



# Anestesia a bassi flussi e tecniche ausiliarie

Come ridurre al minimo lo spreco  
di agente anestetico inalato

# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b> .....	<b>5</b>
	Logica dell'anestesia a bassi flussi: economia ed ecologia .....	5
	Anestesia a flussi bassi (il tassello) e tecniche ausiliarie (il puzzle) .....	5
	Definizione dell'anestesia a bassi flussi .....	5
<b>2</b>	<b>Nozioni di base dell'anestesia a bassi flussi</b> .....	<b>6</b>
	$F_D - F_I - F_{ET}$ ( $O_2$ , agente volatile) .....	6
	La frazione di ri-respirazione (RBF) .....	8
	Il Volume Reflector (VR) .....	10
	Il Volume Reflector Indicator (VRI) .....	11
<b>3</b>	<b>Titolazione di agenti inalati</b> .....	<b>12</b>
	Selezione dell'agente .....	12
	Concentrazione di fine espirazione ( $F_{ET}$ ) vs fMAC .....	12
	0,7 fMAC [+/- rilassanti muscolari], età, interazioni farmacologiche .....	12
	Isteresi nel wash-in .....	13
	Wash-out alveolare rapido vs lento (coasting) .....	15
<b>4</b>	<b>Sostituzione degli assorbitori di <math>CO_2</math></b> .....	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>Il caso speciale di <math>N_2O</math></b> .....	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>Feedback personale</b> .....	<b>17</b>
<b>7</b>	<b>Riepilogo</b> .....	<b>18</b>
<b>8</b>	<b>Bibliografia</b> .....	<b>18</b>

## Abbreviazioni

<b>AA</b>	Agente anestetico
<b>F<sub>A</sub> o F<sub>ET</sub></b>	Frazione alveolare o frazione di fine espirazione, la concentrazione espirata dal paziente
<b>F<sub>D</sub></b>	Frazione erogata La concentrazione impostata sui flussometri (per O <sub>2</sub> ) o sul vaporizzatore
<b>FGF</b>	Flusso di gas fresco
<b>F<sub>I</sub></b>	Frazione inspirata La concentrazione inalata dal paziente
<b>fMAC</b>	Frazione della concentrazione alveolare minima
<b>MV</b>	Ventilazione minuto
<b>RBF</b>	Frazione di ri-respirazione
<b>VR</b>	Volume Reflector
<b>VR Indicator</b>	Indicatore del Volume Reflector



# Introduzione all'

# Anestesia a bassi flussi

Il presente manuale fornisce linee guida cliniche per ridurre lo spreco di anestetici in un modo che si integri perfettamente nel flusso di lavoro clinico con i dispositivi della famiglia Flow.

## 1. Introduzione

### Logica dell'anestesia a bassi flussi: economia ed ecologia

Gli anestetici inalati forniscono condizioni anestetiche sicure e affidabili. Come tutti i farmaci che usiamo, hanno un costo, sia finanziario che ambientale. Gli anestetici inalati sono gas a effetto serra, quindi la buona pratica clinica richiede di ridurre al minimo il loro spreco, uno dei molti motivi per praticare l'anestesia a bassi flussi. La riduzione dei FGF ricicla letteralmente l'anestetico inalato somministrato. Il consumo medio di ossigeno di un adulto è di 180 mL/min<sup>1</sup>. Con un FGF di 180 mL/min di ossigeno, la quantità minima di sevoflurano necessaria per mantenere l'anestesia (= anestesia a circuito chiuso) per 1 ora a una concentrazione di fine espirazione del 2% è solo 7 mL di sevoflurano liquido<sup>2</sup>. Nella pratica clinica, spesso si nota l'uso di FGF ben superiori a 1 L/min.

### Anestesia a bassi flussi (il tassello) e tecniche ausiliarie (il puzzle)

Sebbene l'anestesia a bassi flussi sia la base per ridurre lo spreco di anestetici inalati, le tecniche ausiliarie contribuiscono a ridurre ulteriormente gli sprechi. Queste tecniche costituiscono le parti di un puzzle che, se tutti i pezzi combaciano alla perfezione, ottiene una riduzione dell'agente inalato fino a pochi millilitri di sevoflurano liquido all'ora.

### Queste includono:

- Wash-in lento (guidato da MAC Brain, EEG elaborato e visualizzazione del wash-in proiettato)
- Titolazione 0,7 - 0,8 fMAC durante il mantenimento (sfruttando l'effetto sinergico degli oppioidi)
- Coasting verso la fine della procedura (guidata da MAC Brain, EEG elaborato e visualizzazione del wash-out proiettato)

### Definizione dell'anestesia a bassi flussi

Anestesia a circuito chiuso, flusso minimo, bassi flussi e alti flussi sono tutti termini utilizzati per fare riferimento ai flussi di gas fresco utilizzati all'interno dello spettro FGF. Tuttavia, preferiamo evitare questi termini e fare semplicemente riferimento al FGF specifico che si sta utilizzando. Per i clinici, è più importante padroneggiare gli strumenti e la tecnologia che consentono loro di lavorare con il FGF più basso con cui si sentono a proprio agio. Questo concetto è stato definito "anestesia a bassi flussi", ovvero utilizzare un FGF inferiore a quello attualmente in uso (Samsun Lamptang, University of Florida, FL, USA). È opportuno anche fare riferimento a FGF specifici anziché a termini più vaghi e fuorvianti citati in precedenza, perché ciò che costituisce un FGF elevato per un neonato potrebbe non essere un FGF elevato per un paziente adulto. Nel testo utilizzeremo il termine "anestesia a bassi flussi" per fare riferimento in modo generico all'uso di un FGF inferiore a 1 L/min.



# Anestesia a bassi flussi

## 2. Nozioni di base dell'anestesia a bassi flussi

### $F_D - F_I - F_{ET}$ ( $O_2$ , agente volatile)

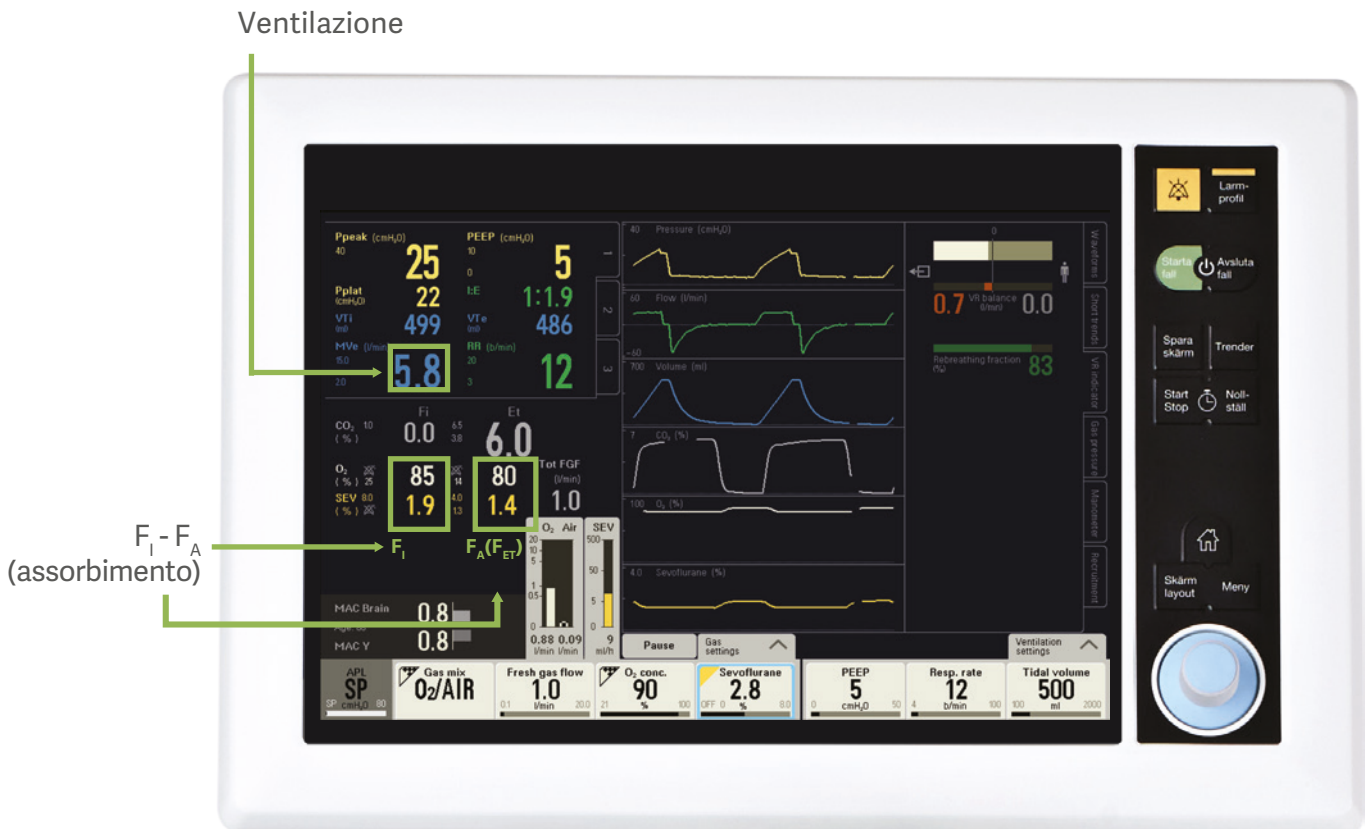
La chiave per comprendere l'anestesia a bassi flussi è capire il significato della differenza tra la concentrazione (o frazione) erogata ( $F_D$ ), inspirata ( $F_I$ ) e di fine espirazione ( $F_{ET}$ ) dell'agente anestetico inalato (rispettivamente  $F_{DAA}$ ,  $F_{IAA}$  e  $F_{ETA}$ ).

La concentrazione erogata è quella impostata sul vaporizzatore. Si noti che i principi qui descritti per l'agente anestetico si applicano anche all' $O_2$  (rispettivamente  $F_{DO_2}$ ,  $F_{IO_2}$  e  $F_{ETO_2}$ ). Per  $O_2$ ,  $F_{DO_2}$  si riferisce alla concentrazione di  $O_2$  erogata sui flussometri del gas vettore o sul miscelatore di gas automatizzato.



La differenza tra la concentrazione inspirata e la concentrazione di fine espirazione ( $F_{I,AA} - F_{E,AA}$ ) è causata dall'assorbimento da parte del paziente. Poiché l'assorbimento diminuisce nel tempo, questa differenza diminuirà nel tempo. Per l' $O_2$  questa differenza è più o meno costante perché il consumo di  $O_2$  è più stabile.

La differenza tra la concentrazione erogata e quella inspirata, ( $F_{D,AA} - F_{I,AA}$ ) o ( $F_{D,O_2} - F_{I,O_2}$ ), dipende dalla frazione di ri-respirazione (vedere l'argomento successivo).



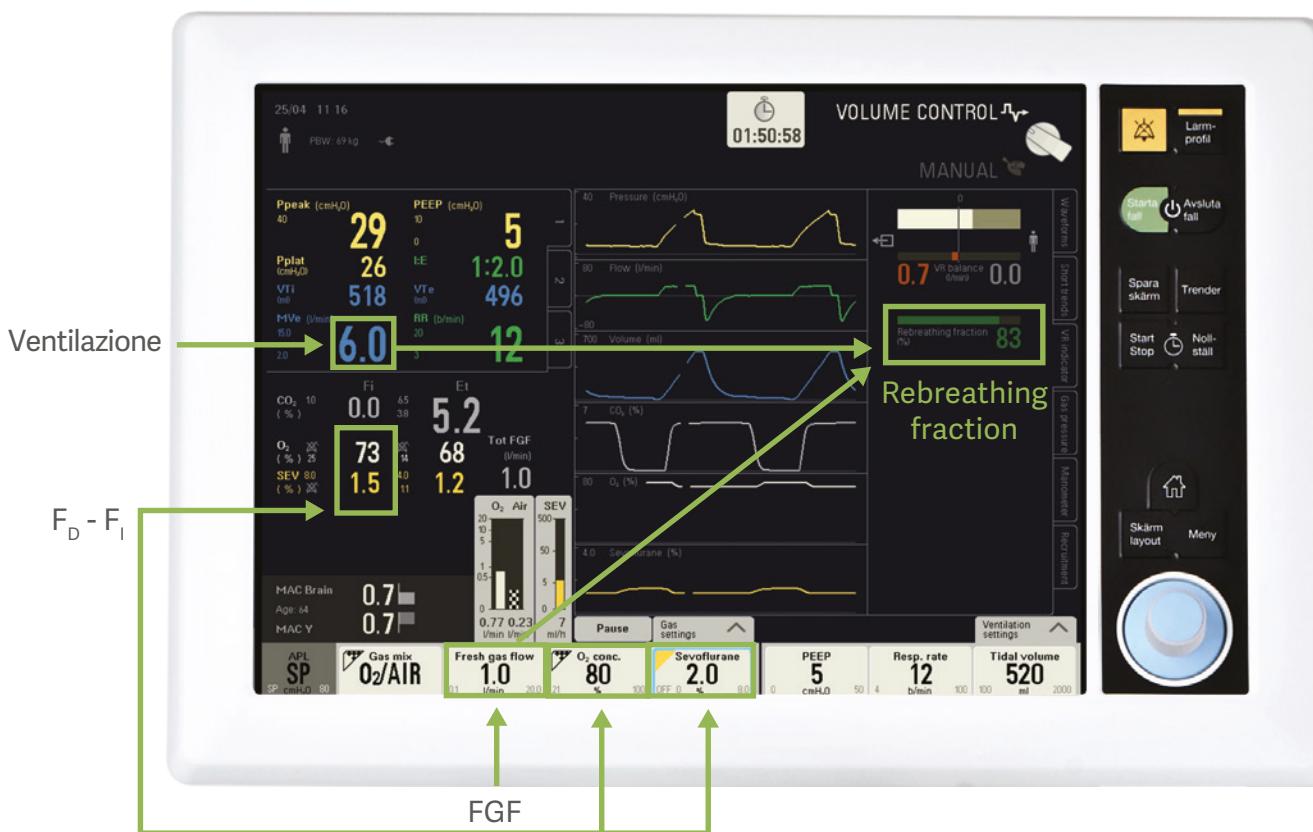


# Anestesia a bassi flussi

## La frazione di ri-respirazione (RBF)

Per mantenere la normocapnia, è necessaria una ventilazione di alcuni minuti. Finché il FGF (ovvero il flusso combinato di  $O_2$  e aria selezionato, definito anche "gas vettore") è superiore alla ventilazione minuto, i polmoni saranno riempiti solo con gas fresco. Ad esempio, se la ventilazione minuto è 6 L/min e il flusso di gas fresco totale di  $O_2$  e aria è 6 L/min o superiore, la composizione della miscela inspirata corrisponderà a quella erogata e la differenza tra la concentrazione erogata e quella inspirata,  $(F_{DAA} - F_{IAA})$  or  $(F_{DO_2} - F_{IO_2})$ , sarà pari a zero. Tuttavia, una volta che il flusso di gas fresco viene ridotto al di sotto della ventilazione minuto, il gas precedentemente espirato compenserà il deficit per garantire una ventilazione adeguata: si verifica la ri-respirazione.

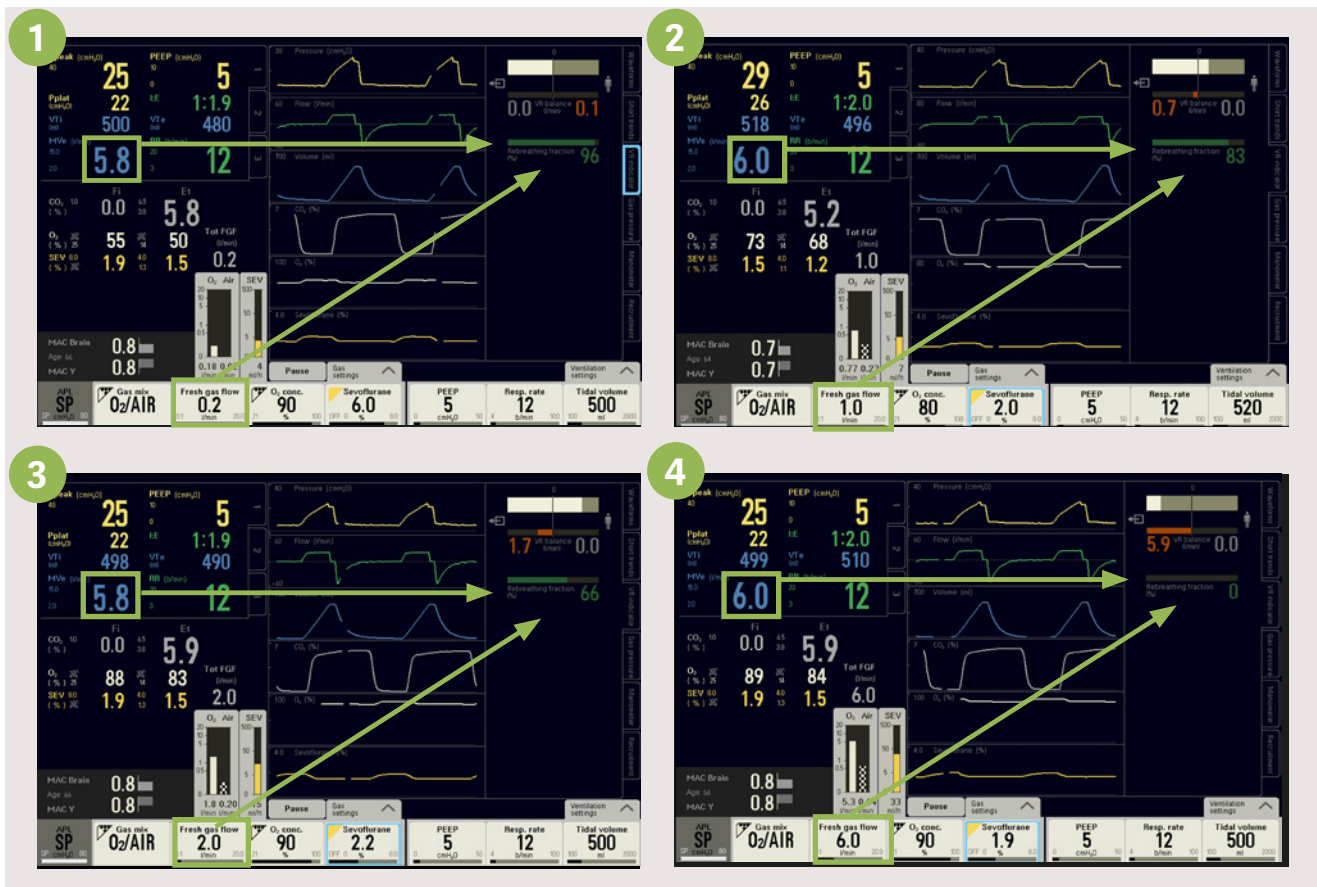
Ad esempio, con un FGF di 1 L/min e una ventilazione minuto di 6 L/min, il gas fresco è inferiore di 5 L/min rispetto alla ventilazione minuto di 6 L/min, quindi sarà necessario ri-respirare 5 L/min di gas espirato. Poiché questi 5 L costituiscono 5/6 o 83% della ventilazione minuto richiesta di 6 L/min, la RBF è dell'83%:  $100 * (1 - [1 \text{ L/min FGF} / 6 \text{ L/min ventilazione minuto}])$ . Ciò ha conseguenze perché la concentrazione di sevoflurano nel gas espirato è inferiore a quella nel gas inspirato a causa dell'assorbimento da parte del paziente. La concentrazione di sevoflurano inspirato diventerà inferiore alla concentrazione erogata (effetto di diluizione), con conseguente aumento della differenza tra la concentrazione erogata e quella inspirata.



L'immagine sottostante mostra la variazione di RBF con FGF diversi. La ventilazione minuto è di circa 6 L/min. Vedere l'esempio di seguito.

### La frazione di ri-respirazione (RBF)

- 1 FGF 0,2 L/min — RBF 96%
- 2 FGF 1,0 L/min — RBF 83%
- 3 FGF 2,0 L/min — RBF 66%
- 4 FGF 6,0 L/min — RBF 0%





# Anestesia a bassi flussi

## Il Volume Reflector (VR)

Dalle prese a muro, i gas vettori ( $O_2$ , aria e  $N_2O$ ) passano attraverso i regolatori di pressione all'ingresso della macchina per anestesia. Il loro flusso nel circuito di respirazione è controllato dai moduli gas. Durante la ventilazione spontanea o assistita in modalità manuale, il gas in eccesso viene sfiatato tramite la valvola APL. Il grafico mostra la workstation nella fase inspiratoria di un respiro meccanico, in cui le frecce verdi indicano il flusso di gas fresco generato dai tre moduli gas e le frecce rosse indicano il flusso di gas di ri-respirazione dal volume reflector alimentato da  $O_2$  dal modulo gas reflector. Durante la fase inspiratoria, la valvola PEEP/APL viene esclusa dal circuito, la valvola inspiratoria è aperta e la valvola espiratoria chiusa.<sup>3</sup>

Il gas fresco viene erogato tramite tre moduli gas, uno per ciascun gas ( $O_2$ , aria,  $N_2O$ ) e il vapore viene aggiunto da un vaporizzatore iniettando agente liquido nella camera riscaldata del vaporizzatore. Nota: non viene iniettato direttamente nel circuito. Il gas espirato viene temporaneamente immagazzinato in un lungo tubo detto VR, che dirige o "riflette" un volume di gas espirato nel circuito. Il volume corrente inspirato è composto dal gas proveniente dal VR

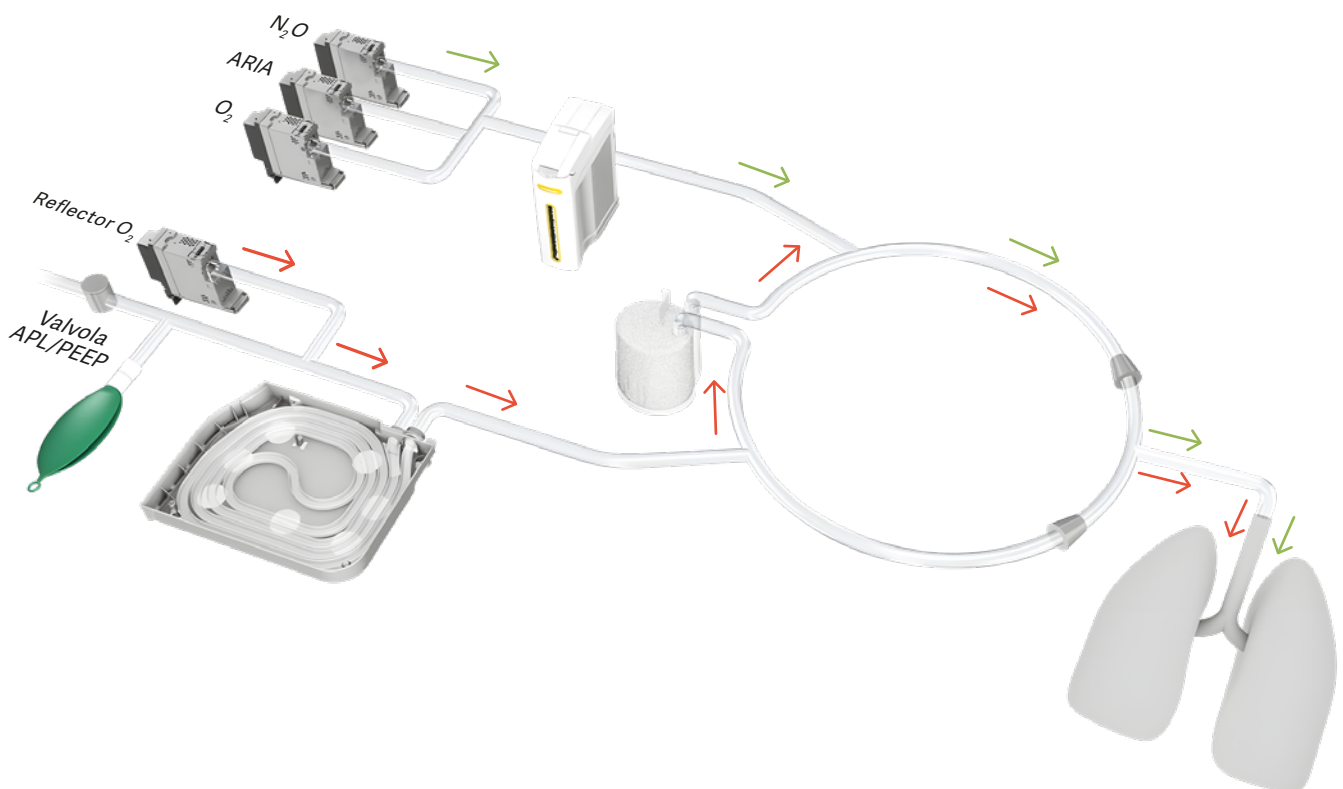
espulso dal modulo gas reflector (che utilizza  $O_2$  al 100%) e dal gas fresco proveniente dai tre moduli gas fresco con agente aggiunto dal vaporizzatore. Più basso è il FGF, più gas espirato verrà spinto indietro nel circuito.

Se l'anestesista seleziona un FGF superiore alla ventilazione minuto durante qualsiasi modalità di ventilazione controllata, la workstation imposterà automaticamente il FGF a un valore uguale alla ventilazione minuto perché i tre moduli gas vettore fungono sia da sorgente FGF che da ventilatore. Questa funzione elimina un FGF eccessivamente elevato. Il flusso selezionato è rappresentato nella scheda nella parte inferiore del display dell'unità della famiglia Flow, mentre il FGF effettivo erogato è visualizzato nei flussometri rappresentati sopra il FGF selezionato.

Non è così nella modalità manuale spontanea; in queste condizioni, il FGF erogato corrisponde al FGF selezionato.

La miscelazione di gas all'interno del VR è minima.

La valvola APL/PEEP è fisicamente la stessa valvola ed è controllata elettronicamente.



## Il Volume Reflector Indicator (VRI)

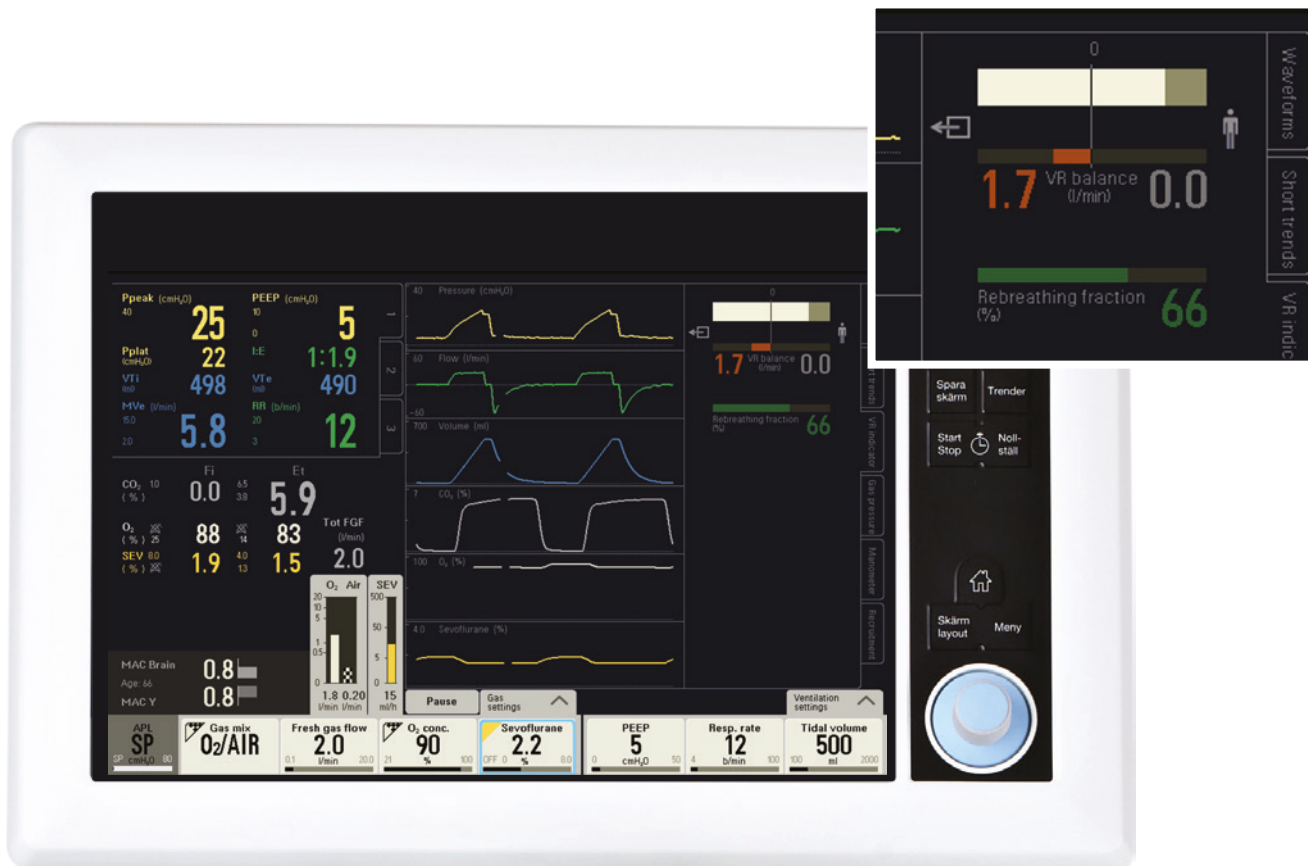
Il VR Indicator è un indicatore dell'adeguatezza della "domanda e offerta" di gas vettore.

Nella parte superiore, una barra bianca si sposta a destra durante l'inspirazione (simbolo "persona") e a sinistra durante l'espirazione (simbolo "scarico"). La posizione alla fine dell'espirazione rispetto alla linea nera verticale al centro fornisce un'indicazione di spreco: se la barra bianca si ferma alla linea, avviene una ri-respirazione completa, mentre se si ferma completamente a sinistra, non c'è ri-respirazione.

I numeri nella seconda barra "VR Balance" indicano la quantità di ventilazione minuto (L/min) che fuoriesce attraverso la valvola pop-off, che è uguale al FGF meno la somma dell'assorbimento e delle eventuali perdite. Finché

questo equilibrio è positivo (ovvero il gas viene sprecato attraverso la valvola pop-off), il VR Balance (visualizzato in rosso) termina a sinistra della barra verticale. Una volta che il FGF diventa inferiore alla somma dell'assorbimento e di eventuali perdite, l'O<sub>2</sub> viene aggiunto dal secondo modulo gas O<sub>2</sub> (modulo gas reflector). Il VR Balance in queste condizioni è "negativo": il VR Balance (ancora visualizzato in rosso) termina a destra della barra verticale. Questa schermata può essere utilizzata per aiutare il clinico a guidare la gestione del FGF durante il flusso basso.

La barra inferiore indica la frazione di ri-respirazione (vedere anche la sezione RBF) che è la parte della ventilazione minuto costituita da gas di ri-respirazione (formula  $RBF = 100 \cdot (MV - FGF) / MV$  rispetto alla ventilazione minuto totale).





# Anestesia a bassi flussi

## 3. Titolazione degli agenti inalati

Oltre a ridurre i FGF, è possibile adottare altre misure per ridurre al minimo l'impatto degli anestetici inalati.

### Selezione dell'agente

La scelta del gas anestetico e la riduzione dei flussi di gas fresco sono misure importanti per ridurre l'impatto ambientale. Secondo il rapporto dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) del 2021, il desflurano ha un impatto climatico significativamente maggiore rispetto al sevoflurano. Rispetto al sevoflurano, il GWP20 del desflurano è 10 volte superiore e il suo impatto climatico all'ora a dosi e portate comparabili è 25-26 volte superiore.<sup>4</sup>

### Concentrazione di fine espirazione ( $F_{ET}$ ) vs fMAC

La concentrazione di fine espirazione necessaria per raggiungere una determinata fMAC (frazione del MAC) dipende dall'età.<sup>5</sup> Pertanto è importante inserire l'età del paziente nel dispositivo della famiglia Flow. Calcolerà il MAC corretto per l'età, assicurandosi di non sovradosare o sottodosare il paziente, attenuando al contempo l'impatto ambientale.

### 0,7 fMAC [+/- rilassanti muscolari], interazioni farmacologiche

Minore è fMAC, minore sarà l'agente utilizzato e sprecato. 0,7 fMAC (1,5% di sevoflurano di fine espirazione in un paziente di 40 anni) è sufficiente per garantire la perdita di coscienza.<sup>6</sup> Per la maggior parte dei pazienti, 0,7 fMAC è sufficiente anche per garantire l'immobilità senza rilassanti muscolari con una probabilità del 90% se gli oppioidi sono adeguati e un'adeguata soppressione autonoma nella maggior parte dei pazienti. Sebbene spetti al fornitore dell'anestesia regolare il dosaggio nel singolo paziente, l'uso del concetto fMAC combinato con un corretto dosaggio di oppioidi (e rilassanti muscolari, se necessario) fornisce un potente strumento aggiuntivo per aiutare a ridurre il sovradosaggio dell'agente e quindi i costi e gli sprechi.

Vedere la figura 1 di seguito.

### MAC target 0,7 (paziente di 40 anni)

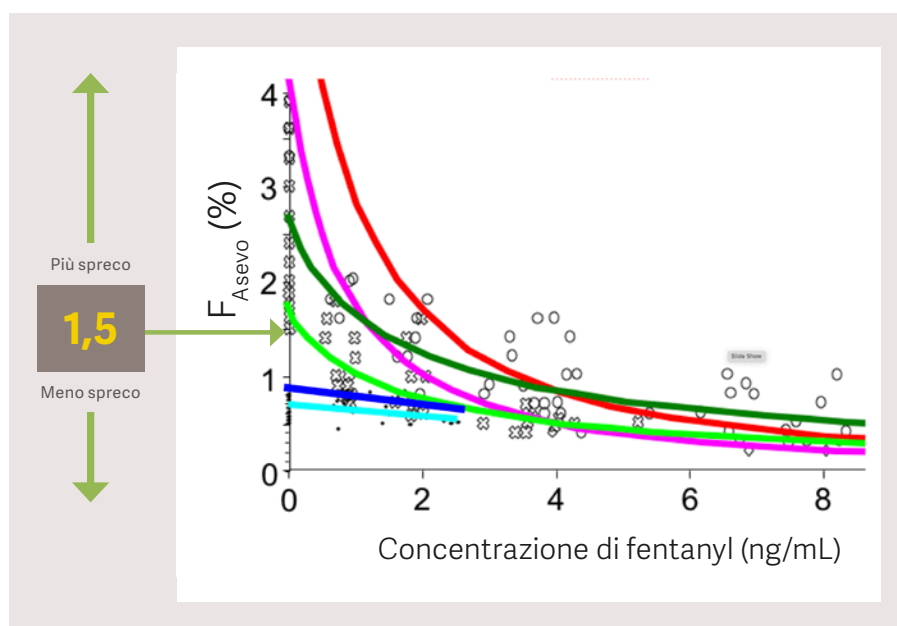


Figura 1 (immagine modificata)

Hendrickx JFA, De Wolf AM, Van Zundert AAJ. Inhalational anesthetics. In: Oxford Textbook of Anaesthesia. A cura di Jonathan G Hardman, Philip M Hopkins e Michel M.R.F Struys. Oxford University Press, pubblicato a giugno 2017 Fig. 14.9 Copyright © Jan Hendrickx e Andre De Wolf 2015.

## Isteresi nel wash-in

Il modo in cui un anestetico inalato viene indotto è importante quando si tratta di ridurre al minimo gli sprechi. Ad esempio, con un'impostazione del sevoflurano del vaporizzatore ( $F_p$ ) del 4% e un FGF di 8 L/min per tre minuti, si utilizzano 960 mL di vapore o 5,3 mL di liquido. Questo valore è uguale (o superiore) alla quantità totale necessaria per il wash-in e il mantenimento durante l'erogazione del controllo target con il dispositivo della famiglia Flow all'1,5% di sevoflurano di fine espirazione per 1 ora.

Una regola d'oro è quella di non somministrare mai agenti inalati prima che le vie aeree siano fissate con una maschera laringea o un tubo endotracheale. Utilizzare propofol per intensificare l'anestesia, se necessario, prima di fissare le vie aeree.

Dopo aver fissato le vie aeree, non è necessario passare rapidamente a una concentrazione di fine espirazione elevata perché:

- ciò richiede una combinazione di alti flussi di gas fresco e alte impostazioni del vaporizzatore che comportano uno spreco enorme;
- le concentrazioni sieriche di propofol e oppioide sono ancora così elevate che un rapido wash-in comporterebbe un sovradosaggio (con conseguente, ad esempio, ipotensione post-induzione); e
- il paziente raramente necessita di più di 0,7 fMAC in ogni caso.

### Monitoraggio del processo wash-in: MAC Brain, EEG elaborato, visualizzazione predittiva (solo AGC).

Misuriamo regolarmente la concentrazione dell'agente di fine espirazione, che viene poi convertita in un valore fMAC corretto per l'età. fMAC riflette la probabilità che il paziente non risponda ai comandi verbali. Ad esempio, a una concentrazione dell'agente di fine espirazione pari a 0,7 fMAC, l'incoscienza è praticamente garantita. Tuttavia, questo avviene solo quando fMAC nel gas di fine espirazione e nel sistema nervoso centrale sono uguali ("in equilibrio"), tipicamente durante la fase di mantenimento.

Dopo una variazione della concentrazione erogata (come avviene durante il wash-in e il wash-out), la concentrazione nel cervello sarà indietro rispetto a quella nel gas di fine espirazione a causa del ritardo nel trasporto tra i polmoni e il cervello. Questo ritardo è definito isteresi. Ciò rende fMAC meno utile ogni volta che il gas di fine espirazione viene cambiato rapidamente perché tende a sovrastimare il MAC nel sistema nervoso centrale (=MAC Brain) durante il wash-in e fMAC sottostimerà MAC Brain durante il wash-out (rapido). Fortunatamente, questo ritardo può essere preso in considerazione sulla base di parametri fisiologici ben noti, consentendo di dedurre MAC Brain da fMAC calcolata dalla concentrazione di fine espirazione. Sul display della workstation della famiglia Flow, fMAC derivato dal gas di fine espirazione campionato dal raccordo a Y è etichettato "MAC Y" e l'isteresi corretta fMAC come MAC Brain.

Il concetto di isteresi è illustrato nella figura 2, vedere di seguito. La parte A mostra MAC-Y (blu scuro) e MAC Brain (azzurro) durante il wash-in ( $t_1$ ) e il wash-out ( $t_2$ ); in entrambi i casi, MAC Brain traccia MAC Y. Gli stessi valori MAC Y durante il wash-in e il wash-out non riflettono lo stesso MAC Brain e quindi non rappresentano la stessa probabilità di incoscienza (confrontare le parti B e C). Il valore clinicamente rilevante è MAC Brain.<sup>6</sup>

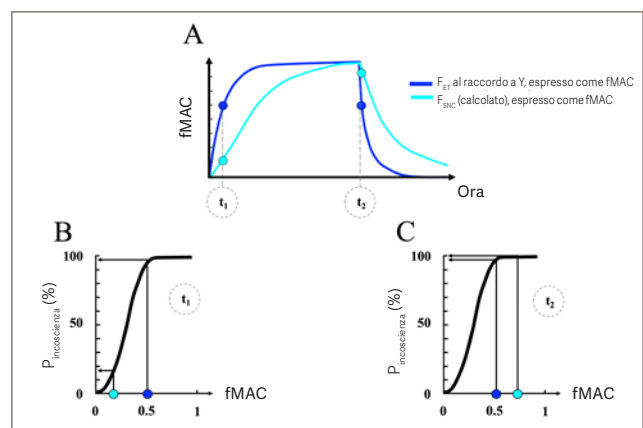


Figura 2

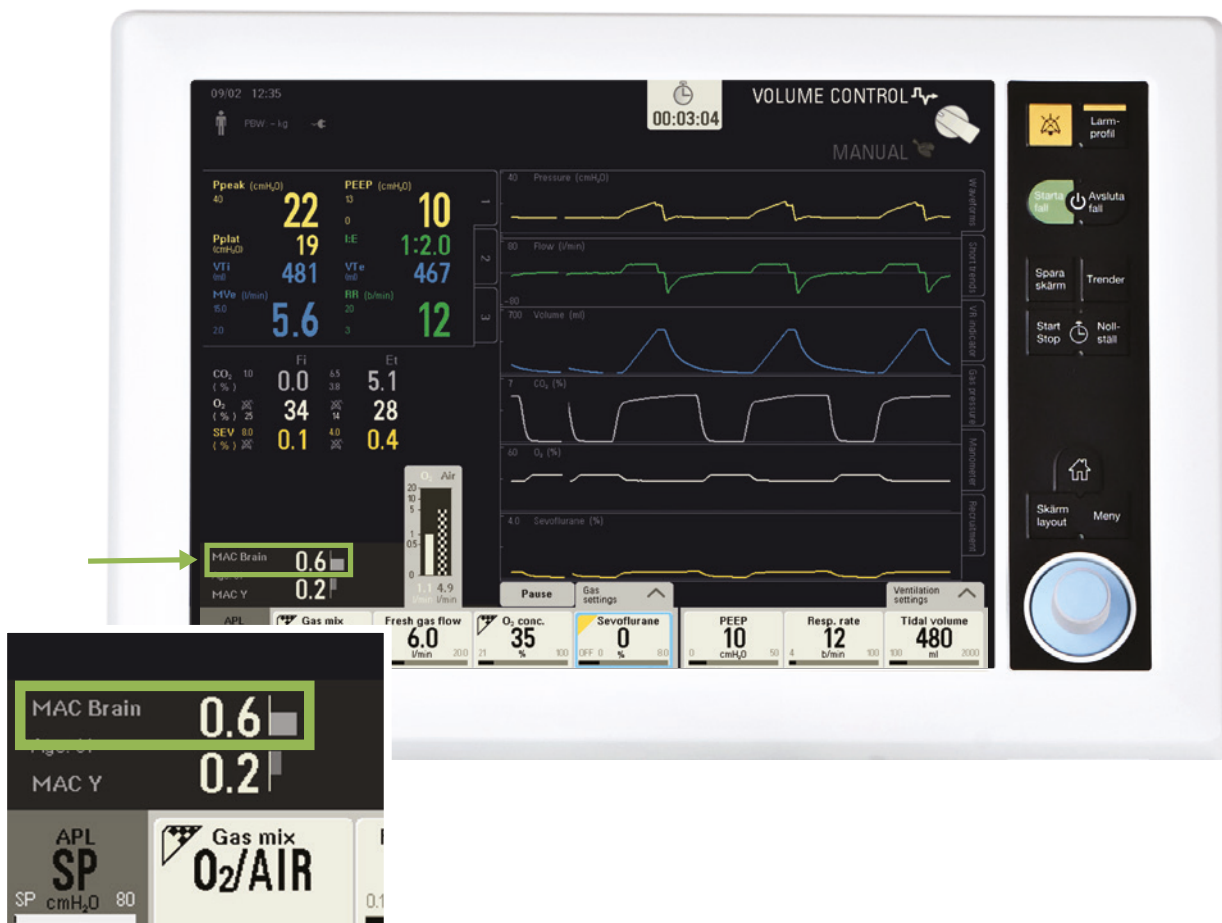
6. Hendrickx JFA, De Wolf AM. End-tidal anesthetic concentration: monitoring, interpretation, and clinical application. Clinical Focus Review. *Anesthesiology*. 2022;136:985-996



# Anestesia a bassi flussi

Consentendo all'agente di fine espirazione di salire lentamente, possiamo ridurre gli sprechi perché elimina la necessità di FGF elevati combinati con impostazioni elevate del vaporizzatore. Invece, l'agente viene indotto lentamente con la combinazione di un basso flusso di gas fresco e un'impostazione alta (fino al massimo) del vaporizzatore (durante il controllo manuale del vaporizzatore) o utilizzando la funzione di velocità (quando si utilizza l'AGC, l'utente può scegliere una delle 8 velocità di wash-in). MAC Brain diventa quindi utile in due modi. Innanzitutto, MAC Brain non deve superare 0,7 perché 0,7 fMAC è sufficiente per garantire l'incoscienza, specialmente in attesa dell'incisione chirurgica.

In secondo luogo, non è necessario raggiungere rapidamente 0,7 fMAC Brain perché le concentrazioni di propofol e oppioidi per via endovenosa sono ancora elevate. D'altra parte, MAC Brain è utile anche per garantire che il wash-in a 0,7 fMAC non sia troppo lento, specialmente quando si utilizzano rilassanti muscolari. Per monitorare il passaggio dall'inconscio indotto da agente EV a quello inalato, può essere utile anche l'EEG elaborato. Infine, la visualizzazione predittiva della concentrazione dell'agente di fine espirazione (mostrata durante l'AGC) può anche aiutare a guidare il wash-in dell'agente, ma poiché non tiene conto dell'isteresi, è preferibile utilizzarla in combinazione con fMAC Brain.



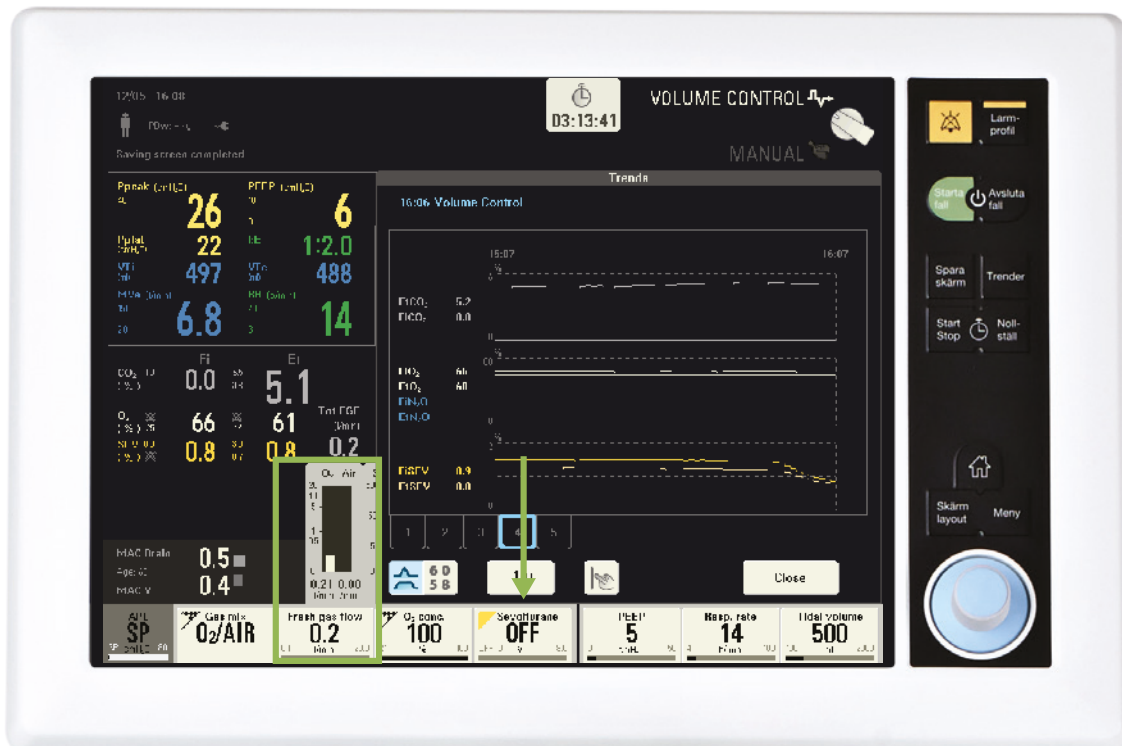
## Wash-out alveolare rapido vs lento (coasting)

### Coasting nel Manual Gas Control (MGC)

Man mano che l'intervento chirurgico progredisce, nei tessuti verrà immagazzinato sempre più agente anestetico. Maggiore è la durata, più tessuti saranno riempiti di agente anestetico. La quantità di agente immagazzinata nei tessuti può essere utilizzata per mantenere l'anestesia per un certo periodo di tempo se il FGF viene mantenuto basso dopo l'interruzione dell'erogazione degli agenti. Questa tecnica è chiamata coasting e aiuta a risparmiare un po' di agente aggiuntivo

al termine del caso. Più lunga è la procedura prima dell'interruzione dell'erogazione, più alta è la concentrazione dell'agente di fine espirazione utilizzata durante il mantenimento; più basso è il FGF utilizzato dopo l'interruzione dell'erogazione dell'agente, più lungo sarà il coasting, ovvero più a lungo l'agente di fine espirazione rimarrà a concentrazioni clinicamente utili.

Durante il flusso basso controllato manualmente, il coasting viene avviato spegnendo il vaporizzatore mantenendo bassi i FGF.





# Anestesia a bassi flussi

## Coasting nell'Automatic Gas Control (AGC)

Durante l'AGC, il target viene impostato sulla posizione "OFF", che indica al dispositivo della famiglia Flow di interrompere l'erogazione dell'agente ma di continuare a utilizzare il flusso basso (finché la  $FiO_2$  target rimane invariata). Gli strumenti che possono essere utilizzati per guidare questo processo sono MAC Brain e la visualizzazione predittiva dell'agente di fine espirazione durante l'AGC. Un MAC Brain di 0,7 fMAC continua a garantire l'incoscienza e gli oppioidi somministrati per la gestione del dolore postoperatorio aiuteranno a prevenire il movimento del paziente.

Quando inizia la chiusura chirurgica, MAC Brain può diminuire a 0,5 fMAC, specialmente nel paziente non paralizzato. Una volta che la chiusura chirurgica completa è imminente, l'agente può essere eliminato rapidamente aumentando il FGF durante il flusso basso manuale o impostando la  $F_{ET}$  target di sevoflurano a 0%, il che richiederà alla workstation di aumentare il proprio FGF. MAC Brain è utile per prevedere il risveglio imminente.



## 4. Sostituzione degli assorbitori di CO<sub>2</sub>

L'unico parametro che dovrebbe richiedere la sostituzione del contenitore è la concentrazione di CO<sub>2</sub> inspirata. La concentrazione di CO<sub>2</sub> inspirata deve aumentare fino allo 0,5% o 4 mmHg. Questo valore garantisce un utilizzo ottimale dell'assorbitore di CO<sub>2</sub> senza influire

sull'omeostasi della CO<sub>2</sub> in modo clinicamente significativo. L'aumento dello 0,5% o di 4 mmHg della concentrazione di CO<sub>2</sub> di fine espirazione è clinicamente accettabile in quasi tutti i pazienti.<sup>7</sup>

## 5. Il caso speciale di N<sub>2</sub>O

Gli stessi principi che si applicano alle miscele di O<sub>2</sub>/aria e all'uso di sevoflurano in O<sub>2</sub>/aria si applicano quando si utilizza O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>O. Alcune questioni meritano un'attenzione speciale. Innanzitutto, è necessario utilizzare brevemente un alto FGF (FGF ≥ ventilazione minuto) per l'immissione di N<sub>2</sub>O perché il circuito deve essere riempito e perché c'è un breve periodo di assorbimento elevato di N<sub>2</sub>O. Questo breve periodo di 3-4 minuti serve anche a rimuovere l'azoto. Successivamente, il FGF può essere ridotto a 1 L/min. Si noti che durante l'AGC lo schema FGF decrescente utilizzato dall'algoritmo svolge la stessa funzione (periodo FGF alto iniziale di breve durata per accelerare il wash-in ed eliminare l'azoto).

L'azoto si accumulerà ancora lentamente, e di più man mano che il FGF diminuisce. Ciò si noterà da una diminuzione dei valori di O<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O di fine espirazione. Ciò può essere tollerato: la piccola diminuzione del MAC totale (la somma del MAC di sevoflurano e N<sub>2</sub>O) può essere facilmente compensata da un piccolo aumento della concentrazione di sevoflurano di fine espirazione. In alternativa, il circuito può essere lavato brevemente con un FGF elevato. Ciò può essere giustificato anche se la concentrazione di O<sub>2</sub> è scesa troppo.

In secondo luogo, durante il coasting, l'N<sub>2</sub>O può continuare mentre la somministrazione di sevoflurano è già stata interrotta. Questo aiuterà a velocizzare il recupero iniziale. Quando è il momento di iniziare il wash-out di N<sub>2</sub>O, utilizzare un breve periodo di FGF elevato con elevate concentrazioni di O<sub>2</sub> prima dell'emergenza per evitare l'ipossia da diffusione dovuta alle grandi quantità di N<sub>2</sub>O che ritornano dai tessuti. Si noti che l'uso di N<sub>2</sub>O inciderà sull'impatto climatico totale dell'anestetico poiché l'N<sub>2</sub>O ha un potenziale di riscaldamento globale (GWP20) di 264 e una durata atmosferica di circa 120 anni.<sup>4</sup>

## 6. Feedback personale

I dispositivi della famiglia Flow visualizzano l'uso istantaneo dell'agente liquido durante il caso e l'uso cumulativo dell'agente al termine del caso. Ciò consente al medico di tenere traccia del proprio utilizzo dell'agente e monitorare la propria curva di apprendimento dell'anestesia a bassi flussi.





# Anestesia a bassi flussi

## 7. Riepilogo

**L'anestesia a bassi flussi riduce l'impatto ambientale degli anestetici inalati.** Comprendere gli effetti della riduzione del FGF sulla differenza tra la concentrazione dell'agente selezionato e inspirato consente al clinico di utilizzare un FGF inferiore. Fornisce anche la motivazione per l'ulteriore sviluppo e l'uso dell'erogazione a basso flusso controllata in base al target. Per ridurre al massimo l'uso di agenti con sistemi automatizzati di somministrazione a basso flusso controllati dal target, è necessario

considerare anche i fattori che influiscono sulla selezione del target (età del paziente, uso di oppioidi) e sull'isteresi (wash-in lento, wash-out lento). L'uso combinato di questi fattori avrà un effetto pronunciato sull'uso dell'agente e sugli sprechi. L'abbassamento del FGF è l'azione più importante, ma solo una parte di un puzzle più ampio per ridurre l'impatto ambientale degli agenti anestetici inalati.<sup>8</sup> Questi concetti sono descritti in questo manuale.

## 8. Bibliografia

1. De Cooman S, Hendrickx JF, Peyton PJ, Demeere JL, De Wolf AM. Agent consumption with the Zeus® in the automated closed-circuit anesthesia mode with O<sub>2</sub>/air mixtures. *BMC Res Notes*. 23 luglio 2014;7:469. doi: 10.1186/1756-0500-7-469
2. Hendrickx JF, Van Zundert AA, De Wolf AM: Sevoflurane pharmacokinetics: effect of cardiac output. *Br J Anaesth* 1998;81:495-501
3. Hendrickx JFA, De Wolf AM. Anesthesia Machines: Quo Vadis? Anesthesia Analgesia, invited paper. *Anesth Analg* 2018;127:671-675
4. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contributo del Gruppo di lavoro I alla Sesta relazione di valutazione dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou (Eds.)). *Cambridge University Press*. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
5. Nickalls RWD, Mapleson W. Age-related iso-MAC charts for isoflurane, sevoflurane and desflurane in man. *Br J Anaesth* 2003;91:170-4
6. Hendrickx JFA, De Wolf AM, Van Zundert AAJ. Inhalational anesthetics. In: *Oxford Textbook of Anaesthesia*. A cura di Jonathan G Hardman, Philip M Hopkins e Michel M.R.F

Struys. *Oxford University Press*, pubblicata a giugno 2017 Fig. 14.9 Copyright © Jan Hendrickx e Andre De Wolf 2015

7. Verbeke D, Jouwena J, De Wolf AM, Hendrickx JFA. When to replace a CO<sub>2</sub> absorber? *Acta Anaesthesiol Belg* 2023: 74, 43-49

8. Hendrickx JFA, Jouwena J, De Hert S, De Wolf AM. Low Flow Anesthesia – Mission Impossible? Invited manuscript. *Acta Anaesthesiol Belg* 2023: 74, 35-41

## Autori

**Autore:** Jan Hendrickx, M.D., Ph.D. Staff anesthesiologist, A-zorg Hospital, Aalst, Belgium  
Professor, Dpt. of Basic and Applied Medical Sciences, Ghent University, Ghent, Belgium  
Professor, Dpt. of Anesthesiology, UZLeuven & Cardiovascular Sciences, KULeuven, Louvain, Belgio

**Co-autore:** Andre De Wolf, M.D. Professor Emeritus of Anesthesiology & Surgery  
Feinberg School of Medicine, Northwestern University, Chicago, IL, USA

**Consulente dei contenuti:** Patrik Norell, Global Clinical Marketing Manager, Getinge, Solna, Svezia





Queste informazioni sono destinate a un pubblico professionale. Le informazioni contenute nel presente documento hanno solo scopo informativo e non sostituiscono le Istruzioni per l'uso o il manuale di assistenza. Getinge declina qualsiasi responsabilità per qualsiasi azione o omissione di qualsiasi parte basata su questo materiale e l'affidamento è esclusivamente a rischio dell'utente. Le soluzioni o prodotti menzionati potrebbero non essere disponibili o consentiti nel proprio Paese. Le informazioni non possono essere copiate o utilizzate, in tutto o in parte, senza l'autorizzazione scritta di Getinge.

I punti di vista, le opinioni e le dichiarazioni qui riportate sono espressi dagli intervistati e non riflettono o rappresentano necessariamente le opinioni di Getinge.

**Produttore legale** · Maquet Critical Care AB · Röntgenvägen 2 SE-171 54 Solna · Svezia · +46 (0)10 335 73 00

©2025 Getinge, Getinge e **GETINGE** \* sono marchi o marchi registrati di Getinge AB, delle sue controllate o affiliate · DMS-0015770 · Tutti i diritti riservati.

**[www.getinge.com](http://www.getinge.com)**