

Minimal-Flow Inhalationsnarkosen im geschlossenen Kreissystem Zum Einsatz von Narkosegeräten mit Verdampfern im Atemkreis (VIC)

Dieter Müller, Soeren Nielsen

In Kürze

Die Inhalationsnarkose mit Minimal-Flow-Geräten, bei denen sich die Verdampfer im Atemkreis befinden stellt eine Alternative zu den meist aus der Humanmedizin stammenden Narkosegeräten dar, bei denen die Präzisionsverdampfer außerhalb des Atemkreises angeordnet sind. Die so genannten VIC-Narkosegeräte ermöglichen einen ökonomisch und ökologisch sinnvollen besonders sparsamen Umgang mit den Narkosegasen. Mit ihnen können zu konkurrenzlos niedrigen Betriebskosten sichere Inhalationsnarkosen gefahren werden. Allerdings gilt es die Funktionsprinzipien der unterschiedlichen Narkosesysteme zu verstehen, bevor man sie einsetzt. In dem Artikel werden die Charakteristika, Einsatzmöglichkeiten, Vor- und Nachteile der Minimal-Flow-Narkosegeräte erläutert.

Einleitung

Die Kontamination der Raumluft durch Anästhesiegase stellen in Operations- und besonders in Aufwächerräumen eine ernstzunehmende Gefährdung des Personals und eine erhebliche Umweltbelastung dar. Ein weiterer Gesichtspunkt für den sparsamen Umgang mit volatilen Inhalationsnarkotika ist deren relativ hoher Preis (Isofluran, Sevofluran, Desfluran) nachdem der Einsatz von Halothan immer mehr zurückgeht. Als Alternative zur Inhalationsanästhesie wurde in der Humanmedizin die total intravenöse Anästhesie (TIVA) entwickelt und dort als Standardverfahren etabliert. Sie besteht aus einer hypnotischen bzw. anästhetischen Komponente (z.B. Propofol) in Kombination mit einer analgetischen Komponente (z.B. Fentanyl-Tropf). Es sei jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen, dass auch bei der TIVA die Patienten grundsätzlich intubiert sind und mit medizinischem Sauerstoff versorgt werden. In der Tiermedizin wird die TIVA in der Routinepraxis für größere Standardeingriffe bis heute eher sporadisch eingesetzt. Für kurze, wenig schmerzhaft Eingriffe ist sie etabliert. Dabei wird Propofol (mit oder ohne Prämedikation) als Bolusinjektion, im Tropf oder über eine Infusionspumpe kontinuierlich zugeführt. Eine Prämedikation senkt die benötigte Propofoldosis erheblich. Auch in der Tiermedizin muss für die Durchführung der TIVA eine entsprechende Ausrüstung vorgehalten werden, um diese Anästhesieform sicher zu machen. Freie Atemwege (endotracheale Intubation), Sauerstoffversorgung und künstliche Beatmung (IPPV = intermittierende positive Druckbeatmung) sollten stets verfügbar sein um Narkosezwischenfällen (bei Propfoleinsatz meist Hypoxie und Atemstillstand) beherrschen zu können. Wegen des doch beträchtlichen Aufwandes und der Kosten, die durch den Einsatz von Propofol entstehen, bevorzugen die meisten Veterinäranaesthetisten in der westlichen Welt nach wie vor die Inhalationsanästhesie bei Eingriffen, die eine Vollnarkose voraussetzen und eine gewisse Zeit dauern.

Atmungssysteme

Für die praktische Anwendung unterscheidet man zwei Arten von Atmungssystemen:

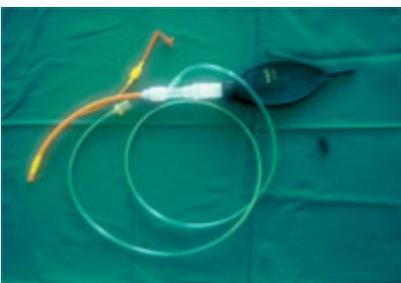
- Geräte ohne Rückatmung
- Geräte mit Rückatmung

Bei Geräten ohne Rückatmung wird das CO₂ Expirium durch einen hohen Gasflow ausgewaschen. Dieser besteht normalerweise einer Mischung von Sauerstoff und ev. Lachgas.

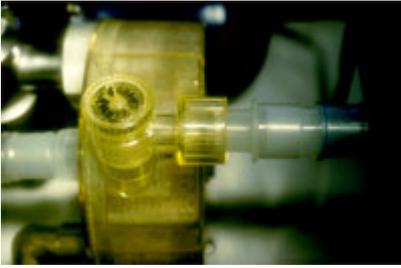
Kreissysteme

- **offen**: Frischgasfluss \gg Atemvolumen
 - keine Rückatmung von Narkosegasen
 - O_2 Flow > 200 ml/kg und Minute
- **halb-geschlossen**: Frischgasfluss $>$ Atemvolumen
 - teilweise Rückatmung
 - O_2 Flow 5 bis 200 ml/kg und Minute
- **geschlossen**: Frischgasfluss = Atemvolumen
 - vollständige Rückatmung
 - ökonomisch und umweltschonend

Ein volatiles Anästhetikum wird dem Trägergas hinzugefügt um die Anästhesie zu gewährleisten. Bei diesen offenen Systemen wird eine beachtliche Gasmenge mitsamt unverbrauchtem Anästhetikum permanent in die Umwelt freigesetzt.



Die Entsorgung der Gase geschieht meist durch die einfache Ableitung nach außen. Es ist aber dringend anzuraten am Auslass Aktivkohlefilter - gleichgültig welches System benutzt wird - zum gefahrlosen Auffangen der Narkosegase zu verwenden. Aus ökonomischen und ökologischen Gründen sind offene Systeme ohne Rückatmung heute sehr kritisch zu sehen.



Bei Geräten mit Rückatmung wird das überschüssige CO₂ in einem Behälter mit Atemkalk absorbiert und dem Atmungskreislauf entzogen. Dies ermöglicht einen wesentlich niedrigeren Gasflow des Trägergases. Im Idealfall geht dabei kein Gas in die Atmosphäre verloren. Die Praktiker sollten aus den genannten Gründen ihr Augenmerk auf ein geschlossenes System richten, welches einen niedrigen Gasflow ermöglicht, denn hierbei wird wenig Sauerstoff und Narkosegas verbraucht. In logischer Konsequenz bedeutet dies, dass nicht aus ökonomischen Gründen auf die sichere Inhalationsanästhesie verzichtet zu werden braucht, denn es werden nur soviel Sauerstoff und Anästhetikum zugeführt (zuzüglich eines Sicherheitsaufschlages) wie vom Patienten metabolisiert.

Narkosesysteme mit Rückatmung

Es gibt unterschiedliche Konstruktionsprinzipien bei Inhalationsnarkosegeräten. Bei den Kreissystemen zirkuliert der Atemstrom des Patienten, wobei ihm Kohlendioxid entzogen, Sauerstoff und Narkosegas zugeführt werden. Man unterteilt die Kreissysteme nach dem Verhältnis von Frischgasvolumen zu Atemvolumen. Es gibt geschlossene und halb geschlossene Systeme.

Hunde und Katzen haben einen Sauerstoffbedarf von etwa 10 ml/kg und Minute. Ein Sauerstofffluss vom Narkosegerät in Höhe von 5 ml/kg und Minute bedeutete in der Theorie ein geschlossenes System. Im halb-geschlossenen System liegt der Sauerstofffluss zwischen 5 und 200 ml/kg und Minute. Beim offenen System wird ein Sauerstofffluss von über 200 ml/kg und Minute benötigt.

In der Praxis ist der Sauerstofffluss, dann ausreichend, wenn der Atembeutel angemessen gefüllt ist. Bei kleinen Patienten sind dies weniger als 100 ml/Minute, selbst größere Tiere benötigen nur 200-300 ml/Minute. Der Sauerstoff-Grundumsatz ist während einer Anästhesie niedriger als im Wachzustand. Das vollständig geschlossene System ist der ökonomischste und auch umweltschonendste Weg Inhalationsnarkosen durchzuführen.

Position der Verdampfer

Grundsätzlich können sich die Verdampfer innerhalb oder außerhalb des Atemkreissystems befinden.

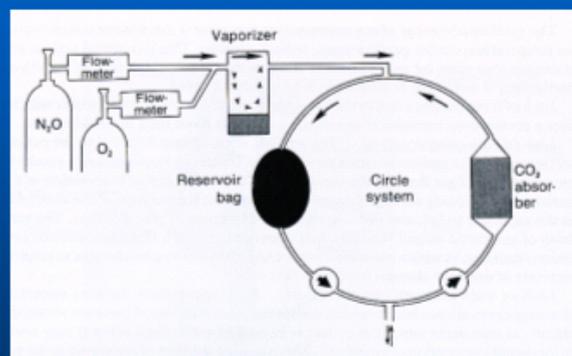
Gerätetypen

- Kreissysteme
 - Atemstrom des Patienten zirkuliert im Kreis
 - CO₂ Absorption im Absorber (Atemkalk)
 - O₂ externe Zufuhr
 - Narkosegaszufuhr aus Verdampfer
- Sauerstoffbedarf von Hunden und Katzen
 - 10 ml /kg und Minute

Verdampfer außerhalb des Kreissystems (VOC = Vapor-Out-Off-Circle)

Die hier eingesetzten Verdampfer sind aufwendige, temperaturkompensierte, exakt kalibrierte und dementsprechend teure Apparaturen. Sie liefern eine genau definierte und einstellbare Konzentration des Narkosegases bei den unterschiedlichsten Umgebungstemperaturen. Sie sind nur für ein bestimmtes Narkosegas kalibriert und zugelassen.

Verdampfer außerhalb des Atemkreises



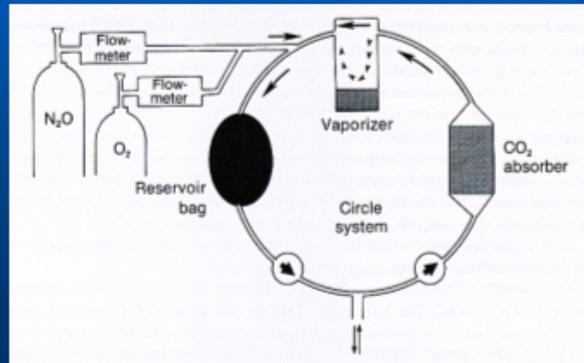
Verdampfer innerhalb des Kreissystems (VIC = Vapor-In-Circle)

Vertreter dieser Gattung sind das Komesaroff- und Stephens-Narkosegerät. Sie sind einfacher in der Konstruktion, leichter und kostengünstiger. Sie können nicht auf eine prozentuale Volumenkonzentration kalibriert werden, weil ihre Verdampfungsleistung von der Gasbewegung im Kreissystem direkt abhängig ist.



Bei diesem System enthält außerdem das ausgeatmete Gas, welches vom Absorber kommt Anteile von unverbrauchtem Inhalations-Anästhetikum. Die Atemgase werden recycelt. Eine exakte Verdampfer-Kalibration ist nur bei einem reinen Frischgasfluss wie bei den VOC-Verdampfern möglich. Grundanforderungen für VIC-Systeme sind eine gleich bleibende Temperatur im Verdampfer, ein konstanter Sauerstoffzufluss und ein möglichst geringer oder fehlender Atemwiderstand. Keiner der beiden Konstruktionstypen ist dem anderen eindeutig überlegen, leichter oder schwieriger zu bedienen, sicherer oder unsicherer. Jedes System hat seine eigenen Vor- und Nachteile.

Verdampfer innerhalb des Atemkreises



Besonders wichtig ist jedoch, den unterschiedlichen Einfluss des Sauerstofffrischgasflusses auf die eingeatmete Konzentration des Anästhetikums zu verstehen: Es gibt erstens die Anästhesiegas-Konzentration, die über den Verdampfer in den Kreislauf eingespeist wird. Zweitens gibt es die Konzentration von Anästhesiegas, die der Patient tatsächlich aus dem Trachealtubus einatmet. Beide Konzentrationen können durchaus übereinstimmen, sehr häufig unterscheiden sie sich aber erheblich. Allein die tatsächlich eingeatmete Konzentration an Anästhetikum ist der Maßstab für die Anästhesietiefe.

Verdampfer innerhalb des Atemkreises



- Anästhesietiefe
 - entscheidend ist **eingeatmete Menge von Anästhesiegas**, die sich **im** Kreissystem befindet => unbekannte Größe
 - auch bei Präzisionsverdampfern (VOC) unbekannt
 - ständige Vermischung mit rückgeatmeten Gasen im Patientenkreis-System
 - genaue Bestimmung: Narkosegas Messfühler im Einatmungsschenkel

Verdampfer innerhalb des Atemkreises



- Atemvolumen streicht durch die Verdampfer
- einfache Konstruktion, leicht, kostengünstig
- Recycling von Atemgasen und Narkosegas
- sehr geringer Atemwiderstand
- keine exakte Verdampferkalibration möglich
- Selbstregulation der Verdampfungsleistung durch Atemzugvolumen des Patienten
- konstanter Sauerstofffluss, gleichbleibende Temperatur
- universeller Verdampfertyp, für viele Narkosegase geeignet
 - Halothan, Isofluran, Sevofluran

Auch bei den (VOC-) Präzisionsverdampfern, welche dem Kreissystem vorgeschaltet sind, ist die tatsächlich vom Patienten eingeatmete Konzentration des Anästhetikums unbekannt, weil sie mit den rückgeatmeten Gasen im Kreissystem vermischt wird. Sie ist also nicht identisch mit der eingestellten Volumenkonzentration am Verdampfer. Die genaue Bestimmung der

Narkosegaskonzentration im System ist nur über entsprechende Messsonden im Einatemungsschenkel des Kreissystems möglich.

Das Komesaroff-Narkosegerät

Das Komesaroff-Narkosegerät ist ein Beispiel für ein geschlossenes VIC-Kreissystem. Durch einen Regulator/Flowmeter wird der Sauerstofffluss auf die Minimalmenge, die für den Metabolismus benötigt wird, eingestellt. Dies sind ungefähr 5 ml Sauerstoff pro kg Körpergewicht. Der Sauerstoff fließt über einen einfachen Durchflussverdampfer. Abhängig von der Einstellung am Verdampfer und dem Gasflow im Kreis wird eine bestimmte Menge Narkosegas dem zirkulierenden Gas hinzugefügt und vom Patienten über einen Endotrachealtubus oder eine Maske eingeatmet.



Das vom Patienten ausgeatmete Gas gelangt in den Kreis und wird durch Richtungsventile, die im Absorber integriert sind, durch den Kreis geleitet. Das Gasgemisch fließt durch diesen Absorber und das CO₂ wird gebunden. Frischer Sauerstoff wird zwischen Absorber und Verdampfer eingespeist und die Mischung aus CO₂-freiem Gas und zugefügtem Sauerstoff wird danach über die Narkosemitteloberfläche im Verdampfer geleitet. Dieser Vorgang wird bei jedem Atemzug wiederholt.

Der Gasfluss im Kreis wird hauptsächlich durch die Spontanatmung des Patienten gesteuert und nur zu einem geringeren Teil durch den Sauerstofffluss.

Wichtiger Hinweis

In der Kleintiermedizin werden die meisten Operationen unter Spontanatmung des Patienten durchgeführt. Sollte die Spontanatmung sistieren (in der Regel als Folge einer Überdosierung von Anästhetika), so kann auch mit VIC Geräten eine Beatmung durchgeführt werden. Allerdings ist in solchen Fällen unbedingt der Verdampfer auf die Stellung „0“ zu stellen – also abzuschalten. Andernfalls würde konstruktionsbedingt bei der intermittierenden positiver Druckbeatmung eine nicht tolerable Menge Anästhetikum in den Atemkreislauf gefördert – mit der Folge einer eventuell verhängnisvollen weiteren Vertiefung des Narkosestadiums.

Welches Narkosesystem?

Bei Diskussion, welches Anästhesiesystem in der Praxis bevorzugt wird, gilt es die Vor- und Nachteile der angebotenen Systeme (VIC, VOC, offen) individuell abzuwägen.

Anschaffungskosten

Bei einem geschlossenen System mit Minimal-Flow Verdampfern im Kreis (VIC) wird lediglich ein Durchflussverdampfer benötigt, dessen Bauweise relativ einfach ist. Der Absorberbehälter ist aus transparentem Polycarbonat hergestellt. Dies ermöglicht eine direkte Kontrolle des Atemkalkes. Verbrauchter Atemkalk zeigt sich durch eine violette Färbung des Granulats an.



Die Geräte sind relativ preiswert. Beim Komesaroff-Narkosegerät wurde das herkömmliche Flowmeter durch einen Regulator/Flowmeter ersetzt, das nicht nur genau, sondern auch sehr strapazierfähig ist. Aus Sicherheitsgründen kann zudem der Sauerstofffluss nicht komplett abgestellt werden; der minimale Flow beträgt immer 100 ml Sauerstoff pro Minute. Nur am Hauptventil der Sauerstoffflasche kann die Zufuhr unterbunden werden. Die Versorgung mit O₂ kann alternativ auch aus einer großen Sauerstoffflasche oder einem zentralen Sauerstoffversorgung erfolgen.

Betriebskosten

Da nur der Sauerstoff in den Atemkreislauf eingespeist wird, der erforderlich ist die metabolischen Bedürfnisse des Patienten zu befriedigen, ist nur ein geringer Sauerstoffverbrauch zu konstatieren. Entsprechendes gilt für den Narkosemittelverbrauch: Nur ein sehr geringer Teil des anästhetischen Gases verlässt das geschlossene VIC-Kreissystem. Als Faustregel ist der durchschnittliche Sauerstoff – und Narkosemittelverbrauch mit ungefähr 1/5 – 1/10 des Verbrauchs der herkömmlichen VOC-Geräte zu kalkulieren. Dieses gestattet die neueren (und auch erheblich kostenintensiveren) volatilen Narkosemittel wie Isofluran und Sevofluran zum Wohle des Patienten und des involvierten Personals einzusetzen.

Die folgenden Angaben sind Richtwerte für den Verbrauch der flüssigen Narkosegase am Beispiel des Komesaroff-Narkosegerätes:

Verbrauch von	bis 20 kg	1-2 ml/Stunde
Halothan, Enfluran, Isofluran	20-40 kg	2-3 ml/Stunde
	70 kg	5,0 ml/Stunde
	100 kg	7,5 ml/Stunde

Der Atemkalk wird bei vollständig geschlossenen VIC Systemen relativ stark beansprucht. Er muss regelmäßig (bereits nach der ersten Verfärbung) nach Abschluss des Eingriffs ersetzt werden. Die Kosten für den Atemkalk sind jedoch gering. Gleiches gilt für die Unterhaltungs- und Reparaturkosten, da der Nutzer die meisten Wartungsarbeiten selbst durchführen kann und hierfür kein Spezialwerkzeug benötigt.

Vielseitigkeit

VIC Durchflussverdampfer sind vielseitig einsetzbar und können Methoxyfluran (nicht mehr erhältlich), Halothan, Enfluran, Isofluran, Sevofluran - nicht jedoch mit Desfluran - betrieben werden. Bei den VOC Geräten mit vorgeschaltetem Verdampfer ist immer ein für das betreffende volatile Narkosemittel kalibrierter Präzisionsverdampfer erforderlich. Soll ein alternatives Narkosemittel eingesetzt werden, wird ein neuer Verdampfer benötigt. Gelegentlich wird in der Literatur postuliert, dass geschlossene Low-Flow-Systeme für sehr kleine Patienten nicht geeignet seien. Es ist eher das Gegenteil der Fall. Der Atemwiderstand z.B. der Komesaroff-Geräte ist so gering, dass selbst kleine Tiere wie Ratten oder Hamster sicher und problemlos anästhesiert werden können.



Wärmeverlust und Feuchtigkeitsverlust

Wärmeverlust und die daraus resultierende Hypothermie ist ein generelles Problem bei jeder Narkose. Deren Ausmaß ist proportional der Zufuhr von (kaltem) Sauerstoff und Lachgas. Wenn der komprimierte Sauerstoff aus den Sauerstoffflaschen entnommen wird also dekomprimiert wird, sinkt nach physikalischen Gesetzen unweigerlich die Temperatur des Gases. Dies kann sich nachteilig auf die Körpertemperatur des Patienten auswirken, der ein kaltes Gasgemisch inhaliert. Bei Low-Flow-VIC Rückatmungssystemen wird die Temperatur des inhalierten Gasgemisches nur von einer geringeren Sauerstoffmenge beeinflusst. Neben der Erwärmung des Gasgemisches, die durch die chemische Reaktion des Atemkalkes im Absorber entsteht, kommt es außerdem noch zu einer Temperaturerhöhung durch das Expirium des Patienten. Temperaturmessungen haben gezeigt, dass die Temperatur des eingeatmeten Gasgemisches normalerweise zwischen 25 und 30 Grad Celsius liegt. In der Humanmedizin werden die ausgetrockneten Mund- und Atemwegsschleimhäute in der Aufwachphase als sehr unangenehm empfunden, die durch das kalte und trockene Gasgemisch der High-Flow-Systemen verursacht wurden. Bei den geschlossenen Low-Flow-Systemen bleibt die Feuchtigkeit erhalten. Ein warmes Gasgemisch kann zudem wesentlich mehr Wasser aufnehmen, was zum Wohlbefinden des Patienten beiträgt und der Dehydration vorbeugt.

VIC-Verdampfereinstellung und Konzentration

Messungen im inspiratorischen Schenkel ergaben bei 20° C folgende Relationen zwischen den Verdampfereinstellungen und den Volumenkonzentrationen des Inhalationsanästhetikums:

Halothan

<i>Einstellung am Verdampfer</i>	<i>Halothan bei Spontanatmung</i>
1	0,5 %
2	1,5 %
3	2,5 %
ON	4-5 %

Isofluran

<i>Einstellung am Verdampfer</i>	<i>Isofluran bei Spontanatmung</i>
1	0,2 %
2	1,5 %
3	3,15 %
ON	3,05 %

Bei Einsatz von Isofluran und einer Prämedikation genügt beim Komesaroff-Gerät in den meisten Fällen eine Verdampfereinstellung auf der Raste „1“.



VIC-Verdampfer kompensieren Temperaturschwankungen nicht automatisch, deshalb sollten Sie idealerweise bei konstanten Raumtemperaturen betrieben werden. Bei höheren Raumtemperaturen erhöht sich die Verdampferleistung und somit die Konzentration des Anästhetikums, bei niedrigen Raumtemperaturen ist sie entsprechend geringer. Für Isofluran stimmen die Rasteneinstellungen und die angegebenen Konzentrationen während der Narkose weitgehend überein, mit zunehmender Narkosedauer ist jedoch ein leichter Abfall der Konzentrationen zu verzeichnen. Die obigen Angaben über Isofluran beziehen sich auf eine Studie von Laredo (1996), die ergab, dass mit den Komesaroff-Gerät zu keiner Zeit gefährlich hohe Isofluran-Narkosegaskonzentrationen im Atemkreislauf unter Spontanatmung auftreten.

In einem direkten Vergleich mit einem VOC-System mit hohem Atemgasflow im halbgeschlossenen System ergaben sich keine signifikanten Unterschiede in vivo. Die gemessenen **hämodynamischen Parameter** (mittlere Herzfrequenz, arterieller Blutdruck, respiratorische Größen und Körpertemperatur) blieben während der gesamten Dauer innerhalb eines sicheren Bereichs und unterschieden sich ebenfalls nicht. Diese Studie widerlegt die Vorbehalte mancher Autoren gegen Verdampfer im Kreissystem wegen vermeintlich unexakter anästhetischer Konzentrationen.

Selbstregulierung der Narkosetiefe

Der chirurgisch tätige Praktiker ist meist Anästhesist und Chirurg in einem. Geschlossene Low-Flow-Systeme mit in Reihe liegendem Verdampfer bieten für ihn den Vorteil, dass in den meisten Fällen das chirurgische Toleranzstadium selbst einreguliert. Die Selbstregulierung der Narkosetiefe ist ein besonderes Merkmal des Komesaroff-Gerätes. Je tiefer der Patient anästhesiert wird desto mehr verringern sich das Atemzug- und Atem-Minutenvolumen. Somit verringert sich auch die Verdampfungsrate. Wenn die Anästhesie wieder flacher wird, gilt das Gegenteil; die Verdampfungsrate wird automatisch erhöht. Im Prinzip wird die Narkosetiefe vom Anästhesisten durch die Einstellung am Verdampfer vorgegeben. Sie wird jedoch auch durch das Atemminutenvolumen des Patienten gesteuert. Sobald das anästhesiologische Gleichgewicht hergestellt ist, wird der Austritt des Narkosemittels in die eingeatmete Luft hauptsächlich von der ausgeatmeten Gasmenge gesteuert, die über die Oberfläche des Narkosemittels strömt und in den Verdampfer gelangt. Wenn die Narkosetiefe zunimmt, vermindert sich das Atemminutenvolumen des Patienten (weil alle volatilen Anästhetika eine Atemdepression hervorrufen). Als Folge wird weniger Narkosemittel verdampft und damit die Anästhesietiefe wieder geringer. Diese führt zu einer erhöhten respiratorischen Aktivität, die wiederum in einer verstärkten Verdampfung von Narkosemittel resultiert und in Folge dessen zu einer wieder tieferen Anästhesie führt. Bei spontaner Atmung bleibt die Konzentration in einem engen Bereich konstant.

In praxi stellt sich zu jedem Zeitpunkt der Narkose eine konstante Anästhesietiefe ein, ohne dass die Verdampferstellung oder der Sauerstofffluss verändert werden müssen. Dies ist ein nicht zu unterschätzender Vorzug, der von den Kritikern dieses Verdampfertyps meist nicht erwähnt wird. Bei den vorgeschalteten VOC-Präzisionsverdampfern gibt es keine derartige Selbstregulation. Hier entscheidet allein die Einstellung am Verdampfer welche prozentuale Narkosegasmenge konstant ohne automatische Berücksichtigung der Anästhesietiefe in den Atemkreislauf eingespeist wird. Daraus resultiert die Notwendigkeit die Verdampfereinstellungen während eines Eingriffs ggf. mehrmals zu verändern.

Kondensation

Bei lang dauernden Anästhesien von großen Hunden kann es auf Grund der warmen, feuchten Ausatemluft zu Wasserkondensation in den Schläuchen, dem Absorber und im Verdampfer kommen. Dies hat normalerweise keine Auswirkungen auf die Leistung der Verdampfer. Es genügt das Kondensat nach Beendigung der Anästhesie zu entfernen. Probleme entstehen erst, wenn die Verdampfer ohne Reinigung mehrfach hintereinander eingesetzt werden. Dann kann sich eine Schicht von kondensiertem Wasser über dem Narkosemittel bilden und dessen Verdampfung behindern, was eine unzureichende Narkosetiefe bewirken könnte. Bei Bedarf kann die (obere) Kondenswasserschicht leicht mit einem Papiertuch aufsaugt und damit das restliche Anästhetikum weiterverwendet werden.

Probleme mit dem Verdampfer

Wie ausgeführt sind die Verdampfer sehr einfach konstruiert und verursachen deshalb nur selten Probleme. Falls Halothan als Anästhetikum verwendet wird, kann es zu einer Schwergängigkeit des Regulationskopfes am Verdampfer kommen. Dies beruht auf der Tatsache, dass dem Halothan der Konservierungsstoff Thymol zugesetzt ist. Thymol und Sauerstoff verbinden sich zu einer klebrigen Masse, die sich im Lager der Einstellschraube festsetzen kann. Das Problem der so genannten Verharzung besteht grundsätzlich bei allen Halothan betriebenen schlecht gewarteten Verdampfern. Durch Aufschrauben und Reinigung mit einem Haushaltspoliermittel lassen sich Rückstände problemlos beseitigen.



Probleme mit dem Absorber

Der runde Absorber aus Polykarbonat ist ein Verschleißteil. Er wird auch in der Humanmedizin eingesetzt und ist dort für den einmaligen Gebrauch bestimmt. In der Kleintiermedizin kann der Absorber bis zum physikalischen Verschleiß verwendet werden. Er ist jedoch nach jedem Gebrauch vom Gerät zur Austrocknung zu entfernen und der Atemkalk ist bei dem ersten Umschlag des Indikators zu verwerfen.

Probleme mit dem Koaxialschlauch

Nach jedem Einsatz des Narkosegerätes sollte der Koaxialschlauch vom Gerät entfernt und gründlich ausgetrocknet werden. Bei Belassen am Gerät kann er durch Narkosegasreste vorzeitig verspröden und an den Anschlussstutzen brechen, was zu Undichtigkeiten führt. Undichte Schläuche müssen sofort ausgetauscht werden.

Wissenschaftliche Vorbehalte

In der wissenschaftlichen Literatur stoßen Narkosesysteme mit Verdampfern im Atemkreislauf (VIC) bisweilen auf heftige teilweise unreflektierte Ablehnung. Der größte Nachteil der geschlossenen Low-Flow-Kreissysteme liege in dem primitiven Aufbau der Verdampfer („Marmeladenglasverdampfer“) und der nicht kalibrierten Verdampfungsleistung. Die genaue Narkosegaskonzentration im System sei unbekannt. Damit könne es zu verhängnisvollen Überdosierungen volatiler Anästhetika unter Spontanatmung kommen.

Dies sind Vorwürfe die nicht haltbar sind. Auch bei Präzisionsverdampfern ist die tatsächliche Menge an Anästhetikum im Atemkreissystem unbekannt. Genau bekannt und kalibriert ist lediglich der prozentuale Gehalt des Anästhetikums, welches in den Atemkreislauf permanent eingespeist wird. Eine Bestimmung der tatsächlich vom Patienten eingeatmeten Narkosegasmenge ist nur durch direkte Messung im Einatmungsschenkel möglich und wird in der Humanmedizin standardmäßig durchgeführt. In der Tiermedizin sind solche Analysegeräte aus Kostengründen nicht sehr verbreitet und zur Durchführung einer sicheren Inhalationsnarkose auch nicht notwendig. Es stellt sich die Frage der Betrachtungsweise: Die veterinärmedizinische Anästhesiologie kann aus Kostengründen kaum mit dem apparativen und personellen Standards der Humananästhesiologie betrieben werden. Deshalb ist sie aber per se nicht gefährlicher oder unsicherer oder schlechter. Das Argument einfach konstruierte Verdampfer seien in der (westlichen) Humanmedizin undenkbar führt sich selbst ad absurdum. Alef und Oechtering (2003) heben hervor, dass für Zwischen- und Todesfälle bei Narkosen nicht das verwendete volatile Inhalationsanästhetikum oder die generelle Frage nach Injektions- oder Inhalationsnarkose entscheidend sei, sondern die mangelhafte Überwachung der Vitalfunktionen und das zu späte Erkennen sich anbahnender Komplikationen. Neuerdings werden VIC-Narkosegeräte sowohl in Europa wie auch in Amerika wieder rationaler und pragmatischer betrachtet. Das geschlossene Low-Flow-System hat Berücksichtigung in der Lehre gefunden und wird von einigen Autoren favorisiert. Vielleicht beruht dies auf den unzweifelhaften Vorteilen des Systems hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Ökologie.

Beatmung

„... Inhalationsnarkosegeräte mit im Kreissystem integrierten Universalverdampfern eignen sich nur eingeschränkt für eine manuelle Beatmung. Im Gegensatz zum außerhalb des Patiententeils platzierten Präzisionsverdampfer ist die abgegebene Narkosegasmenge sehr stark vom Atemhub- bzw. –minutenvolumen abhängig. Eine manuelle Beatmung kann zur Abgabe sehr hoher Narkosegasmengen und damit zu einer Überdosierung des Patienten führen. Eine sinnvolle Anpassung der Verdampfereinstellung ist praktisch nur unter Kontrolle der inspiratorischen Narkosegaskonzentration mit einem Gasmonitor möglich. Muss ein solches Narkosesystem trotzdem zur Beatmung eingesetzt werden, kann die Beatmung mit 100

Volumen % Sauerstoff ohne Verwendung von Narkosegas, also bei abgeschaltetem Verdampfer erfolgen. Wenn nötig, muss die Narkose als Injektionsnarkose erhalten werden. Auf diese Weise wird eine Gefährdung des Patienten durch hohe Narkosegaskonzentrationen ausgeschlossen ..." (Alef und Oechtering, 2003).

Diese Aussage bestätigt noch einmal die Erfahrung, die bei hunderttausenden von Narkosen mit diesem Gerätetyp gemacht wurde. In praxi bedeutet dies, dass die gefürchteten Atemstillstände auch mit den Stephens- oder Komesaroff-Narkosegeräten sicher beherrscht werden können, wenn man sich deren Funktionsweise vergegenwärtigt und zur Beatmung die Verdampfer abstellt, den Beatmungsbeutel entleert mit Sauerstoff über den Bypass flutet. Nach Wiederkehr der Spontanatmung kann der Verdampfer wieder eingeschaltet werden.

Verdampfer & Beatmung



- bei Verdampfern außerhalb des Atemkreises ist eine assistierte Beatmung jederzeit möglich
- Ursache der Apnoe ermitteln
 - Überdosierung von Anästhetika?
 - Narkosegaskonzentration reduzieren
 - reine Sauerstoffbeatmung
 - Atembeutel entleeren
 - Atemkreis mit Sauerstoff durchspülen
 - Tracheotubus abgeknickt?
 - Überdruck im System?

Verdampfer & Beatmung



- assistierte Beatmung ist auch mit „Marmeladeglas-Verdampfern“ möglich
 - [Bewley, Eltringham, Sanderson in Anaesth. Intensive Care 1998, 26](#)
- Besonderheiten beachten !
 - Verdampfer im Atemkreis: Bei Beatmung wird Atemvolumen erhöht = mehr Narkosegas verdampft = Narkosetiefe nähme zu
 - Verdampfer am Gerät bei Beatmung ausschalten ([Isofluran](#) = 0) bis Spontanatmung wieder einsetzt
 - Patienten werden nicht wach, Narkosestadien sind mit [Isofluran](#) sehr schnell zu variieren

Einschränkung: Bei intrathorakalen Eingriffen wie zum Beispiel Lungenlappenresektionen oder bei Narkosen mit depolarisierenden Muskelrelaxantien und damit bewusst ausgeschalteter Spontanatmung (Katarakt-Chirurgie) ist den Systemen mit vorgeschalteten Verdampfern (VOC) der Vorzug zu geben.

Minimalflow-Narkosegerätetypen

Derzeit sind lediglich zwei geschlossene Minimalflow-Narkosegeräte mit im Kreissystem befindlichen Verdampfern (VIC) für die Kleintiermedizin in Europa erhältlich: Das **Komesaroff- bzw. Stephens-Narkosegerät**. Beide arbeiten nach den gleichen Prinzipien unterscheiden sich jedoch beträchtlich in Ausführung und Design. Der Hauptnachteil des Stephens-Gerätes liegt in dem unübersichtlichen Aufbau, den unübersichtlichen Verdampfer und dem aus nicht nachvollziehbaren Gründen in Ganzmetall ausgeführten Absorbergefäß. Dadurch ist eine direktes Erkennen des Farbumschlages des Atemkalks und damit dessen Erschöpfung nicht sofort zu erkennen. Das Komesaroff-Narkosegerät stellt nach Erfahrung der Autoren ein, bis in die Details perfektioniertes Gerät dar, dass den Anforderungen an ein modernes, effizientes bei niedrigsten Betriebskosten arbeitendes Narkosegerät für die Kleintierpraxis entspricht. Es ist in mehreren Ausführungen mit verschiedenen Überwachungsmonitoren erhältlich.

Fazit

Die Komesaroff-Narkosegeräte sind Minimal-Flow-Narkosegeräte, die im geschlossenen System mit nicht volumen-prozent-kalibrierten Verdampfern vom Typ Goldmann arbeiten, welche sich im Patientenkreis befinden. Die Verdampfer können mit den Narkosegasen Halothan, Enfluran, Isofluran und Sevofluran betrieben werden. Sie ermöglichen eine besonders ökonomische und die Umwelt nicht belastende Form der Inhalationsnarkose. Berücksichtigt man, dass der metabolische Sauerstoffbedarf bei den meisten Hunden und Katzen zwischen 5,8 bis 7,3 ml/kg und Minute liegt, bedeutet dies, dass bei High-Flow-Geräten eine sehr große Menge von Sauerstoff und damit verbunden Narkosegasen als Abluft entweicht. Dies verursacht nicht nur hohe Betriebskosten, eine Belastung der Umwelt mit Schadstoffen (Treibhauseffekt, Ozonloch), sondern auch ein nicht zu vernachlässigendes Gesundheitsrisiko beim OP-Personal. Studien haben ergeben, dass das Komesaroff-Narkosegerät, wenn es mit Isofluran betrieben wird, keine signifikanten Unterschiede in den Narkosegaskonzentrationen und Patientenparametern gegenüber den klassischen Geräten mit Präzisionsverdampfern im halb-geschlossenen System

aufweist. Es kann daher nicht zuletzt auch aus ökonomischen und ökologischen Gründen jeder Kleintierpraxis empfohlen werden.

Anschrift des Autors

Dr. Dieter Müller © 2003
Fachtierarzt für Kleintiere, Chirurgie, Augenheilkunde
Kempener Str. 59
D 52525 Heinsberg

Literaturhinweise

- Alef Michaele, Oechtering Gerhard "Praxis der Inhalationsanästhesie, Enke Verlag Stuttgart 2003
- Cust R. Closed circuit techniques involving the use of halothane and methoxyflurane in small animals. Aust Vet J 1972; 51:32.
- Komesaroff D, Williamson W. Methoxyflurane as an alternative to nitrous oxide in relaxant anaesthesia using a Goldman vaporizer in circuit. Med J Aust 1968; 2:391-394.
- Komesaroff D A new anaesthetic machine and technic with particular application to developing areas. Anesth Analg 1973; 52:605-613.
- Komesaroff D. Closed circuit anaesthesia – A review. Proceedings of the Closed Circuit Symposium, Alabama, USA 1981.
- Lowe HJ, Ernst EA. The Quantitative Practice of Anesthesia. Use of Closed Circuit. Williams and Wilkins, Baltimore/London 1981.
- Nielsen S. An Improved Technique in Inhalation Anaesthesia in Small Animals. Dansk Vet Tidsskr. 1981; 4,2,15/1
- Klide AM, Hopkins JL & Quast LS: A Comparison of High and Low Flow Halothane Anaesthesia in the Dog. The Circular. 1: 7 1984, Oct-Nov.
- Klide AM: Closed Circuit Anesthesia-General Discussion and Methods of Delivering Volatile Liquid Anesthetic Vapor. Advances in Vet. Anesth. 3rd International Congress of Veterinary Anesthesia, Brisbane, Australia, 1988, P. 123.
- Klide AM & Krumm SJ: The effects of Spontaneous Ventilation Compared to Positive Pressure Ventilation on Dogs Breathing Halothane from a Circle System with the Vaporizer-in-the Circuit. Adv. In Vet. Anesth. 3rd International Congress of Veterinary Anesthesia, Brisbane, Australia, 1988, P. 141.
- Klide AM & Krumm SJ: The Effects of Oxygen and Flow on the Inspired Concentration with a Circle System. Advances in Veterinary Anesth. 3rd International Congress of Veterinary Anesth. 1988, P.150.
- Klide AM: The Economics of Inhalation Anaesthesia. ESVC Proceedings Manual, 1989.
- Klide AM: Closed Circuit Anesthesia. ACVS 17th Annual Veterinary Surgical Forum. Oct 1989.
- Klide AM: The use of Vaporizers in-the Circuit and Vaporizers Out-of-the-Circuit. 102nd Annual CVMA Scientific Seminar and Exposition, October 1990, 19-21.
- Klide AM & Krumm SJ: A Clinical Comparison of the Use of an In-The-Circuit with an Out-of-The-Circuit Vaporizer. Dep. Of Clinical Studies, Philadelphia School of Veterinary Medicine, Univ.of Pennsylvania, Philadelphia, USA.
- Komesaroff D: A Critical Appraisal of Methoxyflurane and its Place in Modern Anaesthesia. Preprinted Papers, 46th General Scientific Meeting, Royal Australasian College of Surgeons. P. 55. 1973
- Komesaroff D: Gaseous Anaesthesia with In.Circuit Vaporizers. Victorian Veterinary Proceedings. 1976.
- Komesaroff D: Closed Circuit Anaesthesia – A Review. Proceedings of the Closed Circuit Symposium, Alabama, USA, 1981.
- Komesaroff D: The Komesaroff Anaesthetic Machine. A Closed Circuit Machine for Small Animals. Proceedings No 52, Post Graduate Committee In Veterinary Science Refresher Course, University of Sydney, Feb. 1983.
- Nielsen S: Anestesia con Circuito Cerrado, Bajo Flujo VIC, La Maquina de Anestesia Komesaroff.Jornadas de Anestesia Veterinaria, Universidad de Murcia, Espana, Noviembre de 1996.
- Nielsen S: Immobilon as an Induction Agent in Closed Circuit, Low Flow Anaesthesia in dogs. AVA London Meeting, April 1997.

- Nielsen S: Sevoflurane Anaesthesia in Dogs Using a Komesaroff Anaesthetic Machine. XXIII Congress of WSAVA, Buenos Aires, Argentina Oct. 1998, Proceedings, P. 747.
- Nielsen S: 25 years with Closed Circuit, Low Flow Anaesthesia, Komesaroff vs. Stephens. Proceedings of the 4th International Congress of Veterinary Anaesthesia, Aug 1991, P.403-405.
- Bewley JS, Eltringham RJ, Sanderson P: Closed Circuit Anaesthesia in Ventilated Patients using the Komesaroff Vaporizer within the Circle. *Anaesth Intens Care* 1998; 26.
- Laredo FG, Murciano J, Sanchez-Valverde MA, et al: Low Flow Closed Anaesthesia; a review of 85 clinical cases. *J Vet Anaesthesia* 1997, 23,78
- Laredo FG, Sanchez-Valverde MA, Cantalapiedra AG et al: Efficacy of the Komesaroff Anaesthetic Machine for delivering Isoflurane to Dogs. *Vet Rec* 1998, 143, 437-440.
- Laredo FG, Cantalapiedra AG, Agut,A, Pereira JI, Murciano J: The Komesaroff Anaesthetic Machine for Delivering Sevoflurane to Dogs. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 2001, 28, 161-167.
- Hacker H-J: Die Erprobung eines Inhalationsnarkosegerätes für die gleichzeitige Verwendung von Halothan und Methoxyfluran (Komesaroff) beim Kleintier. Inaugural-Dissertation, Veterinärmedizinischen Universität, Wien 1985.