9 ± 2.1	5.7 ± 1.1	0.306
Underlying diseases	RDS: 29 patients Pneumonia: 3 patients IdiopathicPPHN: 2 patients	RDS: 13 patients Pneumonia: 4 patients IdiopathicPPHN: 1 patient	

HFOV = high-frequency oscillatory ventilation; iNO = inhaled nitric oxide; No = number; PPHN = persistent pulmonary hypertension of the newborn; RDS = respiratory distress syndrome; VG = volume guarantee.

<sup>a</sup>Fisher's exact test.

# Effect of high-frequency oscillatory ventilation combined with volume guarantee on preterm infants with hypoxic respiratory failure

**Table 2**

**Outcomes of the study infants**

Outcome	HFOV alone (n = 34)	HFOV with VG (n = 18)	p
Duration of ventilation, days	9.7 ±9.3	7.0±2.9	0.230
No. of hypoxemia, % <sup>a</sup>	25 (73.5%)	9 (50%)	0.127
Any episode of hypocarbia	61	16	0.075
Any episode of hypercarbia	129	18	0.010
Death, % <sup>a</sup>	12 (35.3%)	2 (11.1%)	0.10
BPD, % <sup>a</sup>	12 (35.3%)	4 (22.2%)	0.529
IVH grade 2-4, % <sup>a</sup>	16 (47.1%)	5 (27.8%)	0.239
Sepsis, % <sup>a</sup>	9 (26.5%)	4 (22.2%)	1.0
Air leak syndrome <sup>a</sup>	5 (14.7%)	1 (5.6%)	0.651
BPD or death <sup>a</sup>	24 (70.6%)	6 (33.3%)	0.017

BPD = bronchopulmonary dysplasia; HFOV = high-frequency oscillatory ventilation; iNO = inhaled nitric oxide; IVH = intraventricular hemorrhage; No = number; VG = volume guarantee.

<sup>a</sup>Fisher's exact test.

VAFO + VG

Reducción de episodios de hipercapnea y del outcome combinado Muerte/DBP

# Volume Guarantee High-Frequency Oscillatory Ventilation in Preterm Infants With RDS: Tidal volume and DCO<sub>2</sub> Levels for Optimal Ventilation Using Open-Lung Strategies

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fped.2020.00105/full>

**TABLE 1 |** Patient characteristics.

Characteristic	<i>n</i> = 53
Gestational age (wk), mean ± SD	26.9 ± 2.4
Birth weight (g), mean ± SD	882 ± 286
Antenatal steroid, <i>n</i> (%)	30 (56.6)
Cesarean section <i>n</i> (%)	41 (77.4)
Male gender, <i>n</i> (%)	30 (56.6)
5' Apgar score, median (25–75 p)*	7 (5–8)
Intubation time (hour), median (25–75 p)	1 (1–1.5)
HFOV start time (hour), median (25–75 p)	8 (2–16)
Surfactant doses, median (25–75 p)	2 (1–3)
HFO duration (hour), (25–75 p)	49 (25–60)

\*Median (25–75 percentile)

No es factible recomendar un valor de Vthf target  
Se debe adecuar a cada paciente según PCO<sub>2</sub>.

**TABLE 2 |** Ventilatory parameters corresponding to three pCO<sub>2</sub> categories\*.

Parameter	Hypocarbica <i>n</i> = 53	Normocarbica <i>n</i> = 178	Hypercarbica <i>n</i> = 42	<i>p</i>
Vt hf (mL/kg)*	A FR más altas < Vthf/kg para lograr normocapnea			
f 10Hz	1.70 ± 0.24	1.65 ± 0.25 <sup>#</sup>	1.68 ± 0.22	0.50
f 12Hz	1.64 ± 0.27	1.50 ± 0.24 <sup>#</sup>	1.60 ± 0.20	0.09
Amplitude (mbar)**				
f 10Hz	15 (13–20)	17 (14–20)	18.7 (15–25)	0.119
f 12Hz	15 (12–20)	16 (12–18)	15 (10.5–16)	0.823
DCO <sub>2</sub> ml <sup>2</sup> /s*				
f 10Hz	26.1 ± 17.2	27.2 ± 17.3	29.7 ± 14.4	0.724
f 12Hz	16.1 ± 6.6	21.06 ± 13.5	32.1 ± 17.6	0.085
DCO <sub>2corr</sub> [mL/kg] <sup>2</sup> /s*				
f 10Hz	31.0 ± 8.2	29.4 ± 8.0	29.3 ± 6.3	0.599
f 12Hz	32.9 ± 9.4	30.1 ± 7.4	35.4 ± 5.8	0.085
MAPhf (mbar)**				
f 10Hz	10 (9–10)	10 (10–12)	10.5 (9.6–12)	<0.001
f 12Hz	9 (8–10)	10 (8–11)	10.5 (9.6–12)	0.117
FiO <sub>2</sub> *				
f 10Hz	31.5 ± 21.2	29.6 ± 11.0	32.4 ± 15.4	0.561
f 12Hz	36.0 ± 17.5	30.2 ± 9.8	34.0 ± 8.0	0.113

\*Mean ± SD.

\*\*Median (25–75 percentile).

<sup>#</sup>Significant difference between two means *p* < 0.001.

# Alarma de Vthf no alcanza

¿ Que significa?

Votación Nº 4



# Alarma de Vthf no alcanza

¿ Que hacer?



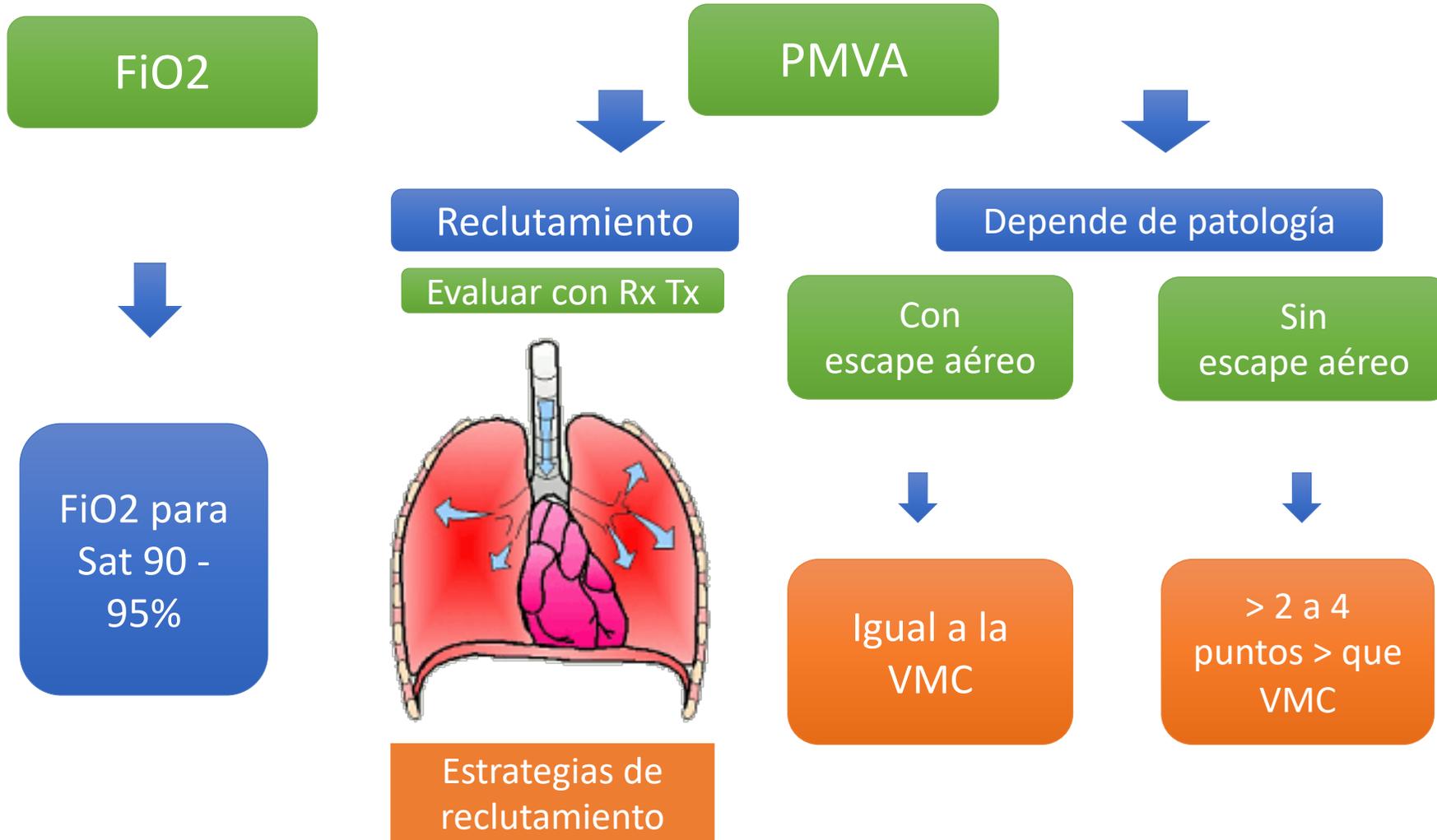
Aspirar secreciones

Si persiste avisar, otras complicaciones (neumotórax)

# Amplitud requerida en VAFO + VG

- Debe ser monitorizada la amplitud requerida.
- Puede no lograrse la amplitud seteada (**en algunos ventiladores puede ser necesario bajar la FR para lograr la amplitud seteada y por ende el VThf**), incluso modificar la relación I:E de **1:2 a 1:1**.
- La amplitud máxima no es suficiente para lograr el VG y requiera ser aumentada.
- Evaluar si la amplitud requerida es mantenidamente bajo 20 cmH<sub>2</sub>O.

# Programación VAF Oxigenación



# Parámetros en VAF Ventilación

Amplitud



Evaluar  
clínicamente la  
vibración hasta  
tercio medio del  
abdomen

Frecuencia



FR inicial según  
Peso (10 - 12Hz)

Relación I:E



Inicial I:E 1:2

Cambiar a I:E 1:1 sino se  
logra el Vthf deseado  
(VN 500/600/800)

Objetivo: Lograr Vthf 1,5 a 2 ml/kg y evaluar aumento o disminución según PCO<sub>2</sub>

La programación depende de cada ventilador

# Recomendaciones generales en VAF

- Sedación según necesidad, evitar paralizantes.
- Monitorización



## Monitorización durante VAF

- Monitorización de saturación pre y/o posductal
- Medición presión arterial invasiva
  - Evaluando compromiso hemodinámico
- Control Rx y gases post conexión
- Monitorización transcutáneo de PCO2
- NIRS cerebral

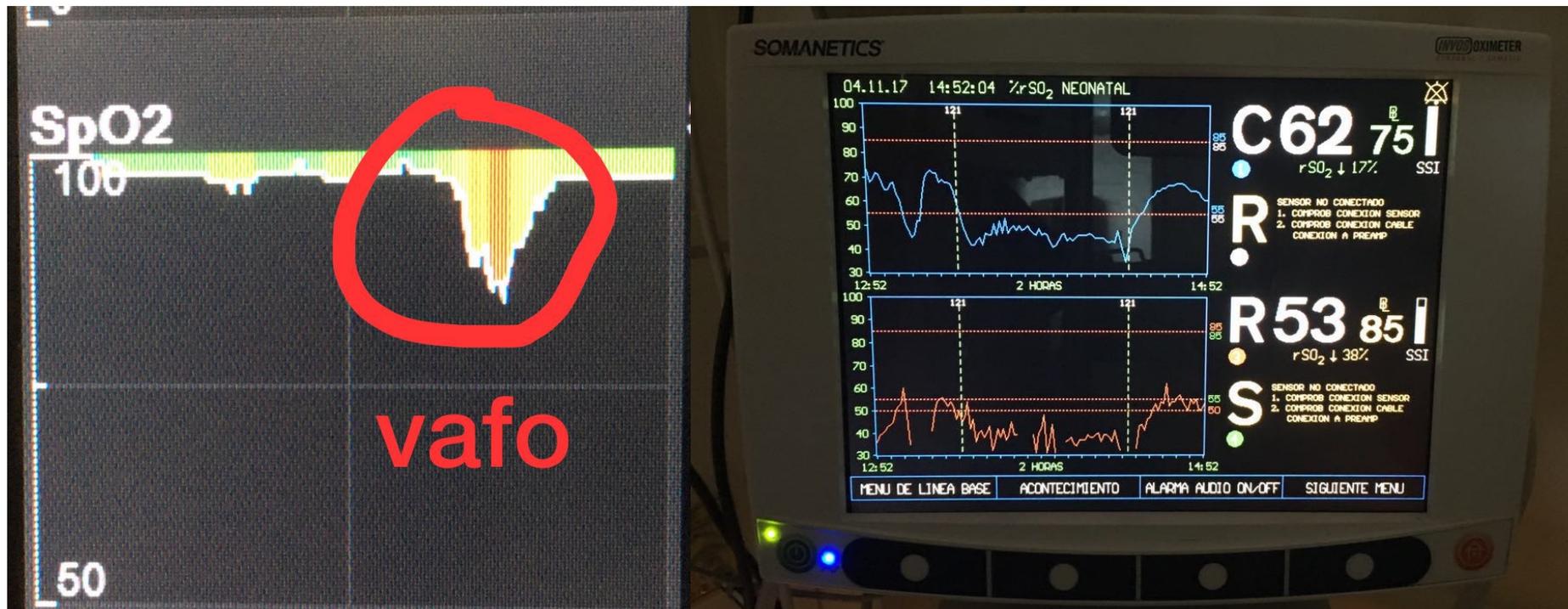


EEGa

PCO2 Tc



# NIRS cerebral / Oxímetro de pulso



Gentileza Dr. Nachar

# Recomendaciones generales en VAF

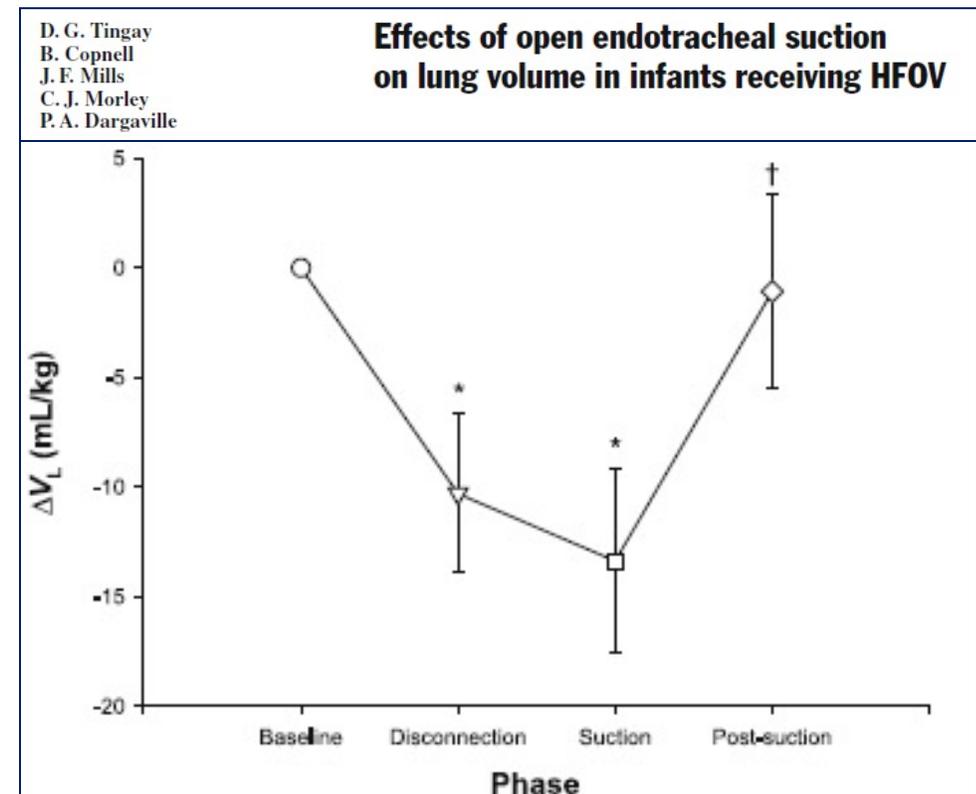
- Registro de parámetros ventilatorios
  - PMVA
  - FIO<sub>2</sub>
  - FR
  - Amplitud seteada y entregada
  
- V<sub>thf</sub>
- DCO<sub>2</sub>



En caso de disminución evaluar necesidad de aspirar secreciones

# Aspiración de secreciones en VAF

- Solo en caso necesario:
  - Disminución de la vibración del Tórax.
  - Disminución del  $V_{thf}$  o  $DCO_2$  entregado.
  - Secreciones visibles o audibles.
- Aumentar PMVA transitoriamente posterior a aspirar secreciones para volver a reclutar.



# Programación de parámetros ventilatorios en la VAFO con o sin VG.



# Programación VAFO

Ventiladores CON opción de Volumen Garantizado

Ventiladores SIN opción de Volumen Garantizado



tos con HFO  
a Frecuencia)

SLE5000

# Programación de VAFO sin VG

## Manejo de pacientes en VAFO

PMVA

Se fija según la PMVA de la VM convencional (>, < o =)

FR

Es mayor a menor EG (FR 10 a 13 Hz)

$\Delta P$

Vibración hasta tercio medio de abdomen

En ventiladores híbridos evaluar el Vthf que esta movilizandoo (1,5 a 2ml/kg)

Rel I:E

Relación I:E 1:2

Rx Tx

Control de Rx de tórax para evaluar reclutamiento (8 - 9 EIC)

Gases

A los 30 a 60 min de iniciada la VAF

FiO<sub>2</sub>

Para saturación entre 90 - 95% ( la < posible)

Ideal uso PCO<sub>2</sub> Tc

Monitorización: NIRS, EEGa, PA invasiva

# Programación de VAFO con VG

## Manejo de pacientes en VAFO

PMVA

Se fija según la PMVA de la VM convencional

FR

Es mayor a menor EG

$\Delta P$

Vibración hasta tercio medio de abdomen

Evaluar el Vthf que esta movilizando (1,5 a 2ml/kg)

Rel I:E

Relación I:E 1:2

Rx Tx

Control de Rx de tórax para evaluar reclutamiento (8 - 9 EIC)

Gases

A los 30 a 60 min de iniciada la VAF

Programar VG según GSA

FiO<sub>2</sub>

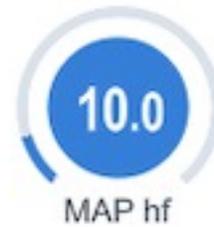
Para saturación entre 90 - 95% ( la < posible)

Ideal uso PCO<sub>2</sub> Tc

Monitorización: NIRS, EEGa, PA invasiva

# Votación nº 5

¿Cómo programo la PMVA de la VAFO?



# Weaning en VAF

- Oxigenación

- FiO<sub>2</sub>

- Lo que primero bajamos.

- PMVA

- Comienza disminución PMVA cuando FiO<sub>2</sub> es < 50%.
    - Disminución paulatina de 1 punto
    - PMVA RNT 9-10 → VMC
    - PMVA RNPT 8-9 → VMC

- Ventilación

- Volumen garantizado: Weaning es automático

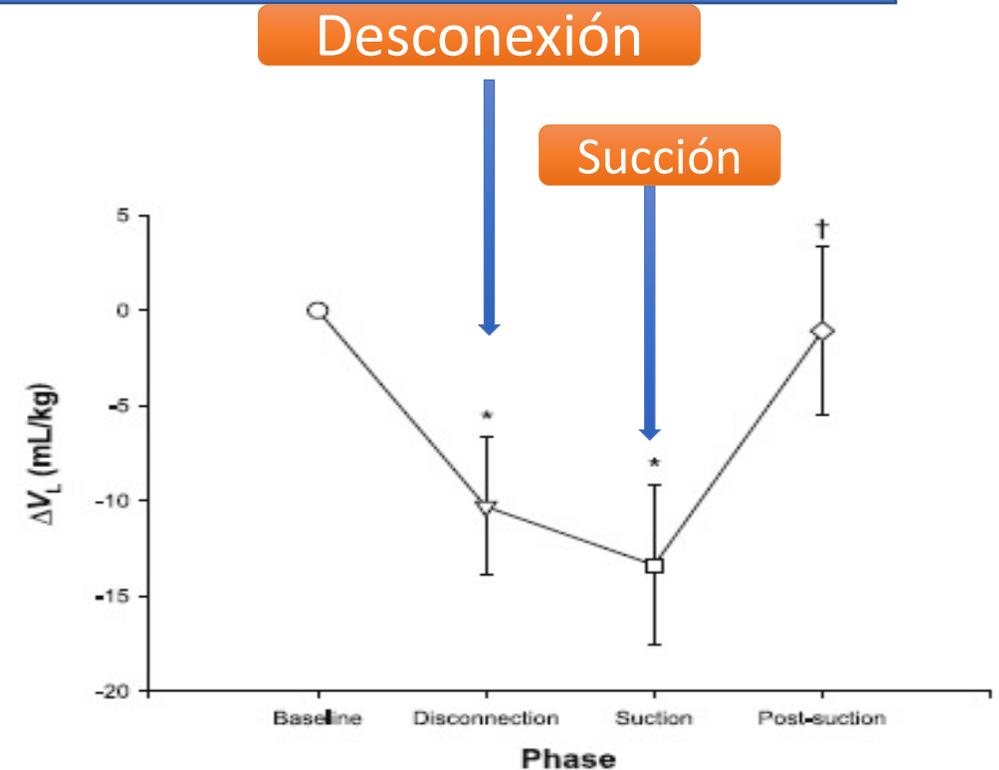
- Depende de el VG en VAF

- Valor habitual 1,5ml/kg – 2ml/kg

- Pacientes graves hasta 3- 3,5 ml/kg para logra VG, en eso pacientes lo ideal es bajar el VG al valor habitual

# Errores comunes en VAF

- Reclutamiento pulmonar inicial inadecuado.
- Desreclutamiento pulmonar por desconexión (accidental o programada para aspiraciones)
- Disminución prematura de PMVA antes de la recuperación de la estabilidad alveolar intrínseca.
- No disminuir la PMVA cuando se produce mejoría marcada en la oxigenación ( $FIO_2$  menor 50%)
- Disminución excesiva de la PMVA  $< 0 = a 7$  cmH<sub>2</sub>O



# Complicaciones potenciales en VAF

- Compromiso cardiovascular por aumento excesivo PMVA: disminución del retorno venoso → hipotensión
- Hiperinsuflación pulmonar → escape aéreo
- Atelectasias (PMVA insuficiente)
- HIC/LPV con hiper – hipocapnea
- Daño traqueal (humidificación inadecuada)

# En resumen

- La VAF es una estrategia de rescate o de elección en algunas patologías
- No olvidar control de gases y Rx de tórax posterior a conexión
- Importancia de la monitorización durante la VAF
- Se debe conocer las características de los ventiladores neonatales híbridos y conocer sus limitaciones



GRACIAS



I ❤️  
ICU Babies

I ❤️  
ICU Babies

I ❤️  
ICU Babies



GRACIAS

I ❤️  
ICU Babies