

J. Baum<sup>1</sup> · M. Berghoff<sup>2</sup> · H.-G. Stanke<sup>1</sup> · M. Petermeyer<sup>2</sup> · G. Kalff<sup>2</sup> ·

<sup>1</sup> Abteilung für Anästhesie und Intensivmedizin, Krankenhaus St. Elisabeth-Stift, Damme ·

<sup>2</sup> Klinik für Anästhesiologie der Medizinischen Fakultät der RWTH Aachen

# Niedrigflußnarkosen mit Desfluran

## Zusammenfassung

**Desfluran und Frischgasfluß:** Desfluran ist wegen seiner guten Steuerbarkeit ein gerade für die Durchführung von Niedrigflußnarkosen besonders geeignetes Inhalationsanästhetikum. Bereits nach einer nur 10 min dauernden Initialphase mit hohem Frischgasfluß kann der Flow schon vermindert werden. Die zu diesem Zeitpunkt erreichte inspiratorische Desflurankonzentration, die etwa 90% der Frischgaskonzentration beträgt, kann bei der Durchführung der Low Flow-Anästhesie (1 l/min) ohne Veränderung der Verdampfeinstellung aufrechterhalten werden, bei Minimal Flow-Anästhesie (0,5 l/min) hingegen ist eine Erhöhung der Verdampfeinstellung auf einen Wert 1–2% höher als den angestrebten inspiratorischen Sollwert erforderlich. Wird die hohe, vom Desfluranverdampfer abgegebene Maximalkonzentration von 18% genutzt, läßt sich, bei gleichzeitig substanzspezifisch geringer individueller Narkosemittelaufnahme durch den Patienten, die inspiratorische Konzentration bei einem Flow von 0,5 l/min in nur 8 min um etwa 5% erhöhen.

**Kohlenmonoxid:** Die Kohlenmonoxidhämoglobinkonzentration nimmt in 1 h von einem präoperativen Wert von  $2,13 \pm 1,05\%$  auf  $1,42 \pm 1,01\%$  ab. Werden alle Maßnahmen getroffen, ein unbeabsichtigtes Austrocknen des Atemkalks sicher zu vermeiden, besteht auch bei Durchführung von Niedrigflußnarkosen mit Desfluran kein erhöhtes Risiko einer akzidentellen Kohlenmonoxidvergiftung.

**Schlußfolgerung:** Die Anwendung von Desfluran mit hohem Frischgasfluß muß unter ökonomischen und ökologischen Aspekten kritisch betrachtet werden, so daß die routinemäßige Anwendung dieses Anästhetikums nur bei konsequenter Durchführung von Niedrigflußnarkosen zu empfehlen ist.

## Schlüsselwörter

Desfluran · Inhalationsnarkose · Kohlenmonoxid · Low Flow-Anästhesie · Minimal Flow-Anästhesie

Seit Mitte 1995 ist Desfluran in Deutschland als Inhalationsanästhetikum für den klinischen Einsatz zugelassen. Es handelt sich um einen rein fluorsubstituierten, teilhalogenierten Methylethyläther von vergleichsweise geringer anästhetischer Potenz und geringer Löslichkeit. Der MAC-Wert wird altersabhängig mit 6,0–8,0 Vol.%, der Blut-Gas-Löslichkeitskoeffizient mit  $\lambda_{B/G} = 0,41$  angegeben [5, 13]. Dies bedeutet, daß während der Narkose hohe alveoläre Konzentrationen aufrechterhalten werden müssen, dabei die Menge an Desfluran, die vom Patienten wirklich aufgenommen wird, aber vergleichsweise gering ist. Ziel der Untersuchung war die Erarbeitung eines in der Klinikroutine reproduzierbar einsetzbaren Dosierungskonzepts für Desfluran bei Niedrigflußnarkosen.

## Methodik

Das Design der vorliegenden Studie wurde durch die Ethikkommission an der Medizinischen Fakultät der RWTH Aachen genehmigt. Die Untersuchung wurde an einem unselektierten Kollektiv von Patienten der ASA-Risikogruppe I und II mit einem Lebensalter zwischen 6 und 86 Jahren am Krankenhaus in Damme und dem Universitätsklinikum Aachen durchgeführt. Die Zuordnung der Patienten zu einer der sechs Untersuchungsgruppen erfolgte ohne weitere Vorauswahl entsprechend der mit den Operationsprogrammen vorgegebenen Folge. Nach peroraler Prämedikation, intrave-

nöser Narkoseeinleitung und Relaxation wurden die Patienten endotracheal intubiert und an ein Rückatemkreissystem der Dräger Narkosegeräte Cicero EM oder Cato angeschlossen. Die Veränderungen der in- und expiratorischen Desflurankonzentration im zeitlichen Ablauf der Narkosen wurden an sechs Patientengruppen A–F unter unterschiedlichen Dosierungsschemata bei jeweils zeitlich exakt festgelegten Veränderungen von Frischgasflow und Frischgas-Desflurankonzentration untersucht (Tabelle 1). Die Anwendbarkeit der exakt definierten Dosierungsschemata im klinischen Routinebetrieb wurde an einer der Untersuchung vorausgehenden Pilotstudie an 26 Patienten überprüft.

## Monitoring

Während der Narkosen wurde kontinuierlich die in- und expiratorische Narkosegaszusammensetzung im Nebenstromverfahren mit den Dräger Gasmonitoren PM 8050 oder PM 8060 gemessen und mittels der Dräger Kommunikationssoftware MEDIBUS in Minutenintervallen online registriert. Die Dichtigkeit der genannten Narkosegeräte wurde jeden Morgen mittels der automatisch ablaufenden Selbsttestsequenzen überprüft. Streng wurde darauf geachtet, daß vor Verminderung des Frischgasflows die untere Alarmgrenze der inspiratorischen Sauerstoffkonzentration auf 30% eingestellt war. Wann immer diese Grenze erreicht wurde, wurde der Sauerstoffflow um 10% des Gesamtfrischgasflows erhöht, der Lachgasflow um den gleichen Wert erniedrigt. Die weitere Patientenüberwachung mittels intermittierender nicht-invasiver Blutdruckmessung, kontinuierlicher Kapnometrie, EKG-Ableitung und Pulsoxymetrie entsprach den heute geforderten Standards zur Qualitätssicherung. Bei den Patienten der Pilotstudie und der Gruppen A bis D wurden unmittelbar vor der Narkoseeinleitung und 45 min nach Flowreduktion venöse Blutproben entnommen, bei denen oxymetrisch die Kohlenmonoxidhämoglobinkonzentration mit einem 270 CO-Oxi-

Prof. Dr. J. Baum

Abteilung für Anästhesie und Intensivmedizin,  
Krankenhaus St. Elisabeth-Stift, Lindenstraße 3–7,  
D-49401 Damme

J. Baum · M. Berghoff · H.-G. Stanke ·  
M. Petermeyer · G. Kalff

## Low-flow anaesthesia with desflurane

### Abstract

**Objectives:** Due to its low solubility and negligible metabolism, desflurane is assumed to be especially suitable for application by low-flow anaesthetic techniques. The aim of this clinical investigation was the development of a standardised dosing scheme for low-flow and minimal-flow desflurane anaesthesia.

**Methods:** One hundred six ASA status I–II patients were assigned to six groups according to the duration of the initial high-flow phase, fresh gas flow, and fresh-gas desflurane concentration. The median age, height, body weight, and constitution of the groups was comparable. After an initial high-flow phase using 4.4 l/min, the fresh gas flow was reduced to 0.5 l/min (minimal-flow anaesthesia) or 1.0 l/min (low-flow anaesthesia). Inspired nitrous oxide concentrations were maintained at 60% to 70%. Using different standardised schemes of vaporizer settings, inspired desflurane concentrations were applied in the range from 3.4% to 8.7%, i.e., between 1 and 1.5 MAC. Inspired and expired desflurane concentrations were measured continuously by the side-stream technique and recorded on-line. Venous blood samples were taken immediately prior to induction and 45 min after flow reduction for measurement of carboxyhaemoglobin (COHb) concentration).

**Results:** In the 10- to 15-min initial phase during which a high fresh gas flow of 4.4 l/min was used, the inspired desflurane concentration reached values in the range of 90%–95% of the fresh gas concentration. In low-flow anaesthesia this concentration could be maintained without any alteration of the vaporizer setting, whereas in minimal-flow anaesthesia with flow reduction the fresh gas concentration had to be increased by 1% to 2%: The quotient calculated by division of the inspired desflurane concentration by its fresh gas concentration ( $Q=C_I/C_F$ ) ranges between 0.65 and 0.75 in minimal-flow and between 0.80 and 0.85 in low-flow anaesthesia. If use was made of the wide output range of the desflurane vaporizer, the inspired concentration could be increased rapidly by about 5% in 8 min, although the flow was kept constant at 0.5 l/min. Compared with its value prior to induction ( $2.13\pm 1.05\%$ ), the COHb concentration de-

## Originalien

creased statistically significantly by about 0.7% during the 1st hour of minimal-flow anaesthesia ( $1.42\pm 1.01\%$ ). In no case was a COHb concentration observed that exceeded threatening or even toxic values, although the soda lime was changed routinely only once a week.

**Conclusions:** The pharmacokinetic properties of desflurane, resulting in especially low individual uptake, and the wide output range of the vaporizer facilitate the use of low-flow anaesthetic techniques in routine clinical practice. Even in minimal-flow anaesthesia, the duration of the initial high-flow phase can be shortened to min. If the flow is reduced to 1 l/min, the inspired desflurane concentration achieved in the initial high-flow phase can be maintained without any alteration of the vaporizer setting. In minimal-flow anaesthesia, however, with flow reduction to 0.5 l/min, the fresh gas concentration has to be increased to a value 1%–2% higher than the inspired nominal value. Due to the wide dialling range of the desflurane vaporizer, the amount of vapour delivered into the breathing system can be increased to about 110 ml/min even at a flow of 0.5 l/min. The large amount of agent that can be delivered into the system even under low-flow conditions, together with the very low individual uptake, results in a time-constant that is sufficiently short for the clinically required rapid increase in inspired desflurane concentrations. The short time-constant of low-flow desflurane anaesthesia improves the control of the anaesthetic concentration. If all measures are taken to safely avoid inadvertent drying out of the soda lime, there is no evidence that low-flow anaesthesia with desflurane is liable to increase the risk of accidental carbon monoxide poisoning. As the use of desflurane with high-flow anaesthetic techniques becomes wasteful, its routine clinical use from an economic and ecologic standpoint will only be justified if consistently applied with low-flow or minimal-flow anaesthesia.

### Key words

Carbon monoxide · Desflurane · Inhalation anaesthesia · Low-flow anaesthesia · Minimal-flow anaesthesia

meter (Ciba-Corning Diagnostics, Fernwald) bestimmt wurde. Die routinemäßige Kalibrierung und die täglichen Qualitätskontrollen erfolgten gemäß den Angaben des Herstellers. Die Messung der Kohlenmonoxidkonzentration bei den Gruppen E und F war nicht möglich, da an dem entsprechenden Arbeitsplatz kein Oximeter zur Verfügung stand.

### Narkoseführung

Entsprechend den klinischen Erfordernissen konnte die Narkose mittels suppletorischer Dosen von 0,1 bis 0,2 mg Fentanyl vertieft werden. Führte jedoch die Anwendung des standardisierten Dosierungsschemas im Einzelfall zu inadäquater Vertiefung der Narkose mit entsprechendem Abfall des Blutdrucks, so war es der klinischen Entscheidung des Anästhesisten überlassen, vom Dosierungsschema des Studiendesigns abzuweichen. Diese Fälle konnten natürlich nicht in die Auswertung übernommen werden.

### Statistik

Die statistische Auswertung der Gaskonzentrationen erfolgt rein deskriptiv, die der oxymetrischen Analysen mittels Student t-Test für gepaarte Werte.

### Desfluranverbrauch

Abschließend wurde der Desfluranverbrauch während einer Narkose an einem normgewichtigen erwachsenen Patienten in Abhängigkeit vom Frischgasflow und der Narkosedauer mit der von Kuhn et al. angegebenen Formel [11] berechnet. Dabei wurde von der Anwendung der in der Untersuchung erarbeiteten Dosierungsrichtlinien zur Aufrechterhaltung einer inspiratorischen Desflurankonzentration von 7% ausgegangen.

### Ergebnisse

Die demographischen Daten der Patientengruppen (Tabelle 2) sind, trotz der Unterschiede im Altersmittel, bezüglich Gewicht, Größe und Konstitution vergleichbar. Die Konstitution der Patienten wird mittels des Body Mass Index [12] beschrieben:  $BMI = \text{Gewicht (kg)} / \text{Größe (m)}^2$ . Während der 15 bzw. 10 min dauernden High-Flow-Phase wurden in allen Gruppen inspiratorische Desflurankonzentrationen erreicht, die 85–95% der Frischgaskonzentration entsprachen. Das Verhältnis der inspiratorischen Konzentration  $C_I$  zur Frischgaskonzentration  $C_F$  entsprach somit dem Wert 0,85–0,95. An Hand dieses Quotienten  $Q=C_I/C_F$  soll die Kinetik der Veränderung der Desflurankonzentration im weiteren beschrieben werden (Tabellen 3 und 4).

Tabelle 1

### Standardisierte Dosierungsschemata für die Patientengruppen A–F. Exakte Festlegung der Veränderungen von Frischgasflow und Verdampfereinstellung im zeitlichen Ablauf der Narkosen

Zeit (min)	Gruppe A		Gruppe B		Gruppe C		Gruppe D		Gruppe E		Gruppe F	
	Flow (l/min)	Verdampfer (%)	Flow (l/min)	Verdampfer (%)	Flow (l/min)	Verdampfer (%)	Flow (l/min)	Verdampfer (%)	Flow (l/min)	Verdampfer (%)	Flow (l/min)	Verdampfer (%)
1	4,4	4,0	4,4	7,0	4,4	4,0	4,4	7,0	4,4	4,0	4,4	4,0
10	*	*	*	*	*	*	*	*	0,5	6,0	1,0	*
15	0,5	*	0,5	*	0,5	5,0	0,5	9,0	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
30	*	*	*	*	*	*	*	*	*	18,0	*	8,0
35	*	5,0	*	8,0	*	*	*	*	*	*	*	*
38	*	*	*	*	*	*	*	*	*	9,0	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
-85	*	0,0	*	0,0	*	0,0	*	0,0	*	*	*	*
-95	5,0	*	5,0	*	5,0	*	5,0	*	*	*	*	*

In den Gruppen A und B (Abb. 1), bei denen zum Zeitpunkt der Flowreduktion von 4,4 l/min auf 0,5 l/min die Frischgas-Desflurankonzentration nicht verändert wurde, fiel in den 20 min nach Flowreduktion die Konzentration ab, Q nahm Werte zwischen 0,79 bis 0,85 ein. Die Erhöhung der Frischgas-Desflurankonzentration um nur 1% führte in beiden Gruppen zu einer langsamen kontinuierlichen Erhöhung der inspiratorischen Desflurankonzentration. Im Moment der Erhöhung der Desflurankonzentration um 1% nahm der Wert für Q zwar auf 0,68–0,69 ab, stieg im folgenden Zeitraum von 50 min aber wieder auf einen Wert von 0,8–0,82 an. Nach Verschluss des Verdampfers fiel, trotz Beibehalt des niedrigen Frischgasflows von 0,5 l/min, die inspiratorische Desfluran-Konzentration in den folgenden 10 min um etwa 35% ab.

Wurde hingegen im Moment der Flowreduktion von 4,4 l/min auf 0,5 l/min die Frischgaskonzentration von Desfluran bei niedriger Dosierung (Gruppe C) um 1%, bei höherer Dosierung (Gruppe D) um 2% erhöht (Abb. 2), so konnte die in der initialen High-Flow-Phase erreichte inspiratorische Konzentration aufrechterhalten werden oder stieg während der folgenden 70 min gar langsam aber kontinuierlich an. Der Quotient Q nahm in der Gruppe C von 0,76 auf 0,78, in der Gruppe D von 0,71 auf 0,84 zu. Nach Verschluss des Ver-

dampfers sank die inspiratorische Konzentration wiederum in 10 min um etwa 35% gegenüber dem Ausgangswert ab.

Wenn frühzeitig, bereits nach 10 min, der Flow auf 0,5 l/min reduziert wurde, so konnte mittels Erhöhung der Desflurankonzentration im Frischgas um 2% (Gruppe E) die in der kurzen Initialphase erreichte inspiratorische Konzentration nicht nur aufrechterhalten

werden, sondern zeigte eine leicht ansteigende Tendenz (Abb. 3). In den der Flowreduktion folgenden 20 min nahm Q von 0,58 auf 0,65 zu. Bei Einstellung der vom Verdampfer abgegebenen Maximalkonzentration von 18% stieg die inspiratorische Konzentration trotz Beibehalts des Flows von 0,5 l/min innerhalb von nur 8 min auf 8,7% an. Q stieg in dieser kurzen Zeit von 0,22 auf 0,48 an.

Tabelle 2  
Demographische Daten

Gruppe	A	B	C	D	E	F
Anzahl	n=22	n=22	n=21	n=21	n=10	n=10
<b>Alter</b>						
MW+STD	40,1±21,1	47,0±21,9	54,4±21,1	32,8±11,2	47,2±16,8	37,4±16,8
Median	35,5	45	59	32,5	54,5	33,5
Min./Max.	6/86	10/83	11/83	17/56	11/64	19/71
<b>Gewicht</b>						
MW+STD	69±12,7	74,4±19,2	74,8±16,2	74,8±17,6	73,9±16,8	83,2±16,6
Median	70,5	78,5	73	68	76	74
Min./Max.	26/90	32/104	48/115	52/120	40/102	62/116
<b>Größe</b>						
MW/STD	1,67±0,1	1,70±0,14	1,74±0,1	1,73±0,1	1,66±0,1	1,74±0,1
Median	1,70	1,73	1,74	1,73	1,72	1,77
Min./Max.	1,31/1,81	1,38/2,00	1,58/1,89	1,53/1,89	1,40/1,80	1,50/1,90
<b>BMI</b>						
MW+STD	24,4±4,1	25,6±5,6	24,6±4,0	24,8±4,7	26,4±4,3	27,2±3,9
Median	24,1	26,5	24,3	22,6	26,9	28,1
Min./Max.	15,2/35,2	14,2/35,8	17,6/33,1	18,5/35,5	20,6/29,3	21,9/32,4
<b>Geschlecht</b>						
	10 F/12 M	9 F/13 M	11 F/10 M	6 F/15 M	6 F/4 M	5 F/5 M



Tabelle 3  
Veränderung des Quotienten  $Q=C_i/C_e$  und der Mittelwerte der in- und expiratorischen Desflurankonzentration im zeitlichen Ablauf der Narkosen

	Gruppe A		Gruppe B		Gruppe C		Gruppe D	
	Q	insp. expsp.	Q	insp. expsp.	Q	insp. expsp.	Q	insp. expsp.
I	0,95	3,8% 3,4%	0,90	6,3% 5,7%	0,95	3,8% 3,4%	0,91	6,4% 5,7%
II	0,85	3,4% 3,1%	0,79	5,5% 5,1%	0,72	3,6% 3,3%	0,74	6,7% 6,1%
III	0,76	3,8% 3,4%	0,74	5,9% 5,4%	0,74	3,7% 3,4%	0,79	7,1% 6,6%
IV	0,80	4,0% 3,7%	0,78	6,2% 5,7%	0,76	3,8% 3,5%	0,83	7,5% 7,1%
V	0,82	4,1% 3,8%	0,80	6,4% 6,0%	0,78	3,9% 3,6%	0,84	7,6% 7,3%
VI	-	2,66% 2,74%	-	4,08% 4,16%	-	2,57% 2,62%	-	5,1% 5,24%

I: 15 min n. Einleitung; II: 20 min n. Flowreduktion; III: 40 min n. Flowreduktion; IV: 60 min n. Flowreduktion; V: unmittelbar vor Verschluss des Verdampfers; VI: Abschluss der online Datenerfassung

Tabelle 4  
Veränderung des Quotienten  $Q=C_i/C_e$  und der Mittelwerte der in- und expiratorischen Desflurankonzentration im zeitlichen Ablauf der Narkosen

	Gruppe E		Gruppe F	
	Q	insp. expsp.	Q	insp. expsp.
I	0,87	3,5% 3,1%	0,88	3,5% 3,1%
II	0,65	3,9% 3,5%	0,85	3,4% 3,1%
II <sub>2</sub>	0,48	8,7% 7,4%		
III	0,80	7,2% 6,7%	0,77	6,1% 5,6%

I: 10 min n. Einleitung; II: 20 min n. Flowreduktion; II<sub>2</sub>: 8 min n. maximaler Öffnung des Verdampfers auf 18%; III: Abschluss der online Datenerfassung

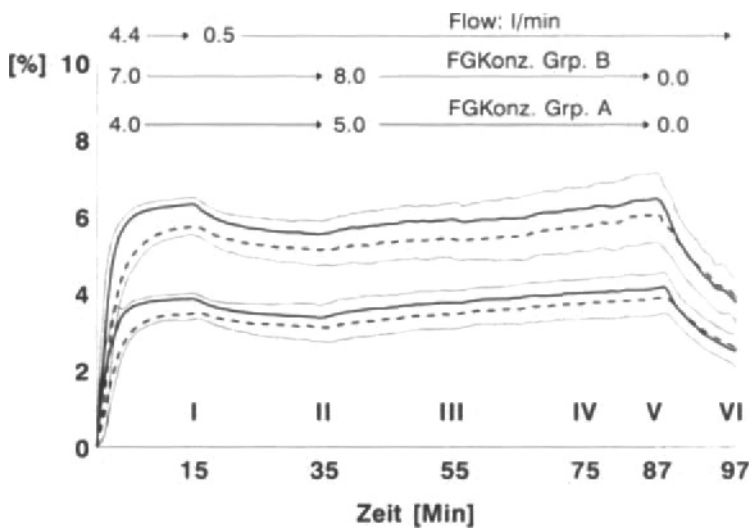


Abb. 1 ▲ Inspiratorische (—) und expiratorische (-----) Desflurankonzentration (Mittelwerte) im zeitlichen Ablauf der Narkosen in Gruppe A und B. Einhüllende Kurven: Standardabweichung. (FGKonz.=Frischgaskonzentration [%])

20 min nach Verminderung der Frischgaskonzentration auf einen Wert, der etwa 1% höher als der neue Sollwert lag, betrug der Wert für Q wiederum 0,80.

In der Low Flow-Gruppe (Gruppe F), in der nach einer 10 min dauernden Initialphase der Flow auf 1,0 l/min reduziert wurde, blieben die Desflurankonzentrationen im Atemsystem bei unveränderter Frischgaskonzentration stabil, Q nahm innerhalb von 20 min nur unwesentlich von 0,88 auf

0,85 ab (Abb. 4). Bei einer Erhöhung der Frischgaskonzentration um 4% nahm die inspiratorische Konzentration in den folgenden 20 min vergleichsweise langsam zu, Q erreichte in dieser Zeit jedoch wiederum einen Wert von 0,77.

#### Kohlenmonoxid-Hämoglobinkonzentration

Während der Durchführung von Desflurannarkosen im Rahmen dieser Un-

tersuchung wurden bei insgesamt 112 Patienten venöse Blutproben entnommen und oxymetrisch untersucht. Es handelt sich bei allen diesen Patienten (Pilotstudie und Gruppen A–D) bezüglich der Variation des Frischgasflows um eine einheitliche Gruppe, so daß die statistische Auswertung mittels Student-t-Test für gepaarte Werte gerechtfertigt ist. Die Kohlenmonoxid-Hämoglobin (COHb)-Konzentration betrug unmittelbar vor Einleitung  $2,13 \pm 1,05\%$  (Median: 1,9%, Min. 0,3%, Max. 6,8%) und 45 min nach Flowreduktion  $1,42 \pm 1,01\%$  (Median: 1,2, Min. 0%, Max. 6,0%). Die Differenz von 0,7% war mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p < 0,0001$  hochsignifikant.

#### Diskussion

Die den Anästhesisten heute zur Verfügung stehenden Narkosegeräte haben in der Regel ein vergleichsweise großes apparatives Gasvolumen von etwa 4–6 l und sind mit einem in den Frischgasstrom eingeschalteten Verdampfer ausgerüstet. Dessen Abgabeleistung ist in der Regel auf eine Maximalkonzentration limitiert, die dem 3fachen des MAC-Werts des jeweiligen Anästhetikums entspricht. Unter diesen apparativen Gegebenheiten nimmt die Differenz zwischen der inspiratorischen und der Frischgaskonzentration des

Narkosemittels sowie die Zeitkonstante des Systems um so mehr zu, je niedriger der Frischgasfluß und je höher die Löslichkeit des gewählten Anästhetikums ist [1, 2, 6]. Die Zeitkonstante ist ein Maß für die Zeit, in der Veränderungen der Frischgaszusammensetzung zu entsprechenden Veränderungen der Gaszusammensetzung im Narkosesystem führen [4]. Je niedriger die Zeitkonstante ist, desto besser ist die Steuerbarkeit der Narkose [6, 9]. Die Zeitkonstante nimmt ab, wenn der individuelle Uptake gering, oder die pro Zeiteinheit ins Narkosesystem eingespeiste Narkosemittelmenge groß ist. Desfluran hat von allen volatilen Inhalationsanästhetika die geringste Löslichkeit und einen vernachlässigbar niedrigen Metabolismus. Entsprechend kurz sind die Ein- und Auswaschphasen [5]. Trotz der vergleichsweise geringen Potenz dieses Anästhetikums, was die Etablierung und Aufrechterhaltung eines entsprechend hohen alveolären Partialdrucks erfordert, ist wegen der geringen Löslichkeit die Aufnahme von Desfluran durch den Patienten (Uptake) gering. So war zu erwarten, daß Desfluran wegen seiner günstigen pharmakokinetischen Kenndaten in besonderem Maße zur Durchführung von Niedrigflußnarkosen geeignet sei.

### Einwaschphase von Desfluran

In Übereinstimmung mit den Untersuchungsergebnissen anderer Autoren erwies sich die initiale Einwaschphase als besonders kurz, so daß bereits 10 min nach Einleitung mit einem Flow von 4,4 l/min eine inspiratorische Desflurankonzentration erreicht wird, die etwa 85% der Frischgaskonzentration beträgt:  $C_I/C_F \approx 0,85$ . Da nach dieser Zeit der Stickstoff bereits nahezu vollständig aus den gasführenden Kompartimenten ausgewaschen ist, kann schon zu diesem frühen Zeitpunkt der Frischgasflow auf 0,5 l/min reduziert werden. Dies kann aber nur beim Einsatz von solchen Narkosegeräten empfohlen werden, die mit einem Narkosegasreservoir ausgestattet sind, da im individuellen Einzelfall zu diesem Zeitpunkt die Lachgasaufnahme noch relativ hoch ist, so daß ggf. wegen der frühzeitigen Flowreduktion mit Gasvolumenimbalancen gerechnet werden muß [1, 2].

### Flowreduktion und Verdampfereinstellung

Bei der Durchführung von Minimal Flow-Narkosen mit einem Frischgasfluß von 0,5 l/min und unveränderter Verdampfereinstellung stellt sich nach Flowreduktion eine inspiratorische Desflurankonzentration von etwa 75% der Frischgaskonzentration ein:  $C_I/C_F \approx 0,75$ . Im klinisch relevanten Dosierungsbereich einer inspiratorischen Desflurankonzentration zwischen 4,0% bis 8,0% reicht dann eine Erhöhung der Frischgaskonzentration um nur 1,0% bis 2,0% zum Zeitpunkt

der Flowreduktion aus, um die während der Initialphase erreichte Desflurankonzentration im Narkosesystem zumindest aufrechtzuerhalten. Bei der Durchführung von Low Flow-Narkosen mit einem Flow von 1,0 l/min kann die Verdampfereinstellung unverändert bleiben, Q nimmt dann einen Wert von etwa 0,85 an. Bei Niedrigflußnarkosen mit Desfluran stellen sich in Abhängigkeit vom Frischgasflow und der aktuellen Verdampfereinstellung inspiratorische Konzentrationen ein, die etwa 65 bis 85% der Frischgaskonzentration betragen.

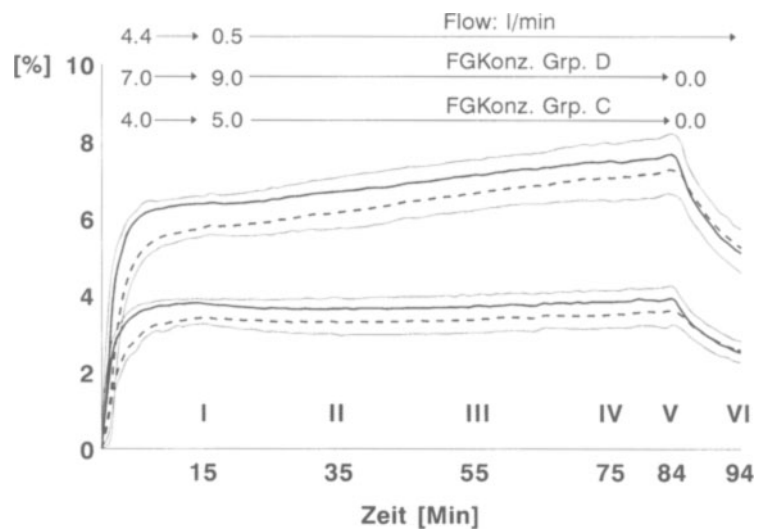


Abb. 2. ▲ Inspiratorische (—) und expiratorische (-----) Desflurankonzentration (Mittelwerte) im zeitlichen Ablauf der Narkosen in Gruppe C und D. Einhüllende Kurven: Standardabweichung. (FGKonz.=Frischgaskonzentration [%])

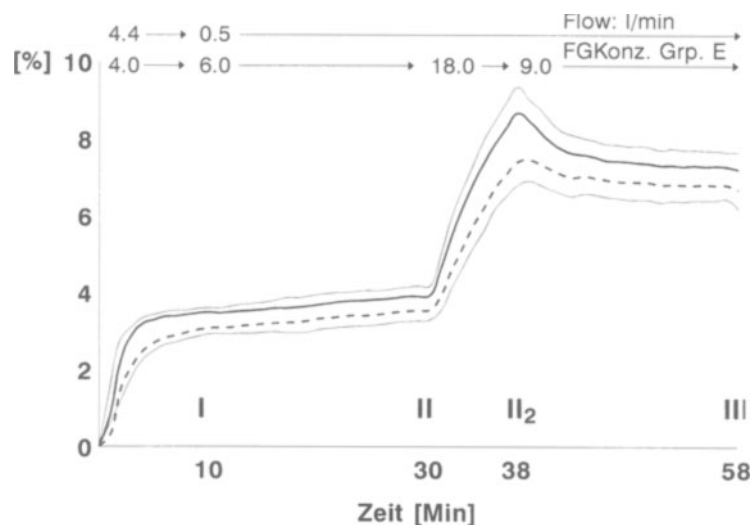


Abb. 3. ▲ Inspiratorische (—) und expiratorische (-----) Desflurankonzentration (Mittelwerte) im zeitlichen Ablauf der Minimal Flow Narkosen in Gruppe E. Einhüllende Kurven: Standardabweichung. (FGKonz.=Frischgaskonzentration [%])

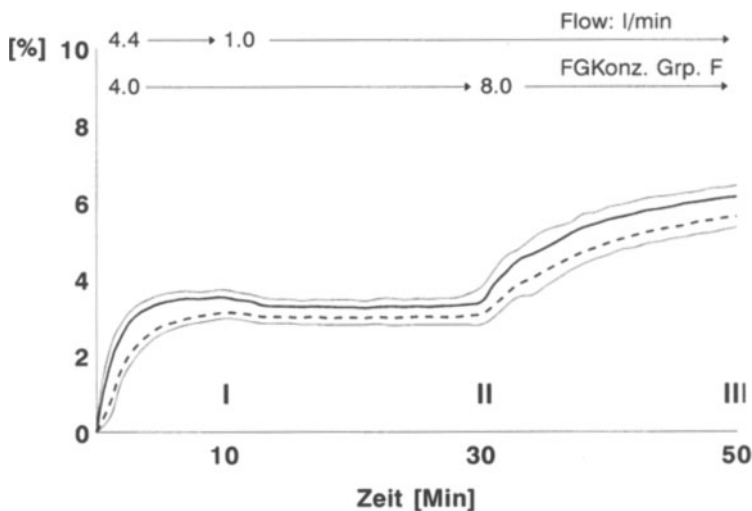


Abb. 4. ▲ Inspiratorische (—) und expiratorische (-----) Desflurankonzentration (Mittelwerte) im zeitlichen Ablauf der Low Flow-Narkosen in Gruppe F. Einhüllende Kurven: Standardabweichung. (FGKonz.=Frischgas-konzentration [%])

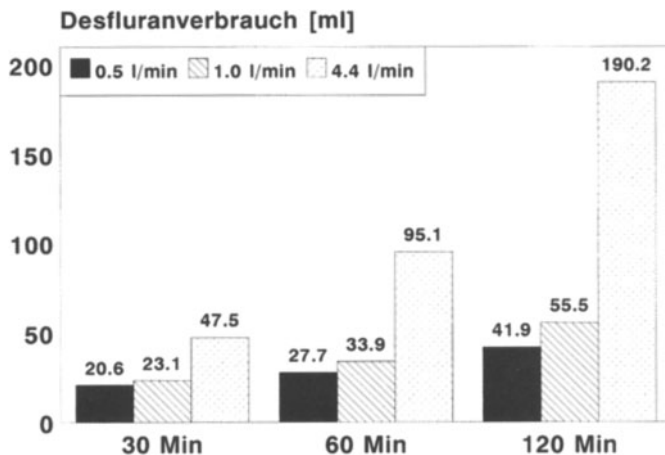


Abb. 5. ▲ Verbrauch an flüssigem Desfluran bei Minimal Flow (0,5 l/min), Low Flow (1,0 l/min) und High Flow-Narkosen (4,4 l/min) in Abhängigkeit von der Narkosedauer bei der Annahme einer inspiratorischen Desflurankonzentration von 7% (1 ml flüssiges Desfluran ergeben bei 20° C etwa 208 ml Desflurandampf)

### Vertiefung der Narkose

Wegen der geringen anästhetischen Potenz von Desfluran haben die substanzspezifischen Verdampfer einen außergewöhnlich großen Dosierungsbereich zwischen 0 und 18%. So ist es möglich, auch bei niedrigstem Frischgasflow vergleichsweise große Mengen an dampfförmigem Desfluran in das Narkosesystem einzuspeisen. Bei Einstellung der Maximalkonzentration werden bei einem Frischgasflow von 0,5 l/min 110 ml dampfförmiges Desfluran, bei Einstellung der Maximalkonzentration an einem Isofluranverdampfer jedoch nur 26 ml dampfförmiges Isofluran pro min in das System

abgegeben. Wegen des gleichzeitig geringen individuellen Uptakes können Niedrigflußnarkosen mit Desfluran auch unter Beibehalt des niedrigen Flows in klinisch akzeptablem Zeitraum vertieft werden. Eine Vertiefung mit kurzer Zeitkonstante wird erreicht, wenn die Desflurankonzentration im Frischgas auf das 2fache des angestrebten Konzentrationssollwerts eingestellt wird (Abb. 3). Wird aber am Verdampfer nur die Konzentration eingestellt, die dem angestrebten Sollwert entspricht (Abb. 4), so ist auch beim Einsatz von Desfluran mit einer verhältnismäßig langen Zeitkonstante zu rechnen.

Nach Verschluss des Verdampfers kommt es bei Beibehalt eines sehr niedrigen Frischgasflows von 0,5 l/min zu einem raschen Abfall der Desflurankonzentration um 35% gegenüber dem Ausgangswert innerhalb von 10 min.

### Kohlenmonoxidbildung

Desfluran reagiert heftiger als Enfluran und Isofluran mit völlig trockenem Atemkalk unter Bildung von Kohlenmonoxid (CO) [7]. Bei in vitro-Untersuchungen wurden extrem hohe CO-Konzentrationen in Rückatemsystemen gemessen [8]. Dies ist um so mehr zu bedenken, als bei Niedrigflußnarkosen wegen des geringen Auswascheffekts ggf. mit einer Akkumulation von Fremdgasen zu rechnen ist [2]. Bei der Durchführung von Minimal Flow-Narkosen mit Desfluran im Rahmen dieser Untersuchung wurde in keinem einzigen Fall der untersuchten Gruppen eine akzidentelle Erhöhung der COHb-Konzentration beobachtet, obwohl der Atemkalk (Natriumkalk=Sodalime) nur alle 7 Tage routinemäßig gewechselt wurde. Die COHb-Konzentrationswerte stimmen in der Größenordnung mit denen überein, die nach 45 min dauernder Minimal Flow-Narkose mit Enfluran und Isofluran gemessen wurden [3]. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde darüber hinaus die COHb-Konzentration auch vor Narkoseeinleitung bestimmt. Gegenüber diesem Ausgangswert kommt es nach einstündiger Minimal Flow-Narkose mit Desfluran sogar zu einem signifikanten Abfall der COHb-Konzentration um 0,7%, wie er in gleicher Größenordnung von der eigenen Arbeitsgruppe auch bei Minimal Flow-Narkosen mit Isofluran und Enfluran gemessen wurde. Die Ursache ist in der Erhöhung des Sauerstoffpartialdrucks im Atemgas zu sehen, die zu einer unmittelbar zu Beginn der initialen High-Flow-Phase bereits einsetzenden Auswaschung des Kohlenmonoxids führt [14]. Werden gewissenhaft alle Maßnahmen ergriffen, ein akzidentelles Austrocknen des Atemkalks zu verhindern, so ist auch bei Einsatz von Desfluran weder die CO-Bildung am Atemkalk noch die bei Niedrigflußnarkosen mögliche CO-Akkumulation ein klinisch relevantes Problem.



## Desfluranverbrauch

Die geringe anästhetische Potenz von Desfluran erfordert die Aufrechterhaltung einer vergleichsweise hohen alveolären Konzentration. Wird dieses Anästhetikum mit hohem Frischgasfluß appliziert, so werden erhebliche Mengen unverbrauchten Desflurans zusammen mit dem Überschußgas aus dem System abgeleitet. Zur Wiederherstellung der erforderlichen hohen alveolären Konzentration muß dann mit dem Frischgas eine entsprechend große Menge an dampfförmigem Narkosemittel zum Ausgleich dieses Verlusts wieder in das System eingespeist werden. In Abhängigkeit von der Narkosedauer kommt es zu unverhältnismäßig hohem Desfluranverbrauch, obwohl der individuelle Uptake gerade bei diesem Anästhetikum besonders niedrig ist (Abb. 5). Die Anwendung von Inhalationsanästhetika niedriger Löslichkeit und geringer anästhetischer Potenz ist somit unter ökonomischen [6, 10] aber auch ökologischen Aspekten nur bei adäquater Nutzung der Rückatmung mittels konsequenter Durchführung von Niedrigflußnarkosen zu rechtfertigen.

## Schlußbemerkung

Die klinische Anwendung standardisierter Dosierungsschemata diene dazu, die Charakteristik von Desfluranarkosen mit niedrigem Frischgasfluß reproduzierbar darzustellen und so verlässliche Regeln für die Narkoseführung zu erarbeiten: Die initiale Narkosephase mit hohem Frischgasfluß kann auch bei Minimal Flow-Narkosen auf 10 min verkürzt werden. Eine angestrebte inspiratorische Desflurankonzentration läßt sich bei einem Flow von 1 l/min

ohne Korrektur der Verdampfereinstellung aufrechterhalten, bei einem Flow von 0,5 l/min muß die Frischgaskonzentration etwa 1–2% höher als der gewünschte inspiratorische Konzentrationsollwert sein. Wird von der hohen Abgabeleistung des Verdampfers Gebrauch gemacht, ist die Zeitkonstante auch bei sehr niedrigem Frischgasflow kurz. Im individuellen Einzelfall jedoch bedarf die Dosierung von Desfluran selbstverständlich der klinisch orientierten Anpassung an die Reaktion des Patienten und die Erfordernisse der Operation.

## Fazit für die Praxis

Aufgrund seines niedrigen Blut-Gas-Löslichkeitskoeffizienten von 0,41 ist Desfluran ein gut geeignetes Inhalationsanästhetikum für die Durchführung von Niedrigflußnarkosen. Gegenstand der Untersuchung an 106 Patienten war der Zusammenhang zwischen Verdampfereinstellung, Frischgasfluß und inspiratorischer Desflurankonzentration.

## Ergebnisse

- Bereits nach einer nur 10 min dauernden Initialphase mit hohem Frischgasfluß kann der Flow vermindert werden, wobei die zu diesem Zeitpunkt erreichte inspiratorische Desflurankonzentration etwa 90% der Frischgaskonzentration beträgt.
- Wird eine Low Flow Anästhesie (1 l/min) durchgeführt, kann die Verdampferkonzentration beibehalten werden.
- Wird eine Minimal Flow Anästhesie (0,5 l/min) durchgeführt, muß die Verdampferkonzentration um etwa 1–2% erhöht werden.
- Ein Anstieg der Kohlenmonoxidhämoglobinkonzentration aufgrund einer Reaktion von Desfluran mit trockenem Atemkalk trat nicht auf.

## Literatur

1. Baum J (1994) **Niedrigflußnarkosen**. *Anaesthetist* 43:194–210
2. Baum JA (1996) **Low-flow anaesthesia. The theory and practice of low flow, minimal flow and closed system anaesthesia**. Butterworth-Heinemann, Oxford, pp 31–39, pp 87–131
3. Baum J, Sachs G, v d Driesch Ch, Stanke HG (1995) **Carbon monoxide generation in carbon dioxide absorbers**. *Anesth Analg* 81:144–146
4. Conway CM (1984) **Closed and low flow systems. Theoretical considerations**. *Acta Anaesth Belg* 34:257–263
5. Eger II EI (1995) **Physicochemical properties and pharmacodynamics of desflurane**. *Anaesthesia [Suppl]* 50:3–8
6. Eger II EI (1995) **Economic analysis and pharmaceutical policy: a consideration of the economics of the use of desflurane**. *Anaesthesia [Suppl]* 50:45–48
7. Fang ZX, Eger II EI, Laster MJ, Chortkoff BS, Kandel L, Ionescu P (1995) **Carbon monoxide production from degradation of desfluran, enflurane, isoflurane, halothane and sevoflurane by soda lime and baralyme®**. *Anesth Analg* 80:1187–1193
8. Frink EJ, Nogami W, Morgan SE, Salmon R (1995) **Desflurane anaesthesia using dry baralyme produces high carboxyhemoglobin levels in pigs**. *Anesthesiology* (No 3A) 83:A294
9. Hargasser S, Hipp R, Breinbauer B, Mielke L, Entholzner E, Rust M (1995) **A lower solubility recommends the use of desflurane more than isoflurane, halothane, and enflurane under low-flow conditions**. *J Clin Anesth* 7:1–5
10. Hendrickx J, De Wolf AM (1995) **Costs of administering desflurane or isoflurane via a closed circuit**. *Anesthesiology* 80:240–242
11. Kuhn I, Wissing H, Vettermann J (1995) **Ein neues Arbeitsblatt zur Berechnung von Narkosekosten**. *Anästh Intensivmed* 36:242–248
12. Norgan NG (1994) **Population differences in body composition in relation to the body mass index**. *Eur J Clin Nutr [Suppl]* 3] 48:S10–S25
13. Olsson GL (1995) **Inhalational anaesthesia at the extremes of age: paediatric anaesthesia**. *Anaesthesia [Suppl]* 50:34–36
14. Zacharowski K (1995) **Die unblutige und präzise Bestimmung von Carboxyhämoglobin und Blutvolumen**. Inauguraldissertation aus dem Institut für Physiologie und Pathophysiologie der Johannes Gutenberg-Universität, Mainz, S 54 u 87