



Low-Flow-Anästhesie und ergänzende Techniken

Minimierung der Verschwendungen
von Narkosegas

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	5
	Begründung für Low-Flow-Anästhesie: Wirtschaftlichkeit und Ökologie	5
	Low-Flow-Anästhesie (der Grundpfeiler) und Hilfstechniken (das Puzzle)	5
	Definition der Low-Flow-Anästhesie	5
<hr/>		
2	Grundlagen der Low-Flow-Anästhesie	6
	$F_D - F_I - F_{ET}$ (O_2 , flüchtiges Narkosegas).....	6
	Die Rückatmungsfaktion (RBF).....	8
	Der Volumenreflektor (VR).....	10
	Der Volumenreflektor-Indikator (VRI)	11
<hr/>		
3	Titration von Inhalationsmitteln	12
	Narkosemittelwahl	12
	Endexspiratorische Konzentration (F_{ET}) im Vergleich zur fMAC	12
	0,7 fMAC [+/- Muskelrelaxanzien], Alter, Arzneimittelwechselwirkungen	12
	Einwaschhysterese	13
	Schnelles vs. langsames alveoläres Auswaschen (Coasting)	15
<hr/>		
4	Austausch der CO_2-Absorber	16
<hr/>		
5	Der Sonderfall von N_2O	17
<hr/>		
6	Persönliches Feedback	17
<hr/>		
7	Zusammenfassung	18
<hr/>		
8	Referenzen	18

Abkürzungen

AA	Anästhetikum
F_A oder F_{ET}	Alveoläre Fraktion oder endtidale Fraktion, die von Patient/-innen ausgeatmete Konzentration
F_D	Verabreichte Fraktion Die Konzentration, die Sie am Flowmeter (für O ₂) oder am Verdampfer einstellen.
FGF	Frischgasfluss
F_I	Inspirierte Fraktion Die Konzentration, die Patient/-innen einatmen
fMAC	Anteil der MAC, der minimalen alveolären Konzentration
MV	Minutenvolumen
RBF	Rückatmungsfaktion
VR	Volumenreflektor
VR-Anzeige	Anzeige des Volumenreflektors



Eine Einführung in die Low-Flow-Anästhesie

Dieses Handbuch enthält die Richtlinien für Ärzt/-innen, um Narkosemittelabfälle auf eine Weise zu reduzieren, die sich nahtlos in den klinischen Arbeitsablauf mit den Geräten der Flow-Familie integriert.

1. Einführung

Begründung für Low-Flow- Anästhesie: Wirtschaftlichkeit und Ökologie

Inhalationsanästhetika sorgen für sichere und zuverlässige Anästhesiebedingungen. Wie jedes Medikament, das wir verwenden, sind auch sie mit Kosten verbunden, sowohl finanziell als auch ökologisch. Inhalierte Anästhetika sind Treibhausgase, daher erfordert die gute klinische Praxis die Minimierung ihrer Verschwendungen – einer von vielen Gründen für die Anwendung einer Low-Flow-Anästhesie. Durch die Reduzierung von FGFs wird das verabreichte Inhalationsanästhetikum buchstäblich recycelt. Der Sauerstoffverbrauch eines durchschnittlichen Erwachsenen beträgt 180 ml/min¹. Bei einem FGF von 180 ml/min Sauerstoff beträgt die Mindestmenge an Sevofluran, die zur Aufrechterhaltung der Anästhesie (= geschlossene Kreislaufanästhesie) für 1 Stunde bei einer endexspiratorischen Konzentration von 2 % erforderlich ist, nur 7 ml flüssiges Sevofluran². In der klinischen Praxis wird häufig beobachtet, dass FGFs eingesetzt werden, die deutlich über 1 l/min liegen.

Low-Flow-Anästhesie (der Grundpfeiler) und ergänzende Techniken (das Puzzle)

Während die Low-Flow-Anästhesie das Hauptmittel zur Reduzierung der inhalativen Anästhesieabfälle ist, tragen zusätzliche Techniken dazu bei, die Abfallmenge weiter zu verringern. Diese Techniken sind tatsächlich die Teile eines Puzzles, das, wenn alle Teile miteinander verbunden sind, den Verbrauch an inhalativem Narkosemittel auf nur wenige Milliliter flüssiges Sevofluran pro Stunde reduziert.

Dazu gehören:

- Langsames Einwaschen (geführt durch MAC Brain, verarbeitetes EEG und projizierte Einwaschanzeige)
- Titration von 0,7 – 0,8 fMAC während der Erhaltung (Nutzung der synergistischen Wirkung von Opioiden)
- Ausklingen gegen Ende des Vorgangs (geführt durch MAC Brain, verarbeitetes EEG und projizierte Auswaschanzeige)

Definition der Low-Flow- Anästhesie

Anästhesie mit geschlossenem Kreislauf, Minimalfluss, Low-Flow- und High-Flow-Anästhesie sind alle Begriffe, die für Frischgasflüsse innerhalb des FGF-Spektrums verwendet wurden. Wir ziehen es jedoch vor, von diesen Begriffen Abstand zu nehmen und uns stattdessen nur auf den spezifischen FGF zu beziehen, der verwendet wird. Für Ärzt/-innen ist es wichtiger, die Tools und Technologien zu beherrschen, mit denen sie mit dem niedrigsten FGF arbeiten können, mit dem sie sich wohl fühlen. Dies wird als „Low-Flow-Anästhesie“ bezeichnet, d. h. Sie verwenden einen niedrigeren FGF als den, welchen Sie derzeit verwenden (Samsun Lampotang, University of Florida, FL, USA). Die Bezugnahme auf spezifische FGFs anstelle der oben genannten vagen und gegebenenfalls verwirrenden Begriffe ist ebenfalls sinnvoll, da ein hoher FGF für ein Baby möglicherweise nicht in gleicher Weise einen hohen FGF für erwachsene Patient/-innen darstellt. Im gesamten Text verwenden wir den Begriff „Low-Flow-Anästhesie“, um allgemein auf die Verwendung eines FGF unter 1 l/min hinzuweisen.



Low-Flow-Anästhesie

2. Grundlagen der Low-Flow-Anästhesie

F_D - F_I - F_{ET} (O_2 , flüchtiges Narkosegas)

Der Schlüssel zum Verständnis der Low-Flow-Anästhesie besteht darin, die Bedeutung des Unterschieds zwischen der abgegebenen (F_D), der inspiratorischen (F_I) und der endexspiratorischen (F_{ET}) Konzentration (oder Fraktion) des inhalierten Narkosegases (F_DAA , F_IAA und $F_{ET}AA$) zu verstehen.

Die abgegebene Konzentration wird am Verdampfer eingestellt. Beachten Sie, dass die hier beschriebenen Prinzipien für das Narkosegas auch für O_2 (F_DO_2 , $F_I O_2$ bzw. $F_{ET}O_2$) gelten. Für O_2 bezieht sich $F_D O_2$ auf die abgegebene O_2 -Konzentration an den Trägergas-Durchflussmessern oder dem automatischen Gasmischer.



Der Unterschied zwischen der inspiratorischen und der endexspiratorischen Konzentration ($F_{\text{IAA}} - F_{\text{EAA}}$) wird durch die Aufnahme der Patient/-innen verursacht. Da die Aufnahme im Laufe der Zeit abnimmt, wird auch diese Differenz mit der Zeit geringer. Für O_2 ist diese Differenz mehr oder weniger konstant, da der Verbrauch von O_2 stabiler ist.

Der Unterschied zwischen der abgegebenen und der eingeatmeten Konzentration ($F_{\text{DAA}} - F_{\text{IAA}}$) oder ($F_{\text{DO}_2} - F_{\text{EO}_2$) hängt vom Anteil der Rückatmung ab (siehe nächstes Thema).



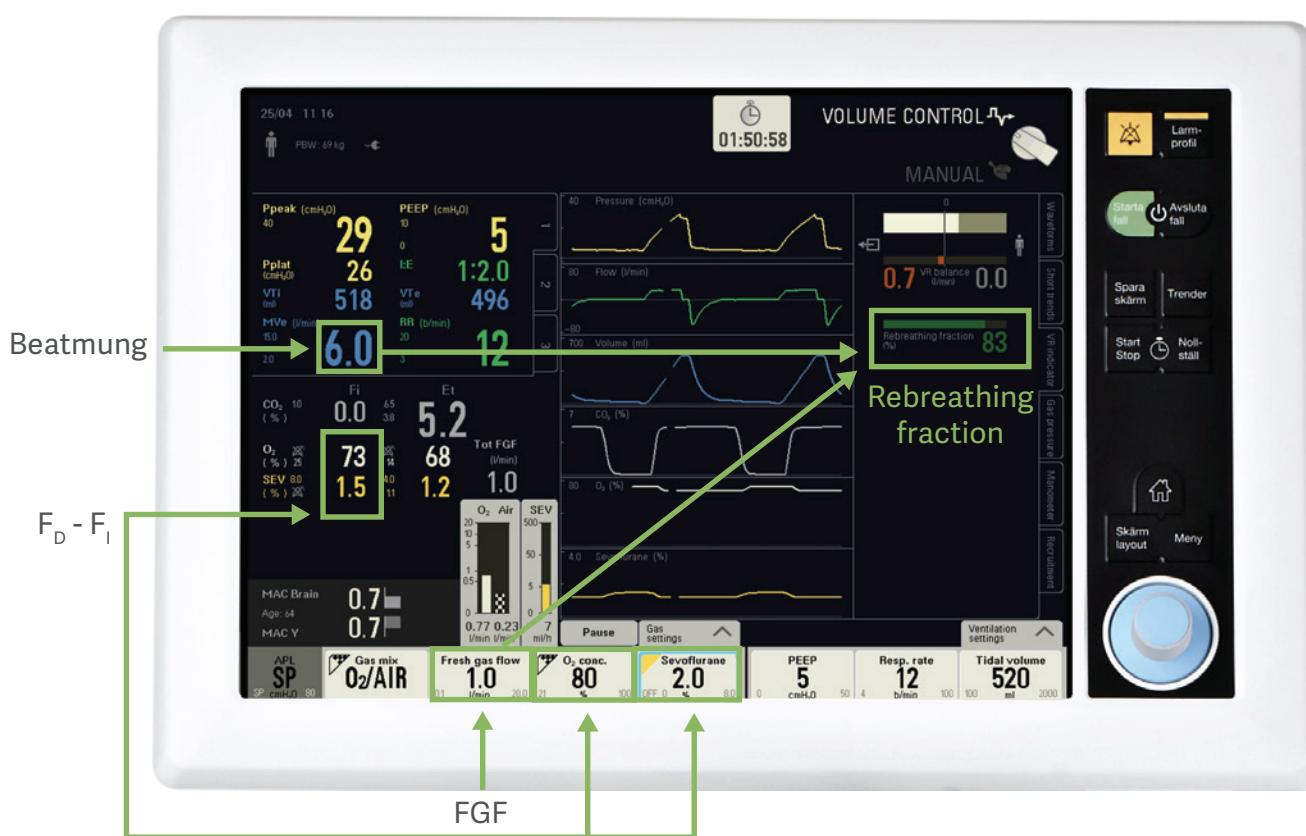


Low-Flow-Anästhesie

Die Rückatmungsfraktion (RBF)

Um die Normokapnie aufrechtzuerhalten, ist eine bestimmte Beatmung pro Minute erforderlich. Solange der FGF (d. h. der kombinierte Flow von O₂ und Air, den Sie einstellen, auch als „Trägergas“ bezeichnet) höher ist als die Minuten-Beatmung, werden die Lungen nur mit Frischgas gefüllt. Wenn beispielsweise die Minutenbeatmung 6 l/min beträgt und der gesamte Frischgasfluss von O₂ und Luft 6 l/min oder mehr beträgt, entspricht die Zusammensetzung des eingeatmeten Gemisches dem abgegebenen Gemisch, und die Differenz zwischen der abgegebenen und der eingeatmeten Konzentration (F_DAA - F_IAA) oder (F_DO₂ - F_IO₂) ist null. Sobald der Frischgasfluss jedoch unter die Minutenbeatmung sinkt, gleicht das zuvor ausgeatmete Gas das Defizit aus, um eine angemessene Beatmung sicherzustellen: Es erfolgt eine Rückatmung.

Beispiel: Bei einem FGF von 1 l/min und einer Minutenbeatmung von 6 l/min steht das Frischgas 5 l/min hinter der Minutenbeatmung von 6 l/min zurück, so dass 5 l/min ausgeatmetes Gas zur Rückatmung benötigt wird. Da diese 5 l 5/6 bzw. 83 % der erforderlichen Minutenbeatmung von 6 l/min ausmachen, beträgt der RBF 83 %: 100 * (1 - [1 l/min FGF / 6 l/min Minutenbeatmung]). Dies hat Konsequenzen, da die Sevoflurankonzentration im ausgeatmeten Gas aufgrund der Aufnahme durch die Patient/-innen niedriger ist als im eingeatmeten Gas. Die inspiratorische Sevofluran-Konzentration wird niedriger als die abgegebene Konzentration (Verdünnungseffekt), was zu einer größeren Differenz zwischen der abgegebenen und der inspiratorischen Konzentration führt.



Die Abbildung unten zeigt die Änderung des RBF bei unterschiedlichem FGF. Die Minutenbeatmung beträgt ca. 6 l/min. Siehe nachfolgende Beispiele.

Die Rückatmungsfraktion (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 %





Low-Flow-Anästhesie

Der Volumenreflektor (VR)

Von den Wandanschlüssen gelangen die Trägergase (O_2 , Air, N_2O) über Druckregler in den Eingang des Narkosegeräts. Deren Durchfluss in das Beatmungskreissystem wird von Gasmodulen gesteuert. Bei der spontanen oder assistierten Beatmung wird überschüssiges Gas über das APL-Ventil abgeführt. Das Diagramm zeigt die Arbeitsstation in der Inspirationsphase eines mechanischen Atemzugs, wobei die grünen Pfeile den Frischgasfluss anzeigen, der von den drei Gasmodulen erzeugt wird, und die roten Pfeile den Gasfluss für die Rückatmung aus dem Volumenreflektor, der von O_2 aus dem Gasmodul des Reflektors angetrieben wird.

Während der Inspirationsphase wird das PEEP/APL-Ventil vom Kreissystem ausgeschlossen, das Inspirationsventil ist geöffnet und das Exspirationsventil geschlossen.³

Frischgas wird über 3 Gasmodule geliefert, ein Modul für jedes Gas (O_2 , Air, N_2O), und Dampf wird in einem Verdampfer durch Einspritzen von flüssigem Narkosemittel in die beheizte Verdampfungskammer hinzugefügt. Hinweis: Es wird nicht direkt in den Kreislauf eingespritzt. Das ausgeatmete Gas wird vorübergehend in einem langen Schlauchstück, dem sogenannten VR, gespeichert, das ein Volumen des ausgeatmeten Gases zurück in das Kreissystem leitet oder

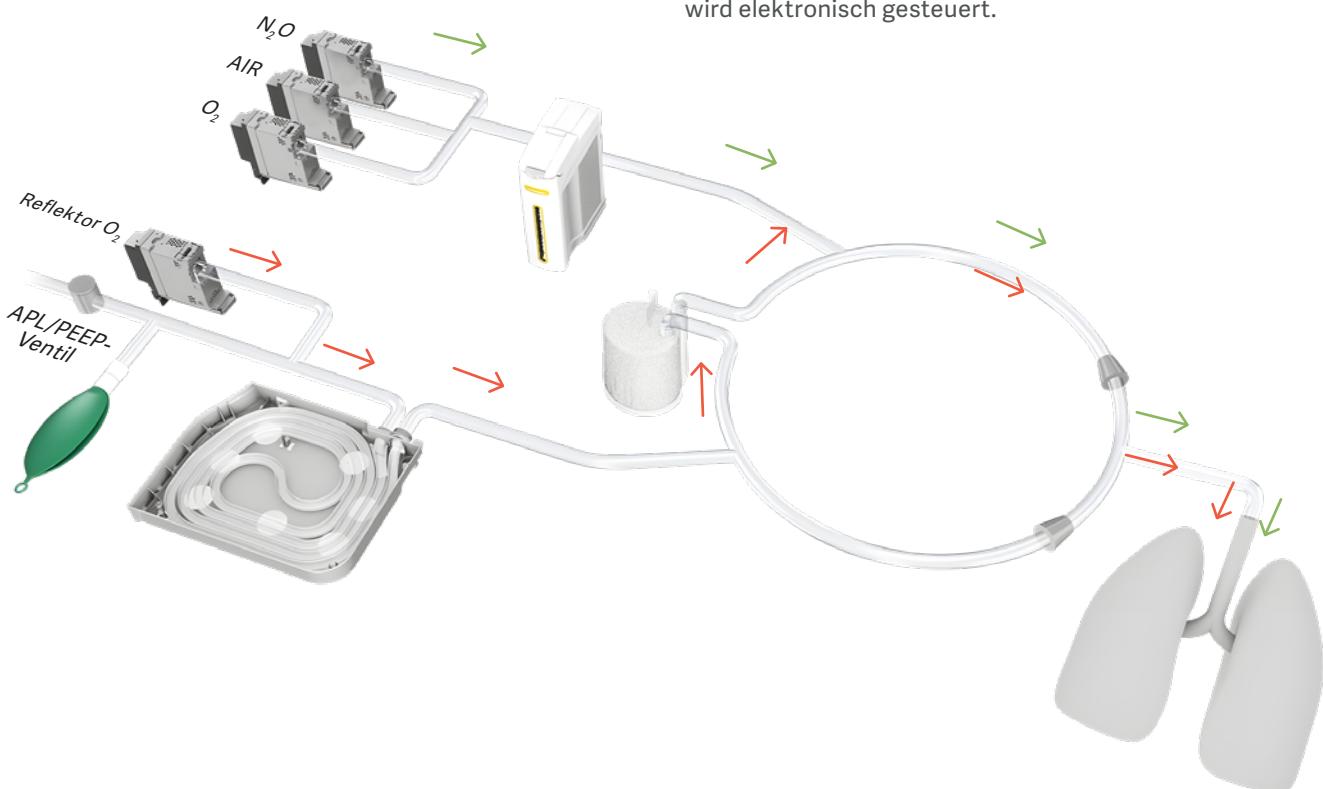
„reflektiert“. Das inspirierte Tidalvolumen besteht aus Gas aus dem VR, das vom Reflektorgasmmodul (das 100 % O_2 verwendet) herausgedrückt wird, und Frischgas aus den drei Frischgasmodulen mit vom Verdampfer zugeführtem Narkosemittel. Je niedriger der FGF, desto mehr ausgeatmetes Gas wird in das Kreislaufsystem zurückgedrängt.

Wenn der Anästhesieanbieter während eines beatmungssteuerten Modus einen FGF-Wert einstellt, der höher ist als die Minutenventilation, begrenzt die Workstation den FGF-Wert automatisch auf einen Wert, der der Minutenventilation entspricht, da die drei Trägergasmodule sowohl als FGF-Quelle als auch als Beatmungsgerät dienen. Diese Funktion verhindert einen zu hohen FGF. Der eingestellte Durchfluss wird in der Registerkarte unten im Display der Flow Family-Einheit angezeigt, während der tatsächlich gelieferte FGF in den Durchflussmessern über dem eingesetzten FGF angezeigt wird.

Dies ist bei der spontanen manuellen Betriebsweise nicht der Fall; unter diesen Bedingungen stimmt der abgegebene FGF mit dem gewählten FGF überein.

Die Gasmischung innerhalb des VR ist minimal.

Das APL/PEEP-Ventil ist physikalisch dasselbe Ventil und wird elektronisch gesteuert.



Der Volumenreflektor-Indikator (VRI)

Der VR-Indikator ist ein Indikator für die Angemessenheit von „Angebot und Nachfrage“ von Trägergas.

Im oberen Teil bewegt sich ein weißer Balken während der Einatmung nach rechts (Symbol „Person“) und während der Ausatmung nach links (Symbol „Ausatmen“). Die Position am Ende der Ausatmung relativ zur vertikalen schwarzen Linie in der Mitte gibt einen Hinweis auf Verschwendungen: Wenn der weiße Balken an der Linie endet, findet eine vollständige Rückatmung statt, und wenn er ganz links endet, findet keine Rückatmung statt.

Die Zahlen im zweiten Balken „VR-Bilanz“ geben an, wie viel der Minutenventilation (L/min) über das Ablassventil entweicht, was dem FGF minus der Summe aus Aufnahme und etwaigen Leckagen entspricht. Solange dieser Saldo

positiv ist (d.h. Gas wird über das Ventil abgeführt), endet der VR-Saldo (rot dargestellt) links vom vertikalen Balken. Sobald der FGF unter die Summe der Aufnahme und etwaiger Leckagen sinkt, wird O₂ aus dem zweiten O₂-Gasmodul (Reflektor-Gasmodul) zugeführt. Der VR-Saldo ist unter diesen Bedingungen „negativ“: Der VR-Saldo (wird noch rot angezeigt) endet rechts vom vertikalen Balken. Diese Anzeige kann Ärzt/-innen als Leitlinie für die FGF-Verwaltung bei niedrigem Fluss dienen.

Der untere Balken zeigt den Anteil der Rückatmung (siehe auch Abschnitt „RBF“) an, d. h. den Teil der Minutenventilation, der aus rückgeatmetem Gas besteht (Formel RBF = $100 * (\text{MV}-\text{FGF}) / \text{MV}$ im Verhältnis zur gesamten Minutenventilation).





Low-Flow-Anästhesie

3. Titration von Inhalationsmitteln

Neben der Reduzierung von FGFs können weitere Maßnahmen ergriffen werden, um die Auswirkungen von inhalativen Anästhetika zu minimieren.

Auswahl des Wirkstoffs

Die Wahl des Anästhesiegases und die Reduzierung des Frischgasflusses sind wichtige Maßnahmen zur Verringerung der Umweltauswirkungen. Laut dem Bericht des Intergovernmental Panel on Climate Change des IPCC aus dem Jahr 2021 hat Desfluran deutlich höhere Klimaauswirkungen als Sevofluran. Im Vergleich zu Sevofluran ist das GWP20 von Desfluran zehnmal höher, und seine Klimaauswirkungen pro Stunde bei vergleichbaren Dosen und Durchflussraten sind 25 bis 26-mal höher.⁴

Endexspiratorische Konzentration (F_{ET}) im Vergleich zur fMAC

Die endexspiratorische Konzentration, die erforderlich ist, um einen bestimmten fMAC (Fraktion des MAC) zu erreichen, ist altersabhängig.⁵ Daher ist es wichtig, das Alter der Patient/-innen in das Flow Family-Gerät einzugeben. Es berechnet den alterskorrigierten MAC und stellt sicher, dass Sie Patient/-innen nicht über- oder unterdosieren und gleichzeitig die Umweltauswirkungen mindern.

0,7 fMAC [+/- Muskelrelaxanzien], Arzneimittelwechselwirkungen

Je niedriger der fMAC, desto weniger Narkosemittel wird verbraucht und verschwendet. 0,7 fMAC (1,5 % endexspiratorisches Sevofluran bei 40-jährigen Patient/-innen) reicht aus, um die Bewusstlosigkeit zu gewährleisten.⁶ Für die meisten Patient/-innen reicht 0,7 fMAC auch aus, um die Immobilität ohne Muskelrelaxanzien mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 % sicherzustellen, vorausgesetzt, Opioide werden ordnungsgemäß verabreicht, und eine angemessene autonome Suppression wird bei den meisten Patient/-innen erreicht. Während es dem Anästhesie-Anbieter obliegt, die Dosierung für die einzelnen Patient/-innen anzupassen, bietet die Verwendung des fMAC-Konzepts in Kombination mit der richtigen Opioddosierung (und Muskelrelaxanzien, falls erforderlich) ein leistungsstarkes zusätzliches Werkzeug, um eine Überdosierung von Narkosemitteln sowie damit verbundene Kosten und Verschwendungen zu reduzieren. Siehe Abbildung 1 unten.

Ziel 0,7 MAC (40-jährige Patient/-innen)

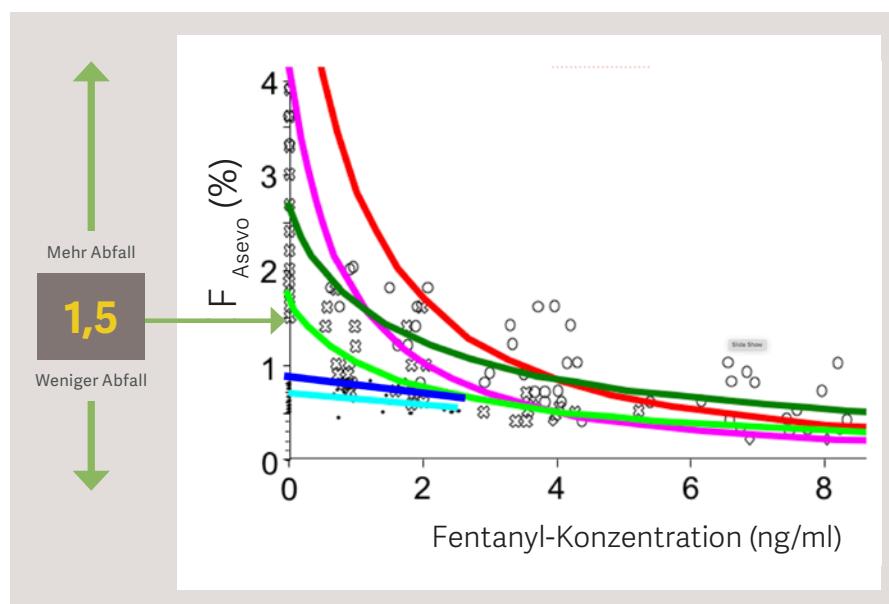


Abbildung 1 (Bild geändert)

Hendrickx JFA, De Wolf AM, Van Zundert AAJ. Inhalational anaesthetics. In: Oxford Textbook of Anaesthesia. Herausgegeben von Jonathan G. Hardman, Philip M. Hopkins und Michel M.R.F. Struys. Oxford University Press, veröffentlicht im Juni 2017, Abb. 14.9 Copyright © Jan Hendrickx und Andre De Wolf 2015.

Einwaschhysterese

Die Art und Weise, wie ein inhaliertes Anästhetikum eingespült wird, ist wichtig, um Abfall zu minimieren. Beispielsweise wird mit einer Sevofluran-Verdampfereinstellung (F_D) von 4 % und einem FGF von 8 l/min für drei Minuten 960 ml Dampf oder 5,3 ml Flüssigkeit verwendet. Dies entspricht der (oder ist höher als die) Gesamtmenge, die für das Einspülen und die Erhaltung während der Zielkontrollabgabe mit dem Flow Family-Gerät bei 1,5 % endexspiriertem Sevofluran für 1 Stunde benötigt wird.

Eine goldene Regel lautet, niemals Inhalationsmittel zu verabreichen, bevor die Atemwege mit einer Larynxmaske oder einem Endotrachealtubus gesichert sind. Verwenden Sie Propofol, um die Anästhesie bei Bedarf vor der Sicherung der Atemwege zu vertiefen.

Nach der Sicherung der Atemwege besteht keine Notwendigkeit, schnell zu einer hohen endexspiratorischen Konzentration zu wechseln, weil:

- Dies eine Kombination aus hohem Frischgasfluss und hohen Verdampfereinstellungen erfordert, was äußerst verschwenderisch ist;
- Die Serumkonzentrationen von Propofol und Opioiden sind nach wie vor so hoch, dass ein schnelles Einwaschen zu einer Überdosierung führen könnte (was beispielsweise zu einer Hypotonie nach der Einleitung führen kann); und
- Die Patient/-innen benötigen selten mehr als 0,7 fMAC.

Überwachung des Einwaschprozesses: MAC Brain, verarbeitetes EEG, prädiktive Anzeige (nur AGC).

Wir messen routinemäßig die endexspiratorische Narkosemittelkonzentration, die dann in einen alterskorrigierten fMAC-Wert umgerechnet wird. Der fMAC spiegelt wider, wie wahrscheinlich es ist, dass Patient/-innen nicht auf verbale Befehle reagieren. Beispielsweise ist bei einer endexspiratorischen Narkosemittelkonzentration von 0,7 fMAC eine Bewusstlosigkeit praktisch gewährleistet. Dies ist jedoch nur der Fall, wenn der fMAC im endexspiratorischen Gas und im zentralen Nervensystem identisch ist („im Gleichgewicht“), typischerweise während der Erhaltungsphase. Nach einer Änderung der abgegebenen Konzentration (wie beim Ein- und Auswaschen) liegt die Konzentration im Gehirn aufgrund der Transportverzöge-

rung zwischen Lunge und Gehirn hinter der Konzentration im endexspirierten Gas zurück. Diese Verzögerung wird als Hysterese bezeichnet. Dies macht fMAC weniger nützlich, wenn sich das endexspirierte Gas schnell ändert, da es dazu neigt, den MAC im Zentralnervensystem (= MAC Brain) während des Einwaschens zu überschätzen, und der fMAC den MAC Brain während des (schnellen) Auswaschens unterschätzt. Glücklicherweise kann diese Verzögerung auf der Grundlage bekannter physiologischer Parameter berücksichtigt werden, sodass MAC Brain aus dem fMAC abgeleitet werden kann, der aus der endexspiratorischen Konzentration berechnet wird. Auf dem Bildschirm der Flow-Familie-Arbeitsstation wird fMAC, das aus dem am Y-Stück entnommenen endexspiratorischen Gas abgeleitet wird, mit „MAC Y“ gekennzeichnet, und der hysterese-korrigierte fMAC als MAC Brain.

Das Hysteresekonzept ist in Abbildung 2 dargestellt, siehe unten. Teil A zeigt MAC-Y (dunkelblau) und MAC Brain (hellblau) während des Einwaschens (t_1) und Auswaschens (t_2) an; in beiden Fällen folgt MAC Brain dem MAC-Y. Dieselben MAC-Y-Werte während des Einwaschens und Auswaschens spiegeln nicht dasselbe MAC Brain wider und stellen daher nicht die gleiche Wahrscheinlichkeit der Bewusstlosigkeit dar (vergleichen Sie Teil B und C). Der klinisch relevante Wert ist MAC Brain.⁶

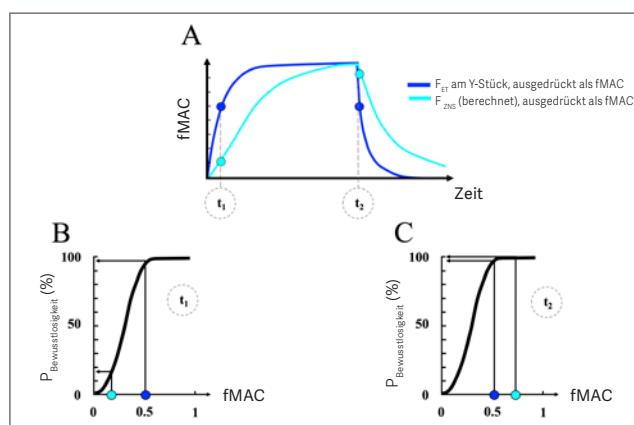


Abbildung 2

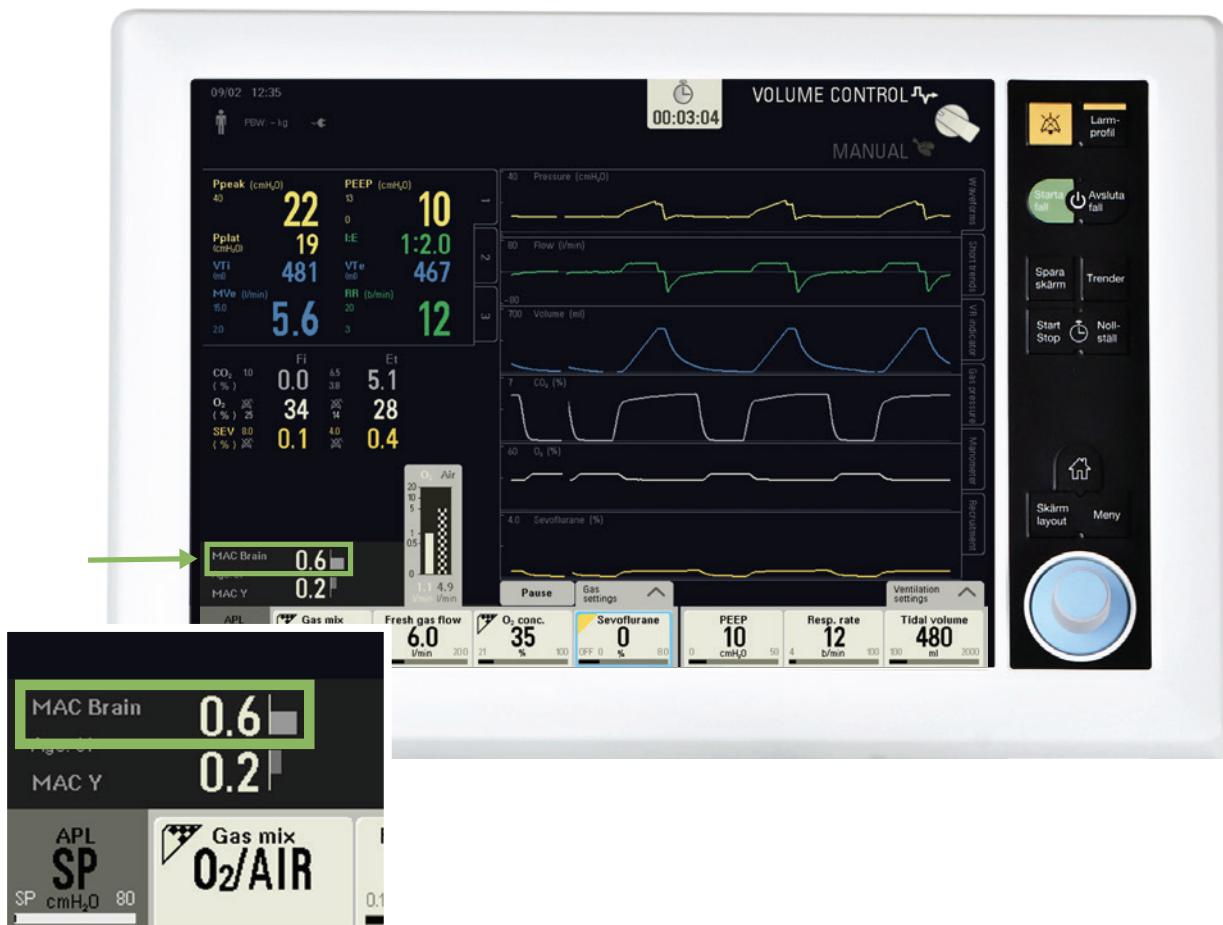
6. Hendrickx JFA, De Wolf AM. End-tidal anesthetic concentration: monitoring, interpretation, and clinical application. Clinical Focus Review. *Anesthesiology*. 2022;136:985-996



Low-Flow-Anästhesie

Indem wir das endexspiratorische Narkosemittel langsam ansteigen lassen, können wir Abfall reduzieren, da es die Notwendigkeit hoher FGFs in Kombination mit hohen Verdampferinstellungen überflüssig macht. Stattdessen wird das Mittel langsam mit einer Kombination aus einem niedrigen Frischgasfluss und einer hohen (bis zur maximalen) Einstellung des Verdampferreglers (bei manueller Steuerung des Verdampfers) oder mithilfe der Geschwindigkeitsfunktion (bei Verwendung von AGC können Benutzer/-innen eine von 8 Einwaschgeschwindigkeiten auswählen) eingewaschen. MAC Brain wird dann auf zweierlei Weise nützlich. Erstens muss der MAC Brain-Wert von 0,7 nicht überschritten werden, da 0,7 fMAC ausreicht, um die Bewusstlosigkeit sicherzustellen, insbesondere während der Wartezeit auf

den chirurgischen Eingriff. Zweitens besteht keine Notwendigkeit, 0,7 fMAC Brain schnell zu erreichen, da die intravenösen Propofol- und Opioidkonzentrationen immer noch hoch sind. Andererseits ist MAC Brain auch nützlich, um sicherzustellen, dass das Einwaschen auf 0,7 fMAC nicht zu langsam ist, insbesondere bei der Verwendung von Muskelrelaxanzien. Zur Überwachung des Übergangs von IV zu inhalativ induzierter Bewusstlosigkeit kann auch ein EEG-Prozess nützlich sein. Schließlich kann die vorausschauende Anzeige der Narkosemittelkonzentration am Ende der Expiration (während der AGC angezeigt) auch als Handbuch für das Einspülen des Narkosemittels dienen, aber da sie die Hysterese nicht berücksichtigt, wird sie am besten in Kombination mit fMAC Brain verwendet.



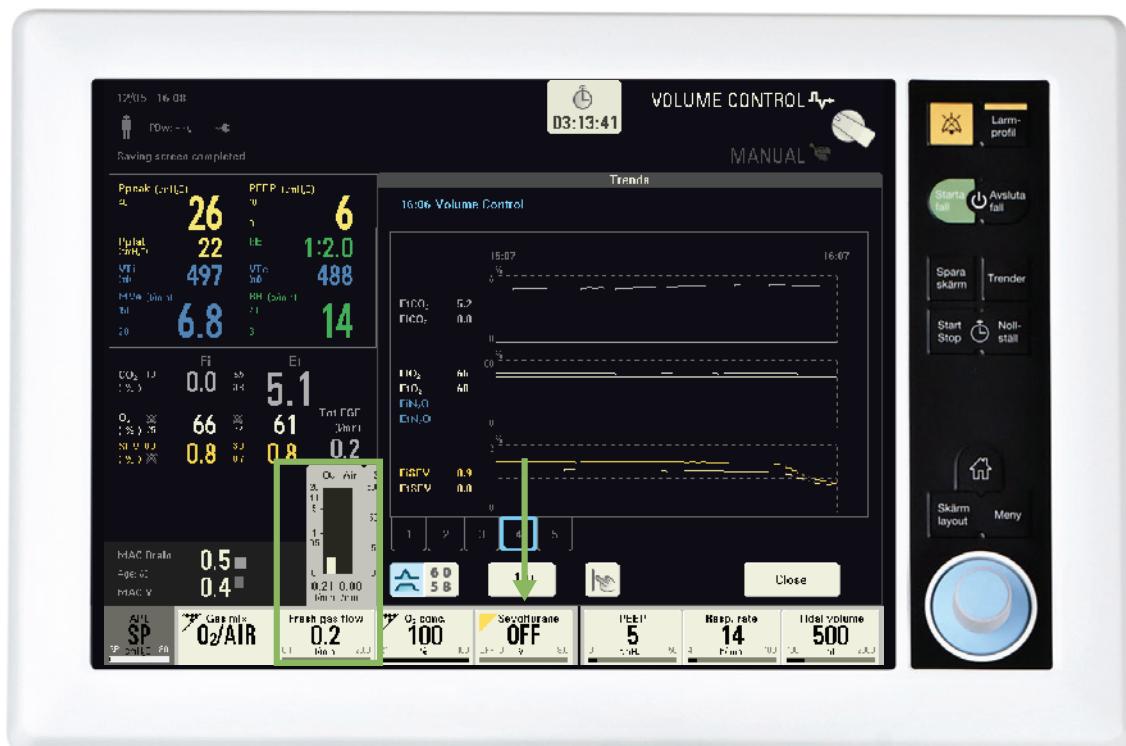
Schnelles vs. langsames alveoläres Auswaschen (Auslaufen)

Auslaufen in manueller Gaskontrolle (MGC)

Im Verlauf der Operation wird immer mehr Narkosegas im Gewebe gespeichert. Je länger der Fall, desto mehr Gewebe wird mit Narkosegas gefüllt. Die in den Geweben gespeicherte Menge des Anästhetikums kann verwendet werden, um die Anästhesie eine Weile aufrechtzuerhalten, wenn der FGF nach Beendigung der Abgabe der Anästhetika niedrig gehalten wird. Diese Technik wird als Auslaufen (coasting) bezeichnet und hilft, am Ende des Falls zusätzliches Narkosemittel zu sparen. Je länger der Vorgang vor dem Beenden der Narkosemittelabgabe dauert, desto höher ist die wäh-

rend der Erhaltung verwendete endexspiratorische Narkosemittelkonzentration, und je niedriger der nach dem Ausschalten der Narkosemittelabgabe verwendete FGF, desto länger ist das Auslaufen möglich, d. h. desto länger bleibt die endexspiratorische Narkosemittelkonzentration bei klinisch nützlichen Konzentrationen.

Während des manuell gesteuerten niedrigen Flows wird das Auslaufen durch Ausschalten des Verdampfers bei gleichzeitig niedrigem FGF-Wert gestartet.





Low-Flow-Anästhesie

Auslaufen in automatischer Gaskontrolle (AGC)

Während der AGC wird das Ziel auf „AUS“ gestellt, was das Flow Family-Gerät anweist, die Narkosemittelabgabe zu stoppen, aber die Verwendung des niedrigen Flows fortzusetzen (solange Ziel-FiO₂ unverändert bleibt). Werkzeuge, die zur Anleitung dieses Prozesses verwendet werden können, sind MAC Brain und die vorausschauende Anzeige des endexspiratorischen Narkosemittels während der AGC. Ein MAC Brain-Wert von 0,7 fMAC sorgt weiterhin für Bewusstlosigkeit, und die zur postoperativen Schmerzbehandlung verabreichten Opioide helfen, Bewegungen der Patient/-innen zu verhindern.

Wenn der chirurgische Verschluss beginnt, kann der MAC Brain auf 0,5 fMAC sinken, insbesondere bei nicht gelähmten Patient/-innen. Sobald der vollständige chirurgische Verschluss unmittelbar bevorsteht, kann das Mittel schnell ausgewaschen werden, indem der FGF während des manuellen Low-Flow erhöht wird oder indem der Zielwert F_{ET} für Sevofluran auf 0 % eingestellt wird, wodurch die Workstation veranlasst wird, ihren FGF zu erhöhen. MAC Brain ist nützlich, um ein bevorstehendes Aufwachen vorherzusagen.



4. Austausch der CO₂-Absorber

Der einzige Parameter, der einen Atemkalkbehälterwechsel veranlassen sollte, ist die eingeatmete CO₂-Konzentration. Die inspiratorische CO₂-Konzentration sollte auf 0,5 % oder 4 mmHg ansteigen. Dieser Wert gewährleistet einen optimalen CO₂-Absorbereinsatz, ohne die CO₂-Homöostase

in klinisch signifikantem Maße zu beeinträchtigen. Der resultierende Anstieg der endexspiratorischen CO₂-Konzentration um 0,5 % oder 4 mmHg ist bei nahezu allen Patient/-innen klinisch akzeptabel.⁷

5. Der Sonderfall von N₂O

Bei der Verwendung von O₂/N₂O gelten die gleichen Prinzipien wie für O₂/Air-Gemische und für die Verwendung von Sevofluran in O₂/Air. Einige Punkte verdienen besondere Aufmerksamkeit. Zunächst muss eine kurze Zeit mit hohem FGF (FGF ≥ Minutenbeatmung) verwendet werden, um N₂O einzutauen, da der Kreislauf eingespült werden muss und es eine kurzzeitige Phase mit hoher N₂O-Aufnahme gibt. Diese kurze Hochphase von 3–4 Minuten dient auch der Stickstoffentfernung. Danach kann der FGF auf 1 l/min reduziert werden. Beachten Sie, dass während der AGC das abnehmende FGF-Muster, das vom Algorithmus verwendet wird, dieselbe Funktion erfüllt (anfängliche kurzzeitige hohe FGF-Periode zur Beschleunigung des Einwaschens und zur Stickstoffeliminierung).

Stickstoff wird sich immer noch langsam ansammeln, und zwar mehr, wenn der FGF gesenkt wird. Dies wird durch einen Rückgang der endexspiratorischen O₂- und N₂O-Werte festgestellt. Dies kann toleriert werden – der geringfügige Rückgang des gesamten MAC (die Summe aus Sevofluran und N₂O MAC) kann leicht durch einen geringfügigen Anstieg der endexspiratorischen Sevofluran-Konzentration kompensiert werden. Alternativ kann der Kreislauf kurz mit einem hohen FGF gespült werden. Dies kann auch gerechtfertigt sein, wenn die O₂-Konzentration zu stark gesunken ist.

Zweitens kann während des Auslaufens die Verabreichung von N₂O fortgesetzt werden, während die Verabreichung von Sevofluran bereits eingestellt wurde. Dies unterstützt ein schnelleres initiales Erwachen. Wenn es Zeit ist, mit dem Auswaschen von N₂O zu beginnen, verwenden Sie vor dem Aufwachen kurzzeitig einen hohen FGF mit hohen O₂-Konzentrationen, um eine Diffusionshypoxie aufgrund der großen Mengen an N₂O, die aus dem Gewebe zurückströmen, zu vermeiden. Beachten Sie, dass die Verwendung von N₂O die Gesamtklimaauswirkungen des Narkosemittels beeinflusst, da N₂O ein Treibhauspotenzial (GWP20) von 264 und eine atmosphärische Lebensdauer von etwa 120 Jahren hat.⁴

6. Persönliches Feedback

Die Geräte der Flow-Familie zeigen den aktuellen Verbrauch des flüssigen Mittels während des Falls sowie den kumulierten Verbrauch am Ende des Falls an. So können Ärzt/-innen den eigenen Narkosemittelverbrauch verfolgen und die eigene Lernkurve für die Low-Flow-Anästhesie überwachen.





Low-Flow-Anästhesie

7. Literaturhinweise

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 O₂/air mixtures. *BMC-Res-Notizen*. 2014 Jul 23;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? Anästhesie und Analgesie, eingeladener Beitrag. *Anesth Analg* 2018;127:671-675
4. Intergovernmental Panel on Climate Change (Zwischenstaatliches Panel zum Klimawandel). (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum sechsten Bewertungsbericht des 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 und B. Zhou (Hrsg.)). 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. Herausgegeben von Jonathan G. Hardman, Philip M. Hopkins und Michel M.R.F. Struys. Oxford University Press, veröffentlicht im Juni 2017, Abb. 14.9
Copyright © Jan Hendrickx und Andre De Wolf 2015
7. Verbeke D, Jouwena J, De Wolf AM, Hendrickx JFA. When to replace a CO₂ absorber? *Acta Anaesthesiol Belg* 2023; 74, 43-49
8. Hendrickx JFA, Jouwena J, De Hert S, De Wolf AM. Low Flow Anesthesia – Mission Impossible? Eingeladenes Manuskript. *Acta Anaesthesiol Belg* 2023; 74, 35–41

Autoren

- Autor:** Jan Hendrickx, M.D., Ph.D. Anästhesist, A-zorg Krankenhaus, Aalst, Belgien
Professor, Abteilung für Grund- und Angewandte Medizin, Universität Gent, Gent, Belgien
Professor, Abteilung für Anästhesiologie, UZLeuven & Kardiovaskulärwissenschaften, KULeuven, Louvain, Belgien
- Co-Autor:** Andre De Wolf, M.D. Professor Emeritus für Anästhesiologie und Chirurgie
Feinberg School of Medicine, Northwestern University, Chicago, IL, USA
- Inhaltsberater:** Patrik Norell, Global Clinical Marketing Manager, Getinge, Solna, Schweden





Diese Informationen richten sich an ein Fachpublikum. Die enthaltenen Informationen dienen nur zu Informationszwecken und dürfen nicht als Ersatz für die Gebrauchsanweisung oder die Serviceanleitung herangezogen werden. Getinge übernimmt keine Verantwortung oder Haftung für Handlungen oder Unterlassungen einer Person oder Partei, die auf diesem Material basieren, und das Vertrauen in dieses Material erfolgt ausschließlich auf eigenes Risiko. Die genannten Lösungen oder Produkte sind möglicherweise in Ihrem Land nicht verfügbar oder zulässig. Diese Informationen dürfen ohne schriftliche Genehmigung von Getinge weder ganz noch teilweise kopiert oder verwendet werden.

Die in dieser Broschüre geäußerten Ansichten, Meinungen und Einschätzungen sind ausnahmslos die der befragten Personen und entsprechen nicht notwendigerweise den Ansichten von Getinge.

Hersteller · Maquet Critical Care AB · Röntgenvägen 2 SE-171 54 Solna · Schweden · +46 (0)10 335 73 00

Ihren lokalen Getinge-Vertriebspartner finden Sie unter der folgenden Adresse:

Getinge Deutschland GmbH • Kehler Str. 31 · 76437 Rastatt · Deutschland · +49 7222 932-0 · info.vertrieb@getinge.com

Getinge Österreich GmbH • Lemböckgasse 49 · 1230 Wien · Österreich · +43 1 8651487-0 · info-at@getinge.com

Getinge Schweiz AG • Quellenstrasse 41B · 4310 Rheinfelden · Schweiz · +41 61 836 47 70 · info@getinge.ch

Besuchen Sie unser Experience Center:

Getinge Experience Center Frankfurt • De-Saint-Exupéry-Straße 10 · 60549 Frankfurt am Main · Deutschland · gec.frankfurt@getinge.com

© 2025 Getinge · Getinge und **GETINGE** ✽ sind Marken oder eingetragene Warenzeichen der Getinge AB, ihrer Tochtergesellschaften oder verbundenen Unternehmen · DMS-0014587-v1 · Alle Rechte vorbehalten.

www.getinge.de