

Lachgasmessung im Darm bei chirurgisch versorgten Kolikpatienten unter verschiedenen Narkosebedingungen

Friederike Brors¹, Bettina Wollanke² und Hartmut Gerhards²

Praktizierende Tierärztin¹, Klinik für Pferde der Ludwig-Maximilians-Universität München²

Zusammenfassung

Lachgas wird seit Ende der 60er Jahre in der Pferdeanästhesie wegen seiner Inhalationsanästhetikum sparenden und wenig kardiodepressiven Wirkung eingesetzt. Weiterhin wird die sanfte Aufwachphase nach der Lachgasanästhesie insbesondere bei Pferden geschätzt. Lachgas soll jedoch bei operativ behandelten Kolikpatienten in die aufgegastrten Darmteile diffundieren und dadurch zu einem bedrohlichen Meteorismus führen. Aus diesem Grund wurde vor der Verwendung von Lachgas bei chirurgischen Kolikpatienten gewarnt. Um der Bedeutung der Akkumulation von Lachgas im Darm von Kolikpatienten nachzugehen, wurden bei 20 Pferden ohne Lachgasinhalation (9 darmgesunde euthanasierte Pferde, 11 chirurgisch versorgte Kolikpatienten) sowie bei 40 chirurgisch versorgten Kolikpatienten mit Lachgasinhalation während der Narkose intestinale Gasproben auf die darin enthaltene Lachgaskonzentration untersucht. In den ersten 35 Minuten wurden Sauerstoff und Lachgas im Verhältnis 3:1 zugeführt. Nach dieser Zeit wurde die Lachgaszufuhr in Abhängigkeit vom Sauerstoffpartialdruck reduziert. Bei den 20 Pferden ohne Lachgasinhalation wurde eine intestinale Lachgaskonzentration von 0-1 ($\bar{x} = 0,28 \pm 0,34$) Vol. % Lachgas ermittelt. Die 40 chirurgisch versorgten Kolikpatienten, denen während der Narkose Lachgas verabreicht wurde, hatten eine mittlere intestinale Lachgaskonzentration von 3,7 ($\pm 3,6$) Vol. %. Die individuell gemessenen intestinalen Lachgaskonzentrationen schwankten zwischen 0 und 16 Vol. %. Nach 35 Minuten Narkosedauer befand sich bei den Pferden mit Lachgasinhalation im Mittel lediglich eine Lachgaskonzentration von $\bar{x} = 2,02 (\pm 1,63)$ Vol. % im Darm, die als klinisch irrelevant angesehen werden kann. Dies gilt umso mehr, als nach dieser Zeit die Bauchhöhle eröffnet und eine Gasevakuierung möglich ist. Die Untersuchungen zeigen, dass unter den genannten Narkosebedingungen die Verwendung von Lachgas keine klinisch bedeutsame Rolle im Hinblick auf Zunahme der Darmdistension spielt.

Schlüsselwörter: Anästhesiologie, Kolik, Narkose, Lachgas, intestinale Lachgasanreicherung

Measuring of nitrous oxide from intestinal gas of normal horses and from horses subjected to colic surgery under different conditions of inhalation anaesthesia

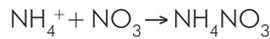
Since the end of the nineteenhundredsixties, nitrous oxide has been commonly used in human and in equine anaesthesia. Advantages of the use of this narcotic agent were considered to be the possibility to reduce other inhalation narcotic agents such as halothane and isoflurane, as well as the fact, that there are hardly any depressive cardiovascular effects of nitrous oxide. Furthermore, recovery of horses after anaesthesia with halothane or isoflurane and nitrous oxide is less stormy than after one of these agents alone. Several years after the introduction of nitrous oxide into equine anaesthesia, it was found, that nitrous oxide diffuses into the intestine of colic horses, and it was concluded, that nitrous oxide may produce additional severe meteorism, which may complicate abdominal surgery and anaesthesia for abdominal surgery. For these reasons, equine surgeons and anaesthesiologists were cautioned against the use of nitrous oxide. Therefore, a study was undertaken to measure intestinal nitrous oxide concentrations in horses with and without nitrous oxide additions to the inhalation gas mixture. In 20 horses without any nitrous oxide admixtion during anaesthesia (9 horses euthanized for other reasons than colic, 11 horses with surgical colic treatment), as well as 40 surgically treated colic patients with nitrous oxide admixtion during anaesthesia, nitrous oxide concentrations have been determined in intestinal gas samples. During the first 35 minutes of anaesthesia, oxygen and nitrous oxide have been administered at a ratio of 3:1. After this time, nitrous oxide concentration in the inhalation gas mixture was reduced, depending on the arterial oxygen partial pressure. In the 20 horses without nitrous oxide inhalation, an intestinal nitrous oxide concentration of 0-1 ($\bar{x} = 0.28 \pm 0.34$) Vol. % was measured. The 40 surgical colic cases with nitrous oxide admixtion during anaesthesia had a mean intestinal nitrous oxide concentration of $\bar{x} = 3.7 (\pm 3.6)$ Vol. %. Individual intestinal nitrous oxide concentrations varied from 0 to 16 Vol. %. After 35 minutes of inhalation anaesthesia with nitrous oxide admixtion a mean intestinal nitrous oxide concentration was $\bar{x} = 2.02 (\pm 1.63)$ Vol. %. This can be considered as irrelevant for colic surgery, because at that time after beginning with anaesthesia and surgery, the abdominal cavity is opened and surgical gas evacuation is possible. It is concluded that the use of nitrous oxide as described in this anaesthetic protocol has no clinical important side effects in respect of additional gaseous distension of the intestine.

Keywords: colic, anaesthesia, nitrous oxide, intestinal nitrous oxide accumulation

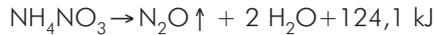
Einleitung

Lachgas (Stickoxydul, Distickstoffoxid, N_2O), dessen Entdeckung Mayow, Hales und Priestley in der Mitte des 18. Jahrhunderts bis 1774 zugeschrieben wird (Frost 1985), gilt als bewährtes Inhalationsanästhetikum in der Human- und Veterinärmedizin.

Lachgas ist mittels Reduktion von Nitraten und Nitriten herzustellen (Broadbent und Norman 1972, Black 1957). Es wird kommerziell aus festem, chloridfreiem Ammoniumnitrat ($NH_4^+NO_3^-$) (Austin 1967) oder aus einer Mischung von Ammoniumsulfat ($(NH_4)_2SO_4$) und Natriumnitrat ($NaNO_3$) hergestellt, indem man diese auf 200°C erhitzt.



Ammoniumnitrat zerfällt nach folgender Reaktionsgleichung



Die Vorteile von Lachgas liegen in seiner guten analgetischen Wirkung, die allerdings beim Menschen ausgeprägter ist als beim Tier, in einer nur minimalen Reizung der Schleimhäute sowie in einer nur schwachen kardiodepressiven Wirkung (Schirmer 1998, Eisele 1985, Steffey und Eger 1985). Aufgrund seines „second gas effect“ kommt es bei seiner Anwendung zu einer schnelleren Anflutung von volatilen Anästhetika und somit zur Verkürzung der Narkoseinduktion (Epstein et al. 1964). Bedingt durch die geringe Blutlöslichkeit (Blutlöslichkeitskoeffizient 0,47) und die damit verbundene schnelle An- und Abflutung von N_2O erfolgt ein relativ schnelles und sanftes Erwachen aus der Vollnarkose (Bednarski 1992, Eger 1985). Darüber hinaus können Lachgaskonzentrationen von 25 Vol. % bzw. 50 Vol. % die benötigte Menge der Inhalationsanästhetika um 12,5 Vol. % reduzieren (Steffey und Howland 1978b). Die narkosebedingten kreislaufs suppressiven Wirkungen (Senkung des Herzminutenvolumens und des arteriellen Blutdrucks) können demnach durch Zuführung von Lachgas und dadurch geringeren Verbrauch der Inhalationsanästhetika reduziert (Steffey und Howland 1978a) und die Kosten der Narkose gesenkt werden.

Testa und Raffae (1990) warnten vor höheren Lachgaskonzentrationen als 25 Vol. % im Inhalationsbereich, da es aufgrund der schnelleren Anflutung von Lachgas und dem dadurch bedingten geringeren Sauerstoffgehalt im Atemgemisch zu einer kritischen Herabsetzung des arteriellen Sauerstoffpartialdruckes (PaO_2) im Blut kommen kann.

Nach Steffey (1996), Moens und De Moor (1981), Lewis (1975), Munson (1974), Cundy et al. (1969), Eger und Saidmann (1965) und Foldes et al. (1965) kommt es im Verlauf oder gegen Ende einer längeren Operation bei Lachgasinhalation zu einer auffälligen Zunahme des intraluminalen Gasvolumens mit starker Darmdistension. Die Zunahme des intraluminalen Gasvolumens soll den genannten Autoren zufolge umso ausgeprägter sein:

- je mehr Gas anfänglich im Darm vorhanden ist
- je höher die eingeatmete Konzentration von Lachgas ist
- je länger die Narkose dauert.

Infolge der intestinalen Gasakkumulation könnte es zu einer Erhöhung der Darmwandspannung und dadurch zu einer Ischämie der Darmwand, zu Nekrosen und im ungünstigsten Fall zu Darmwandrupturen kommen (Schuh 1975). Auch weniger dramatische Folgen wie die Unübersichtlichkeit des Operationsfeldes durch zunehmende Darmaufgaugung, der erschwerte Verschluss des Abdomens und die aufgrund des erhöhten intraabdominalen Druckes erschwerte Spontanatmung, sind als unangenehme und gefährliche Nebenwirkungen der Lachgasverabreichung zu nennen (Herholz 1992).

Der Mechanismus, der dem Phänomen der intestinalen Lachgasansammlung zu Grunde liegt, stellt sich wie folgt dar: Das Gas in den lufthaltigen Räumen steht im Gleichgewicht mit

dem alveolären Atemgasgemisch und enthält bei Narkosebeginn kein Lachgas (Schuh 1975, Munson 1974). Während der Lachgasnarkose folgt Lachgas seinem Partialdruckgefälle von den Alveolen über das Blut in die gasgefüllten Körperhöhlen bis ein Konzentrationsausgleich erreicht ist, d.h., die Lachgaskonzentration im Darmlumen die gleiche Konzentration wie in den Alveolen erreicht hat.

Da Lachgas 35-mal besser blutlöslich ist als Stickstoff (N_2), werden in der Zeiteinheit, in der ein N_2 -Molekül aus dem gasgefüllten Raum diffundiert, 35 N_2O Moleküle aus dem Blut in den gasgefüllten Raum hinein transportiert. Lachgas diffundiert schneller hinein als Stickstoff hinaus, was letztlich die Zunahme des Gasvolumens bewirkt (Schuh 1975, Munson 1974, Eger und Saidmann 1965).

Material und Methode

In die vorliegende Untersuchung wurden 60 Pferde im Alter von 1-35 Jahren ohne Beschränkung bezüglich Rasse, Größe und Gewicht einbezogen. Die Patienten wurden in zwei Gruppen eingeteilt. Gruppe I umfasste 20 Pferde, die keine Lachgaszufuhr erhalten haben. Neun der Pferde wurden ohne Inhalationsnarkose durch Sturzinjektion von Pentobarbital-Natrium (Eutha 77®) in einer Dosierung von 80-100 mg/kg KGW euthanasiert. Diese 9 Pferde litten nicht an Kolik, sondern anderen internistischen oder orthopädischen Krankheiten mit infauster Prognose (Voruntersuchungsreihe). Bei diesen Pferden wurden insgesamt 48 Messungen intestinaler Gasproben aus Jejunum, Caecum und Colon ascendens durchgeführt. Das durchschnittliche Alter dieser Gruppe betrug 9,7 (1-17) Jahre und das durchschnittliche Gewicht 487 (320-590) kg. Die restlichen 11 Pferde der Gruppe I waren Kolikpatienten, die unter Halothan-Sauerstoff-Narkose ohne Lachgaszufuhr operiert wurden. Diese 11 Pferde waren 5-22 Jahre alt (Durchschnittsalter von 13,5 Jahre) und wogen zwischen 140 und 620 kg (mittleres Gewicht 444 kg).

Gruppe II umfasste 40 Kolikpatienten (Alter zwischen 2 und 25 Jahren, im Mittel 11 Jahre; Gewicht zwischen 180 und 700 kg (im Mittel 551,5 kg), denen im Rahmen des chirurgischen Eingriffes initial über mindestens 35 Minuten Sauerstoff und Lachgas im Verhältnis 3:1 (d.h. ca. 25 Vol. % Lachgas) verabreicht wurde. In Abhängigkeit vom Sauerstoffpartialdruck im arteriellen Blut wurde die Lachgaszufuhr im weiteren Narkoseverlauf reduziert.

Die Narkosen wurden mit dem Narkosegerät für Großtiere der Fa. Stephan durchgeführt. Alle kolikoperierten Patienten atmeten spontan.

Zur Durchführung der Lachgasmessungen sowohl in der Atemluft als auch in den Darmgasen diente das Narkosemonitoringgerät „Capnomac Ultima™“ der Fa. Datex Engstrom (Vertretung durch die Fa. Hoyer, Achim Deutschland). Der Capnomac Ultima™ ist in der Lage, die volatilen Inhalationsanästhetika sowie die Konzentration an Kohlendioxid (CO_2), Distickstoffmonoxid (N_2O) und Sauerstoff (O_2) zu erfassen. Dabei wird der Sauerstoffgehalt im Atemgasgemisch durch den Einsatz eines paramagnetischen Sensors ermittelt. Die Feststellung der Konzentration der restlichen genannten Gase erfolgt nach dem Prinzip der Infrarotspektroskopie.

Um die Genauigkeit des Capnomac Ultima™ für seinen Einsatz am Darm zu überprüfen, wurde ein Vergleich mittels der Gaschromatographie durchgeführt, einer standardmäßig für die Gasanalyse angewandten Referenzmethode. Hierfür wurde ein Gaschromatograph der Marke „Chromopac CP 9001“ eingesetzt, der mit einem Wärmeleitfähigkeitsdetektor versehen war. Die gaschromatographische Analyse wurde vom akkreditierten Prüfungslabor der Fa. Linde AG (Werkgruppe Technische Gase; Bereich Sondergase; Unterschleißheim) durchgeführt. Die Gasproben wurden nach der 80. Narkoseminute aus dem Darm eines Pferdes gewonnen, das bis zu diesem Zeitpunkt kontinuierlich 55 Vol. % Lachgas im Inhalationsgemisch erhalten hatte.

Die Lachgasmessung intra operationem erfolgte nach einer Warmlaufzeit des Gerätes von circa 1/2 h. Hierbei wurde die N₂O-Konzentration in den jeweiligen Darmteilen Caecum, Colon und Jejunum registriert. Dazu wurde eine 1,20 x 50 mm (18 G x 2`) Injektionskanüle tunnelartig (soweit vorhanden durch die Taenien) in das Darmlumen vorgeschoben, um an der Punktionsstelle später einen sicheren Verschluss zu erreichen. An der Kanüle angeschlossen war ein zum Gerät gehöriger Gasprobenschlauch, der in Verbindung zum Messgerät stand. Die Gasprobe wurde von dem Gerät mit einem Flow von 200 ml/min über eine vorgeschaltete Wasserfalle angesaugt und analysiert, wobei die Probe vom Gerät auf STPD-Bedingungen (Standard Temperature, Pressure, Dry) korrigiert wurde. Die erste Messung erfolgte durchschnittlich 20-30 Minuten nach Narkosebeginn, meist zuerst aus dem Caecum. Die Proben wurden überwiegend prästenotisch, selten stenotisch gemessen. (Ausnahmen: Torsio coli und Dünndarmileus). Die Lachgasmessung an den euthanasierten Pferden wurde nach dem gleichen Prinzip durchgeführt.

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit dem Statistikprogramm SAS. Gruppe I wurde mit Gruppe II mittels Wilcoxon Test für unabhängige Stichproben verglichen. Die Vergleiche der Messergebnisse in verschiedenen Zeitabschnitten während der Narkose innerhalb der Gruppe II wurden mit dem Wilcoxon Test für verbundene Stichproben überprüft. Das Signifikanzniveau wurde für die durchgeführten Tests auf $p \leq 0,01$ festgelegt. Die Ergebnisse galten als statistisch signifikant (*) bei $p < 0,01$, hochsignifikant (**) bei $p < 0,001$ und höchstsignifikant (***) bei $p < 0,0001$.

Ergebnisse

Vergleich mit der Referenzmethode

Die mittels Capnomac Ultima™ und der Referenzmethode (gaschromatographisch) gewonnenen Messergebnisse können Tabelle 1 und Tabelle 2 entnommen werden. Es zeigte sich für den Capnomac Ultima™ eine ausreichende Genauigkeit für seine Verwendung am Pferdedarm. Die N₂O-Messungen mit beiden Messverfahren wichen für die Probe I um 1 Vol. % und für die Probe II um 1,4 Vol. % voneinander ab. Diese Abweichung lag im Bereich des vom Hersteller angegebenen Standardfehlers des Gerätes und wurde für die Messgenauigkeit im Rahmen der Untersuchung als tolerierbar angesehen. Der vom Capnomac Ultima™ gemessene CO₂-

Wert stellt einen Höchstwert dar, da der Messbereich dieses Gerätes für CO₂ auf maximal 15 Vol. % beschränkt ist.

Die zusätzlich gaschromatographisch analysierten Darmgase, die vom Capnomac Ultima™ nicht erfasst werden konnten, dienten dem Überblick über die physiologisch und mengenmäßig im Intestinum des Pferdes vorhandenen Gase (Abb. 1).

Tab 1 Vom Messgerät Capnomac Ultima™ in Colon und Caecum gemessene Lachgaskonzentrationen. In den Klammern ist der vom Hersteller angegebene Standardfehler für das jeweilige Gas angegeben. Die Proben stammten von dem Pferd, das über 80 Minuten 55 Vol. % Lachgas im Inhalationsgemisch eingeatmet hatte.

Nitrous oxide concentrations measured with the Capnomac Ultima™ in colon and caecum. In brackets the standard error of the measuring device as given by the manufacturer. The gas samples were taken from a horse that had inhaled 55 Vol. % nitrous oxide over a period of 80 minutes.

mittels Capnomac Ultima™ analysierte Gase in den Proben	Probe I (Caecum) [Vol. %]	Probe II (Colon) [Vol. %]
O ₂	0 (±2)	0 (±2)
CO ₂	≥ 15 (±2)	≥ 15 (±2)
N ₂ O	11 (±2)	10 (±2)

Tab 2 Ergebnisse der gaschromatographischen Analyse der mit Tab. 1 identischen Gasproben aus Caecum und Colon. In Klammern sind die vom Prüfungslabor angegebenen Messfehlerbereiche dargestellt.

Results of gaschromatic analysis of the same samples listed in Table 1 from the caecum and from the colon. In brackets measurement errors as supplied by the testing laboratory.

Gaschromatographisch analysierte Gase in den Proben	Probe I (Caecum) [Vol. %]	Probe II (Colon) [Vol. %]
O ₂	0,8 (±2)	0,8 (±2)
CO ₂	65,4 (±1)	60,0 (±1)
N ₂ O	10,0 (±1)	8,6 (±1)
CH ₄	10,0 (±1)	10,5 (±1)
H ₂	7,8 (±1)	15 (±1)
N ₂	3,9 (±1)	4,0 (±1)

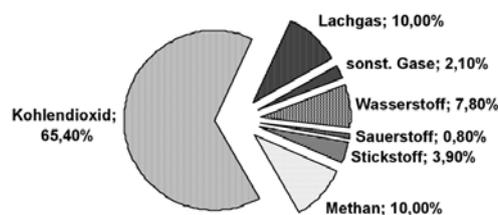


Abb 1 Gaschromatographische, quantitative und qualitative Analyse der Gasprobe aus dem Caecum des Pferdes mit 55 Vol. % Lachgas im Inhalationsgemisch über 80 Minuten. Die Untersuchungsergebnisse für das Colon verhalten sich ähnlich (s. Tab. 2). *Gaschromatographic quantitative and qualitative analysis of the gas sample from the caecum of the horse from Table 1 + 2. The results for the gas sample from the colon were similar.*

Ergebnisse der Pferde ohne Lachgasinhalation (Gruppe I)

Ergebnisse der Voruntersuchungsreihe

Die Voruntersuchungsreihe umfasste die Gruppe der 9 darmgesunden, euthanasierten Pferde, die ante mortem keiner Vollnarkose unterzogen worden waren. Die insgesamt 48

Messungen bei diesen Pferden entsprachen einem prozentualen Anteil an der Gesamtheit der 209 Messungen von 23 %. Es wurden innerhalb der Gruppe Werte von minimal 0,0 Vol. % und maximal 1 Vol. % registriert. Der Mittelwert der intestinalen Lachgaskonzentration betrug $\bar{x} = 0,23 (\pm 0,39)$ Vol. %.

Bei 11 Messungen von 4 der euthanasierten Pferde war 1 Vol.% intestinales Lachgas vorhanden. Diese Abweichung lag

Tab 3 Intestinale Lachgasmessung an 9 darmgesunden, ohne Inhalationsnarkose euthanasierten Pferden (detaillierte Darstellung der einzelnen Messungen der Voruntersuchungsreihe).
Intestinal nitrous oxide measurements in 9 horses euthanized for other reasons than colic.

Probanden-Nummer	intestinale Lachgaskonzentration [Vol. %]	Anzahl der Messungen (n = 48)
1	0	6
2	0	6
3	0	4
4	0	7
5	0 (3 Messungen) und 1 (6 Messungen)	9
6	0 (2 Messungen) und 1 (2 Messungen)	4
7	0	6
8	1	2
9	0 (3 Messungen) und 1 (1 Messung)	4

im vom Hersteller angegebenen Standardfehlerbereich. Bei den 5 übrigen euthanasierten Patienten (37 Messungen) konnte kein Lachgas im Intestinum festgestellt werden.

Ergebnisse der operativ versorgten Kolikpatienten ohne Lachgasinhalation

Elf chirurgisch versorgte Kolikpatienten, die ohne Lachgaszufuhr operiert wurden, stellten die Kontrolle zu den 40 Pferden mit Lachgasinhalation dar. Für diese Gruppe ergab sich bei einem Probenumfang von 35 Messungen ein Mittelwert von $\bar{x} = 0,34 (\pm 0,46)$ Vol. % für die intestinale Lachgaskonzentration. Die durchschnittliche Narkosedauer betrug bei diesen 11 Pferden 107 Minuten.

Ergebnisse der operativ versorgten Kolikpatienten mit Lachgasinhalation (Gruppe II)

Für die chirurgisch versorgten Kolikpatienten mit Lachgasinhalation ergab sich bei 126 Messungen an 40 Pferden ein Mittelwert für die intestinale Lachgaskonzentration von $\bar{x} = 3,7 (\pm 3,6)$ Vol. %. Individuell schwankten die intestinalen Lachgaskonzentrationen zwischen 0 und 16 Vol. %, die Lachgaskonzentrationen in den einzelnen Darmabschnitten eines Pferdes (Jejunum, Caecum und Colon) waren jedoch identisch. Die Narkosedauer betrug in dieser Gruppe durchschnittlich 104 Minuten.

Menge und Dauer der Lachgaszufuhr

Um einen Verlauf der intestinalen Lachgaskonzentration erkennen zu können, wurden alle Messergebnisse der Untersuchung Zeitbereichen zugeordnet und der Mittelwert der intestinalen Lachgaskonzentration des jeweiligen Zeitabschnittes berechnet (Tab. 4).

Die Pferde mit Messungen bis zur 35. Minute wiesen eine mittlere Lachgaskonzentration im Darm von $\bar{x} = 2,02 (\pm 1,63)$ Vol. % auf. Bei den Messungen bis zur 55. Minute wurden durchschnittlich $2,7 (\pm 2,09)$ Vol. % Lachgas im Darm gemessen. Nach der 35. Minute erfolgte meist eine Reduktion der Lachgaszufuhr, die Lachgaskonzentration im Darm stieg jedoch trotzdem bis zur 75. Minute auf $\bar{x} = 5,04 (\pm 4,89)$ Vol. % und danach weiter bis auf $\bar{x} = 7,9 (\pm 4,13)$ Vol. % an (Abb. 2).

Tab 4 Zuordnungen der Messungen zu Zeitbereichen während der Narkose.
Synopsis of time intervals and measurement results during anaesthesia.

Zeitbereich	im Mittel zugeführte Lachgaskonzentration in [Vol. %]	intestinale Lachgaskonzentration ($\bar{x} \pm s$) in [Vol. %]
bis zur 35. Minute	27	2,02 ($\pm 1,63$)
bis zur 55. Minute	24	2,7 ($\pm 2,09$)
bis zur 75. Minute	19	5,04 ($\pm 4,89$)
nach der 75. Minute	< 19	7,9 ($\pm 4,13$)

Gruppe I und Gruppe II im Vergleich

Zur statistischen Analyse einer möglichen Anreicherung von N₂O im Darm wurden die Pferde mit Lachgasverabreichung (Gruppe II) und die Pferde ohne Lachgasverabreichung (Gruppe I) miteinander verglichen. Dazu wurden in der Gruppe I (n = 20) die 9 Pferde der Voruntersuchungsreihe und die 11 Pferde der Kontrollgruppe mit Halothan-Sauerstoffnarkosen ohne Zufuhr von Lachgas zusammengefasst.

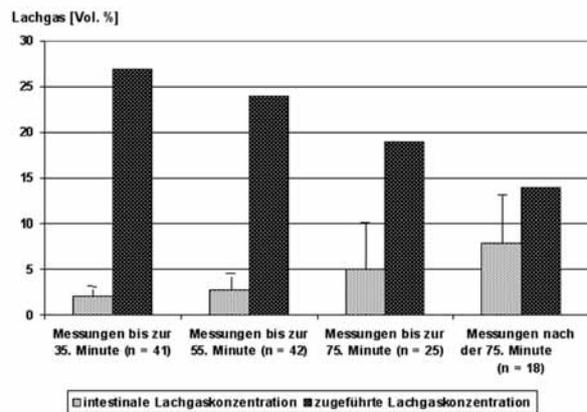


Abb 2 Veränderung der intestinalen Lachgaskonzentration in [Vol. %] ($\bar{x} + s$, helle Balken) und der im Narkoseverlauf zugeführten Lachgaskonzentration in [Vol. %] (\bar{x} , dunkle Balken, Reglereinstellung am Narkosegerät).
Variation of the intestinal nitrous oxide concentration [Vol %] ($\bar{x} + s$, light bars) and the administered concentration of nitrous oxide during anaesthesia (\bar{x} , dark bars representing adjustment of the nitrous oxide flow).

In der Gruppe II wurden 25 der 40 Pferde, an denen Messungen im Zeitraum zwischen der 25. und 35. Minute der Operation durchgeführt wurden, ausgewertet. Im Fall von Mehrfachmessungen pro Pferd wurden die Messungen innerhalb des untersuchten Zeitraums gemittelt. Unter diesen Voraussetzungen konnte ein Wilcoxon Test für unabhängige Stichproben angewandt werden.

Als Testergebnis zeigte sich ein höchstsignifikanter Unterschied ($p < 0,0001$) für den Mittelwertvergleich der beiden Gruppen. Die Gruppe ohne Lachgasverabreichung (Gruppe

I) erreichte eine intestinale Lachgaskonzentration von $0,28 (\pm 0,34)$ Vol. %. Gruppe II wies in dem untersuchten Zeitraum eine durchschnittliche intestinale Lachgaskonzentration von $2,02 (\pm 1,63)$ Vol. % auf (Abb. 3).

Betrachtung einzelner Narkosezeitabschnitte der Pferde der Gruppe II

Bei 12 Pferden der Gruppe II wurden sowohl während der 25.-35. Minute als auch zwischen der 55. und 75. Minute Messungen durchgeführt. Um statistisch eine weitere Akkumulation des intestinalen Lachgases nachzuweisen, wurde für die Mes-

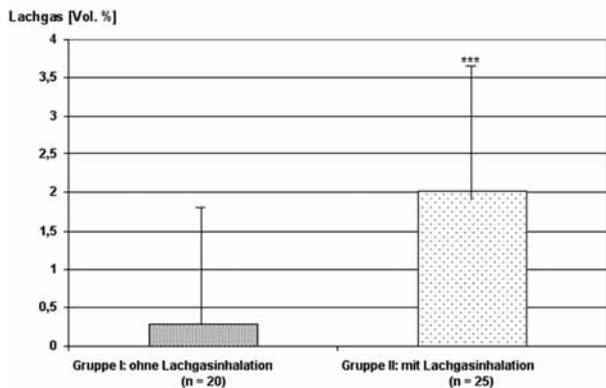


Abb 3 Darstellung der intestinalen Lachgaskonzentration ($\bar{x} + s$) für Pferde der Gruppe I (ohne Lachgaszufuhr) im Vergleich mit Gruppe II (mit Lachgaszufuhr) zwischen der 25.-35. Minute der Narkose.

Intestinal concentration of nitrous oxide between the 25th and 35th minute of anaesthesia ($\bar{x} + s$) in horses with (right bar) and without nitrous oxide administration in the inhalation gas mixture.

sergebnisse dieser Pferde der Wilcoxon Test für verbundene Stichproben durchgeführt. Die pro Pferd im jeweiligen Zeitraum im Mittel gemessenen Werte wurden miteinander verglichen.

Vom ersten zum zweiten untersuchten Zeitbereich konnte mit $p \leq 0,008$ ein signifikanter Anstieg der intestinalen Lachgaskonzentration registriert werden. Bei den zwölf Pferden wurde eine Zunahme der Lachgaskonzentration im Darmlumen von $2,3 (\pm 1,35)$ Vol. % in der 25.-35. Minute auf durchschnittlich $5,5 (\pm 4,5)$ Vol. % während der 55.-75. Minute festgestellt (Abb. 4). Auf einen statistischen Vergleich zu einem späteren Zeitpunkt musste wegen eines zu geringen Stichprobenumfangs verzichtet werden.

Intestinale Lachgaskonzentration in Abhängigkeit von der zugeführten Lachgaskonzentration

Wenn der Zeitfaktor nicht berücksichtigt wird, hat die zugeführte Lachgasmenge unabhängig von der Zeit ebenfalls einen Einfluss auf die Lachgaskonzentration im Darm (Abb. 5).

Diskussion

Anwendbarkeit des Messgerätes „Capnomac Ultima™“ zur Darmgasanalyse bei Pferden

Die gaschromatographische Untersuchung der Fa. Linde AG bestätigte eine für klinische Zwecke ausreichende Genauig-

keit des Narkosegas-Monitoringgerätes für die Bestimmung der Lachgaskonzentration im Darm, da die zwei Methoden in ihren Ergebnissen maximal um 1,4 Vol. % differierten und die Ergebnisse beider Analyseverfahren unter dem vom Hersteller Datex angegebenen Standardfehler von ± 2 Vol. % blieben.

Intestinale Lachgaskonzentration der Pferde ohne Lachgasinhalation (Gruppe I)

Die Messergebnisse der 9 euthanasierten Pferde mit einem Mittelwert für die intestinale Lachgaskonzentration von $0,23 (\pm 0,39)$ Vol. % belegen in Übereinstimmung mit den Aussagen

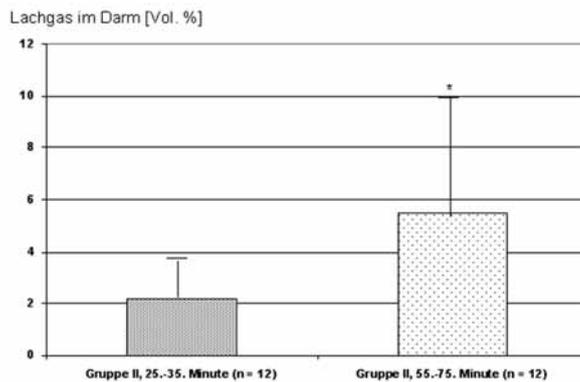


Abb 4 Vergleich der intestinalen Lachgaskonzentration bei 12 Pferden der Gruppe II nach 25-35 bzw. nach 55-75 Minuten der Halothan-Lachgas-Sauerstoffnarkose. Der Anstieg der Lachgaskonzentration im Darm war über diesen Zeitraum signifikant.

Comparison of intestinal nitrous oxide concentrations after 25- 35 and after 55-75 minutes of halothane nitrous oxide anaesthesia, respectively (n = 12). There was a significant increase of intestinal nitrous oxide concentration over this time.

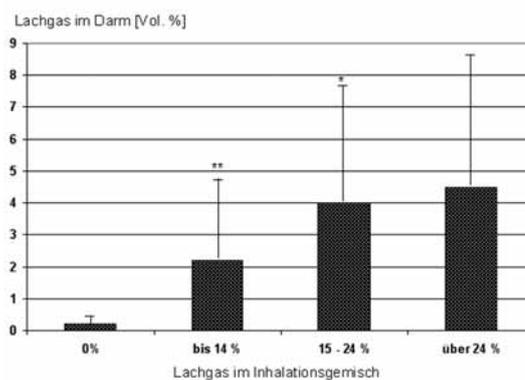


Abb 5 Im Darmlumen gemessene Lachgaskonzentration in [Vol. %] in Abhängigkeit von der Lachgaszufuhr.

Intestinal nitrous oxide concentration depending on the admixed nitrous oxide concentration in the inhalation gas mixture.

von Schuh (1975) und Munson (1974), dass Lachgas physiologischerweise nicht oder nur in außerordentlich geringen Konzentrationen im Intestinum zu finden ist. Ein entsprechendes Ergebnis ergab sich bei den Pferden, die aufgrund einer Kolik operiert wurden und in der Narkose kein Lachgas erhielten. Auch bei diesen 11 Pferden waren mit einem Mittelwert von $0,34 (\pm 0,46)$ Vol. % nur Spuren von Lachgas im Intestinum nachweisbar, die allerdings geringfügig höher waren, als bei

der Gruppe der euthanasierten Pferde. Dieser geringgradige Unterschied könnte an einem nicht abflutbaren Lachgasrest im Narkosesystem liegen oder auch durch eine höhere intestinale Produktion von Lachgas durch Bakterien entstanden sein.

Intestinale Messergebnisse bei Pferden mit Lachgasinhalation (Gruppe II) und deren Veränderung durch verschiedene Einflussfaktoren

In der Gruppe II wurde mittels 126 Messungen bei 40 Pferden eine mittlere Lachgaskonzentration von 3,7 ($\pm 3,6$) Vol. % im Darm festgestellt. Im Vergleich zur gesamten Gruppe I mit durchschnittlich 0,28 ($\pm 0,34$) Vol. % intestinale Lachgas belegt dieser Anstieg, dass tatsächlich eine Abhängigkeit zwischen einer Lachgasverabreichung im Narkosegasgemisch und der intestinalen Lachgasanreicherung vorliegt. Somit können frühere Untersuchungen (Moens und De Moor 1981, Lewis 1975, Cundy 1969, Eger und Saidman 1965), die eine Lachgasanreicherung im Instestinaltrakt nachgewiesen haben, bestätigt werden.

Einfluss der Narkosedauer auf die intestinale Lachgaskonzentration

Prinzipiell gehen Eger (1985), Moens und De Moor (1981) sowie Schuh (1975) von einer Abhängigkeit der intestinalen Lachgaskonzentration von den Faktoren „inhalierter Lachgaskonzentration“ und „Verabreichungszeit“ aus. Schon Eger (1985) vermutete, dass Lachgasverabreichungen bis zu einer Stunde keine Auswirkung auf die intestinale Aufgasung haben. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse bestätigen dies prinzipiell und entsprechen zudem früheren Ergebnissen von Brors und Gerhards (1998). Bei Gegenüberstellung der Gruppe I (Pferde ohne Lachgasinhalation) zur Gruppe II (Pferde mit Lachgasinhalation) wurde bei 25 Pferden der Gruppe II ein signifikanter, klinisch jedoch irrelevanter Anstieg der intestinalen Lachgaskonzentration bis zur 35. Narkoseminute auf 2,02 ($\pm 1,63$) Vol. % bzw. bis zur 55. Narkoseminute auf 2,7 ($\pm 2,09$) ermittelt. Eine weitere Anreicherung der intestinalen Lachgaskonzentration innerhalb der Gruppe II zeigte sich bei Messungen im weiteren Narkoseverlauf. Hier ergab sich, dass bis zur 75. Minute eine Zunahme der intestinalen Lachgaskonzentration auf durchschnittlich 5,04 ($\pm 4,89$) Vol. % erfolgt war. Auch dieses war ein statistisch signifikanter, klinisch jedoch ebenfalls unbedeutender Anstieg. Erst im weiteren Verlauf der Narkose nimmt die Lachgasanreicherung im Darm deutlicher zu. Ab der 75. Minute – und damit erst nach der von Eger (1985) zitierten Stunde – konnte eine Ansammlung von Stickoxydul im Darmtrakt von durchschnittlich 7,9 ($\pm 4,13$) Vol. % registriert werden.

Einfluss der im Narkoseverlauf inhalierten Lachgaskonzentration auf die intestinale Lachgasanreicherung

Die Werte der intestinalen Lachgaskonzentration in der Gruppe II veranschaulichen die Anreicherung von Lachgas im Darm, wobei dieser Vorgang nicht nur von der Zeit (Abb. 4), sondern auch von der verabreichten Lachgaskonzentration abhängt (Abb. 5). Die vorliegenden Untersuchungen bestätigen die Aussage von Schuh (1975), dass je höher die inha-

lierte Lachgaskonzentration ist, desto mehr Lachgas sich im Darm anreichert (Schuh 1975).

Durchschnittlich wurden den 40 Pferden der Gruppe II 27 Vol. % Lachgas während der ersten 35 Minuten der Narkose mit dem Inhalationsgemisch zugeführt. Der Wert liegt deutlich unter den von Eger und Saidman (1965) sowie von Moens und De Moor (1981) verabreichten Stickoxydulkonzentrationen und erklärt zumindest teilweise die geringeren festgestellten intestinalen Lachgaskonzentrationen der vorliegenden Untersuchung.

So wurde die von Eger und Saidman (1965) mittels Infrarotspektroskopie festgestellte Volumenverdoppelung, die im caninen Intestinum bei 50 Vol. %-iger Lachgaszufuhr beobachtet wurde, bei weitem nicht erreicht. Moens und De Moor (1981) stellten bei 5 Ponys, die durchschnittlich 70 Vol. % Lachgas über 30 Minuten zugeführt bekommen hatten, intestinale Lachgaskonzentrationen von durchschnittlich 9,6 ($\pm 3,24$) Vol. % fest.

Die Messergebnisse aller bis zur 35. Minute untersuchten Pferde der Gruppe II blieben mit 2,02 Vol. % Lachgas im Darmlumen, auch unter Beachtung der im Vergleich geringeren zugeführten Lachgaskonzentration von 27 Vol. % deutlich unter den von Moens und De Moor (1981) bis zur 30. Minute gemessenen 9,6 Vol. %. Gründe hierfür könnten sowohl in der vergleichsweise niedrigeren inhalierten Lachgaskonzentration und der kürzeren Verabreichungszeit, als auch in der Schocksituation des Kolikpferdes liegen.

Schlussfolgerung

Die immer wieder diskutierte Frage, ob die Anwendung von Lachgas bei der Narkose von Kolikpatienten wegen seiner Akkumulierung im Darmlumen und einer damit einhergehenden bedeutsamen Verschlechterung der Operationsbedingungen durch den Meteorismus kontraindiziert ist, kann bei einer verabreichten Lachgaszufuhr von weniger als 30 Vol. % im Inhalationsgemisch bis zur 35. Minute in Übereinstimmung mit Eger (1985) verneint werden. Bis zu diesem Zeitpunkt waren bei den 40 unter Lachgaszusatz im Inhalationsgemisch laparotomierten Pferden nur minimale Lachgaskonzentrationen (bis zu 2,02 Vol. %) im Darmgas feststellbar.

Eger (1974) wies darauf hin, dass intestinale Volumenzunahmen um das Dreifache des ursprünglichen Volumens beim Menschen tolerierbar sind. Daher können die oben genannten Lachgasvolumina als klinisch irrelevant erachtet werden. Weiterhin kann davon ausgegangen werden, dass bis zu diesem Zeitpunkt das Operationsfeld steril, das Abdomen eröffnet ist und mit einer chirurgischen Darmgasabsaugung begonnen werden kann. Somit könnten selbst höhere intestinale Lachgaskonzentrationen noch akzeptiert werden. In Übereinstimmung mit Eger (1974) wurden alle höheren intestinalen Lachgaskonzentrationen (>10 Vol. %) nach der 60. Minute festgestellt.

In Studien der Humanmedizin wurde das „Dogma der intestinalen Lachgasanreicherung“ ebenfalls in Frage gestellt. So konnten Krogh et al. (1994), Karlsten und Kristensen (1993) und Taylor et al. (1992) in ihren empirischen Studien eben-

falls keine Beeinträchtigung der Operationssituation durch Lachgasanreicherung im Intestinum feststellen. Im Hinblick auf die vielfältigen Vorteile und den langjährig geprüften Einsatz von Lachgas kann die Verwendung dieses preiswerten Anästhetikums in der meist kostenintensiven Pferdemedizin empfohlen werden.

Besonders wegen seiner kreislaufschonenden und Inhalationsanästhetikum sparenden Eigenschaften kann Lachgas unter Beachtung seines für die Pferdemedizin einzig wesentlichen Nachteils, nämlich der Senkung des arteriellen Sauerstoffpartialdruckes, vorteilhaft genutzt werden.

Wenn über die Nachteile von Lachgas diskutiert wird, sollte man jedoch seine umweltschädigende Wirkung berücksichtigen (Schirmer 1998). Sein Anteil am Treibhauseffekt wurde 1998 mit ca. 4-6 % bei steigender Tendenz angegeben. Die Freisetzung von Lachgas durch seinen Einsatz in der Anästhesie beträgt nach Angaben des Statistischen Bundesamtes pro Jahr durchschnittlich 4,4 Millionen Liter (180 000 mol). Allein im Jahr 1993 wurden an deutschen Kliniken 5,8 Millionen Vollnarkosen durchgeführt. Seinen Anteil am Treibhauseffekt trägt Lachgas durch den Abbau von Ozon in der Stratosphäre (Georgieff 1997). Hier wird es photolytisch zu Stickstoff und Stickstoffmonoxid-Radikalen zersetzt und zerstört so die Ozonschicht. Allerdings dürfte sein Beitrag zum Treibhauseffekt bei der vergleichbar niedrigen Anzahl an Pferdenarkosen relativ gering sein.

Literatur

- Austin A. T. (1967): The chemistry of the higher oxides of nitrogen as related to the manufacture, storage and administration of nitrous oxide. *Br J Anaesth* 39, 345-350
- Black C. A. (1957): *Soil-Plant Relationships*. John Wiley and Sons; New York
- Brors F. und H. Gerhards (1998): Lachgasmessung im Darm bei chirurgisch versorgten Kolikpatienten unter verschiedenen Narkosebedingungen. 15. DVG Arbeitstagung der Fachgruppe „Pferdekrankheiten“, Tagungsband 170-179
- Broadbent F. E. und A. G. Norman (1972): Denitrification. *Agronomy* 10, 344-359
- Cundy R. L., J. A. Aldrete und J. Thomas (1969): Intestinal Distension produced by nitrous oxide or ethylene inhalation. *Surg Gyn Obst* 129, 108-112
- Eger II E. I. (1974): Nitrous Oxide Transfer to Close Gas Spaces. In: Eger II E. I. (Hrsg.): *Anesthetic Uptake and Action*. Williams & Wilkins; Baltimore, 171-183
- Eger II E. I. (1985): Pharmacokinetics. In: Eger II E. I. (Hrsg.): *Nitrous oxide N₂O*. Elsevier Science, New York, 81-102
- Eger II E. I. und L. J. Saidman (1965): Hazards of nitrous oxide anesthesia in bowel obstruction and pneumothorax. *Anesthesiology*, 26, 61-66
- Epstein R. M., H. Rackow, E. Salantire und G. L. Wolf (1964): Influence of the concentration effect on the uptake of anaesthetic mixtures: The second gas effect. *Anesthesiology* 25, 364-371
- Eisele J. H. (1985): Cardiovascular Effects of Nitrous oxide. In: Eger II E. I. (Hrsg.): *Nitrous oxide N₂O*. Elsevier Science, New York, 125-156
- Folders F. F., E. R. Kepes und A. G. Ship (1965): Severe gastrointestinal distension during nitrous oxide and oxygen anesthesia. *J Am Med Assoc* 194, 1146-1148
- Frost E. A. M. (1985): A History of Nitrous Oxide. In: EGER II (Hrsg.): *Nitrous Oxide*. Elsevier Science Comp., New York, 1-22
- Georgieff M., H. Mückter, G. Fröba, S. Bäder, B. Liebl und T. Marx (1997): Xenon statt Lachgas? *Dt Ärzteblatt* 94 (34-35), A-2202-A2205.
- Herholz C. P. (1992): Die Narkose beim Schockpatienten. *Prakt Tierarzt Colleg Vet* 23, 4-8
- Karlstein R. und J. D. Kristensen (1993): Nitrous oxide does not influence the surgeon's rating of operating conditions in lower abdominal surgery. *Am J Anaesth* 10, 215-217
- Krogh B., P. J. Jensen, S. W. Henneberg, P. Hole und O. Kronborg (1994): Nitrous oxide does not influence operating conditions or postoperative course in colonic surgery. *Br J Anesth Soc J* 72, 55-57
- Lewis G. (1975): Intestinal distension during nitrous oxide anesthesia. *Canad Anesth Soc J* 22, 200-201
- Moens Y. und A. De Moor (1981): Diffusion of nitrous oxide into the intestinal lumen of ponies during halothane-nitrous oxide anesthesia. *Am J Vet Res* 42, 1751-1753
- Schirmer U. (1988): Lachgas. Entwicklung und heutiger Stellenwert. *Anaesthesist* 47, 245-255
- Schuh F. T. (1975): Nebenwirkungen von Lachgas. *Anaesthesist* 24, 392-399
- Steffey E. P. (1996): Inhalation Anesthetics. In: Thurmon J. C., W. J. Tranquilli und G. J. Benson (Hrsg.): *Lumb & Jones Veterinary Anesthesia* (3). William & Wilkins, Baltimore, Philadelphia, London, Paris, Munich, 297-329
- Steffey E. P. und D. Howland (1978a): Cardiovascular effects of halothane in the horse. *Am J Vet Res* 39, 611-615
- Steffey E. P. und D. Howland (1978b): Potency of Halothane-N₂O in the horse. *Am J Vet Res* 39 (7), 1141-1146.
- Steffey E. P. und I. Eger II (1985): Nitrous Oxide in veterinary practice and animal research. In: Eger E. I. (Hrsg.): *Nitrous Oxide*. Elsevier Science, New York, S. 305-311.
- Taylor E., R. Feinstein, P. F. White und N. Soper (1992): Anesthesia for Laparoscopic Cholecystectomy. *Anesthesiology* 76, 541-543

Prof. Dr. H. Gerhards
Klinik für Pferde
Ludwig Maximilians Universität München
Veterinärstr. 13
80539 München
h.gerhards@chir.vetmed.uni-muenchen.de

Pferdeheilkunde Curriculum

Kolik

Hartmut Gerhards und Wolfgang Scheidemann

18.-19. November 2006