

Klinischer Verlauf sowie Herzfrequenz und pulmonale Funktionen bei thorakoskopischen Eingriffen am stehenden sedierten Pferd – Teil 2: Atemfrequenz, expiratorisches Atemzugvolumen, expiratorisches Atemminutenvolumen und endexpiratorischer Kohlendioxidgehalt

Doreen Scharner, Jeanette Theißen und Jean-Claude Ionita

Chirurgische Tierklinik, Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Leipzig

Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Studie war es, den Einfluss der Thorakoskopie am stehenden Pferd auf ausgewählte Parameter der pulmonalen Funktion unter sedativer und analgetischer Wirkung von Romifidin und Levomethadon zu ermitteln. Hierzu wurden an zehn gesunden adulten Pferden im Alter von vier bis 22 Jahren jeweils drei Untersuchungen vorgenommen. Die erste Untersuchung erfolgte ausschließlich unter dem Einfluss der für die Sedation und Analgesie verwendeten Pharmaka Romifidin und Levomethadon. Die zweite Untersuchung wurde unter einer rechtsseitigen und die dritte unter einer linksseitigen Thorakoskopie der Pferde vorgenommen. Zu 7 Messzeitpunkten wurden Atemfrequenz, expiratorisches Atemzugvolumen, expiratorisches Atemminutenvolumen und endexpiratorischer Kohlendioxidgehalt bestimmt. Dabei entsprachen die Messzeitpunkte 1 bis 4 dem Zeitraum vor der Thorakoskopie, die Messzeitpunkte 5 und 6 dem Zeitraum während der Thorakoskopie und der Messzeitpunkt 7 dem Zeitraum nach der Thorakoskopie. Da keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Messwerten der links- und rechtsseitigen Thorakoskopien bestanden, wurden diese zusammengefasst. Die Mittelwerte der Atemfrequenzen lagen bei den sedierten und thorakoskopierte Pferden zu den Messzeitpunkten 5 und 6 signifikant über denen der nur sedierten Tiere ($14,4 \pm 5,3 \text{ min}^{-1}$ bzw. $8,5 \pm 2,7 \text{ min}^{-1}$ und $15,7 \pm 4,5 \text{ min}^{-1}$ bzw. $8,3 \pm 2,5 \text{ min}^{-1}$). Während der thorakoskopischen Untersuchung kam es zu einem Abfall des expiratorischen Atemzugvolumens, wobei die niedrigsten Werte zu den Messzeitpunkten 5 und 6 zu verzeichnen waren. Zum Messzeitpunkt 5 bzw. 6 lagen die Mittelwerte des expiratorischen Atemzugvolumens signifikant niedriger bei den sedierten und thorakoskopierte Pferden ($1034,8 \pm 192,9 \text{ ml/100kg}$ bzw. $958,2 \pm 190,8 \text{ ml/100kg}$) als bei den lediglich sedierten Tieren ($1538,5 \pm 384,7 \text{ ml/100kg}$ bzw. $1437,0 \pm 268,9 \text{ ml/100kg}$). Entsprechend des Anstiegs der Atemfrequenz kam es zu einem signifikanten Anstieg des expiratorischen Atemminutenvolumens während der Thorakoskopie. Der endexpiratorische Kohlendioxidgehalt fiel während der Thorakoskopie signifikant ab. Zusammenfassend lässt sich formulieren, dass der für die thorakoskopische Untersuchung notwendige Pneumothorax zu einer negativen Beeinflussung der pulmonalen Funktion führte. Dies äußerte sich vor allem in einer Tachypnoe, einem verminderten Atemzugvolumen sowie in einem Abfall des endexpiratorischen Kohlendioxidgehalts.

Schlüsselwörter: Pferd / Lunge / Thorakoskopie / Pneumothorax / pulmonale Funktion

Clinical course, heart rate and pulmonary function during thoracoscopy in the standing sedated horse – part 2: respiratory rate, expiratory tidal volume, expiratory minute ventilation and end-expiratory carbon dioxide level

The aim of this study was to investigate and compare the direct pulmonary effect of sedation alone and of thoracoscopy in with romifidine and butorphanol sedated standing horses. Three series of measurements were performed in ten healthy adult horses aged between 4 and 22 years. The first series of measurements were made solely under the influence of sedation and analgesia using romifidine or levomethadone, in order to differentiate between drugs and thoracoscopy induced effects later. The second run was carried out under right-side and the third under left-sided thoracoscopy of the horses. Respiratory rate, expiratory tidal volume, expiratory minute ventilation and end-expiratory carbon dioxide level were recorded at 7 constant time points. Points 1 to 4 corresponded to preoperative, 5 and 6 to intraoperative and 7 to postoperative time points. Since there were no statistically significant differences between measured values during left- and right-sided thoracoscopies, results were combined in a single series. Mean respiratory rate values from patients at time points 5 and 6 (e.g. during thoracoscopy) were significantly higher than those when animals were only sedated ($14.4 \pm 5.3 \text{ min}^{-1}$ and $8.5 \pm 2.7 \text{ min}^{-1}$; $15.7 \pm 4.5 \text{ min}^{-1}$ and $8.3 \pm 2.5 \text{ min}^{-1}$). During thoracoscopic examination, there was a decrease in the expiratory tidal volume, with lowest values recorded at time points 5 and 6. Mean expiratory tidal volume was significantly lower at time points 5 and 6 (during thoracoscopy) ($1034.8 \pm 192.9 \text{ ml/100kg}$ and $958.2 \pm 190.8 \text{ ml/100kg}$) than in the "only sedation" run at the same times ($1538.5 \pm 384.7 \text{ ml/100kg}$ and $1437.0 \pm 268.9 \text{ ml/100kg}$, respectively). Accordingly to the increase in respiratory rate, mean expiratory minute ventilation during thoracoscopy increased significantly. Mean end-expiratory carbon dioxide levels decreased significantly during thoracoscopy. In summary, the pneumothorax concomitant to thoracoscopic examination induced a negative influence on pulmonary function. Tachypnea, decreased expiratory tidal volume and decreased end-tidal carbon dioxide levels were typical changes.

Keywords: horse / lung / thoracoscopy / pneumothorax / pulmonary function

Einleitung

Die Thorakoskopie stellt eine minimal-invasive Methode zur Diagnostik und Therapie verschiedener pathologischer Veränderungen im Cavum pleurae dar (Lieber et al. 2006). Grundvoraus-

setzung für die erfolgreiche Durchführung einer Thorakoskopie ist das Vorhandensein eines adäquaten Arbeitsbereiches für Endoskop und Instrumente im Pleuraspalt, der nur durch einen iatrogenen Pneumothorax erreicht werden kann (Walton 2001).

Der Pneumothorax bezeichnet eine Luftansammlung zwischen Lunge und Brustwand und führt durch Verlust des Unterdruckes im Pleuraspalt zum Lungenkollaps aufgrund der Eigene lastizität der Lunge (Gambazzi 2006, Klopp et al. 2007). Der Unterdruck im Pleuraspalt hält die Lunge am Ende der Expirationsphase in einem noch aufgeblähten Zustand (Mitrouska et al. 2004). Dieses Volumen wird als funktionelle Residualkapazität (FRC) definiert und stellt die größte Reserve an Sauerstoff im Körper dar (Villars et al. 2002). Die FRC nimmt beim Pneumothorax erheblich ab, was eine Hypoxie bedingen kann (Gilmartin et al. 1985, Villars et al. 2002). Ferner nimmt die alveoläre Oberfläche dabei ab, was wiederum zur Beeinträchtigung des Gasaustausches führt.

Die Atemfunktion wird von vielen Parametern reguliert, welche in engem kausalen Zusammenhang stehen, um die alveoläre Ventilation und somit den Gasaustausch zu gewährleisten. Bisher liegen keine Angaben darüber vor, welche Auswirkungen der Pneumothorax im Rahmen einer Thorakoskopie auf die pulmonale Funktion beim Pferd besitzt. Hingegen existieren Untersuchungen zu den Auswirkungen laparoskopischer Eingriffe auf die Lungenfunktion beim Pferd (Linden 1999, Filzek et al. 2001). So verzeichneten Filzek et al. (2001) während des Kapnoperitoneums einen signifikanten Abfall des expiratorischen Atemzugvolumens.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Einflüsse der Thorakoskopie am stehenden sedierten Pferd auf ausgewählte Parameter der pulmonalen Funktion zu untersuchen. Im Einzelnen wurden Atemfrequenz, expiratorisches Atemzugvolumen, expiratorisches Atemminutenvolumen sowie endexpiratorischer Kohlendioxidgehalt bestimmt. Hierzu wurde an zehn Pferden eine rechts- und eine linksseitige Thorakoskopie vorgenommen. Die Wirkungen der verwendeten Medikamente sollten dabei von denen der Thorakoskopie differenziert werden.

Tiere, Material und Methoden

Die Angaben zu den Pferden, den verwendeten Medikamenten sowie der Einteilung der Messreihen und der Zeitplanung des Versuchsablaufes ist dem Teil 1 dieser Veröffentlichung zu entnehmen.

Vorbereitung der Messgeräte

Zur Ermittlung der Atmungsparameter wurde ein modifizierter Seitenstrom-Spirometrie-Sensor „Horse-Lite“ nach Moens et al. (2009) für Großtiere nach dem Pitotrohr Prinzip verwendet. Dieser Sensor wurde auf eine abgewandelte Inhalationsmaske (Inhalator Werner Kegel) gesetzt und war über Probeschläuche (Einweg-Spirometrie-Schlauch, 3 m, Datex

Ohmeda, Helsinki) mit einem Capnomac® Ultima (Datex Engström, Helsinki, Finnland) verbunden (Abb. 1). Hier erfolgte die Berechnung der Atemvolumina über zeitliche Integration der Atemstromstärke. Vor jeder Messung fand mit Hilfe einer 3-Liter-Eichspritze (Calibration Syringe, series 5530, Vacumed, USA) eine Volumenkalibrierung des Spirometers statt, entsprechend der Anweisung von Moens et al. (2009). Im Zuge der Seitenstromkapnographie wurden kontinuierlich 200 ml pro Minute über einen Probeschlauch (Einweg-Anästhesie-Gasprobeschlauch, 3 m, Datex Ohmeda, Helsinki) Gasproben aus der Atemluft entnommen und an den Capnomac® Ultima weitergeleitet. Hier erfolgte die Gasanalyse über Infrarotabsorptionsspektrometrie. Die Kalibrierung des Kapnographen erfolgte regelmäßig mit einem Referenzgas (QuickCal™ Calibration Gas, Datex Engström, Helsinki, Finnland), welches 5 % CO₂, 55 % O₂, 33 % N₂O und 3 % Anästhesiegas enthält. Die berechneten Werte wurden von einem angeschlossenen Computer über die entsprechende Software alle zehn Sekunden aufgezeichnet und gespeichert.

Vorbereitung der Tiere

Alle Pferde wurden einen Tag vor der Messung einer allgemeinen Untersuchung einschließlich der Anfertigung eines Blutbildes unterzogen. Weiterhin fand zu diesem Zeitpunkt eine Gewöhnung der Tiere an die Atemmaske statt.

Gemessene Parameter

In der Tabelle 1 sind die gemessenen und ausgewerteten Parameter aufgelistet. Mittels Spirometrie-Monitor fand die



Abb. 1 Pferd während einer Messung mit aufgesetzter modifizierter Inhalationsmaske, der ein Seitenstrom-Spirometrie-Sensor angeschlossen ist. Die Probeschläuche führen zum Capnomac Ultima®

Tab. 1 Gemessene Parameter, Abkürzungen und Maßeinheit / *Measured parameters, abbreviations and units*

Parameter	Symbol	Einheit
Atemfrequenz	Af	min ⁻¹
Expiratorisches Atemzugvolumen	TV _{exp.}	ml/100 kg KG
Expiratorisches Atemminutenvolumen	MV _{exp.}	l/100 kg KG
Endexpiratorischer Kohlendioxidgehalt	EtCO ₂	Vol.-%

Ermittlung der Atemfrequenz, des expiratorischen Atemzugvolumens und des expiratorischen Atemminutenvolumens statt. Der endexpiratorische Kohlendioxidgehalt wurde mit Infrarotabsorptionsspektrometrie ermittelt (Capnomac® Ultima, Datex Engström, Helsinki, Finnland). Die Volumendaten wurden infolge des unterschiedlichen Körpergewichts der Tiere in ml/100kg bzw. l/100kg umgerechnet. Dies erlaubte einen direkten interindividuellen Vergleich.

Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm SPSS 18. Die Prüfung auf Normalverteilung mit dem Shapiro-Wilk-Test bestätigte das Vorliegen von normal verteilten Daten. Der Vergleich der Messdaten zwischen links- und rechtsseitiger Thorakoskopie erfolgte mit dem gepaarten t-Test. Da bei keinem der Parameter ein signifikanter Unterschied zwischen der Thorakoskopie der rechten und der linken Seite bestand, fand bei der anschließenden Auswertung keine Differenzierung zwischen links- und rechtsseitiger Thorakoskopie statt. Alle Messergebnisse wurden in einer einzigen Messreihe zusammengefasst (Messreihe B). Es wurden die Mittelwerte der einzelnen Parameter sowie die Standardabweichung berechnet. Da die selben Pferde für die Messreihe A und B genutzt wurden, erfolgte die Signifikanzprüfung der gepaarten Differenzen mit dem gepaarten t-Test. Die Messwerte innerhalb der Messreihe B wurden auf signifikante Unterschiede zwischen dem Messzeitpunkt 4 und den nachfolgenden Messzeitpunkten mit dem gepaarten t-Test geprüft. Die p-Werte wurden nach dem Bonferroni-Holm-Verfahren adjustiert.

Ergebnisse

Atemfrequenz (Af)

Die Mittelwerte der Atemfrequenz inklusive der Standardabweichungen der beiden Messreihen zu den verschiedenen Messzeitpunkten sind der Abbildung 2 zu entnehmen. Der Vergleich der Messreihen A und B untereinander ergab signifikante Unterschiede zu den Messzeitpunkten 5 und 6. Zum Messzeitpunkt 5 lag der Mittelwert der Atemfrequenz in der Messreihe B signifikant ($p=0,003$) über dem der Messreihe A ($14,4 \pm 5,3 \text{ min}^{-1}$ bzw. $8,5 \pm 2,7 \text{ min}^{-1}$). Zum Messzeitpunkt 6 war der Unterschied zwischen den Messreihen noch deutlicher ausgeprägt ($15,7 \pm 4,5 \text{ min}^{-1}$ bzw. $8,3 \pm 2,5 \text{ min}^{-1}$; $p=0,0001$).

Bei Betrachtung der Mittelwerte der Atemfrequenzen zu den verschiedenen Messzeitpunkten der Messreihe B ergaben sich dazu signifikante Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten 4 und 5 sowie 4 und 6. Der Mittelwert der Atemfrequenz lag zum Messzeitpunkt 5 ($14,4 \pm 5,3 \text{ min}^{-1}$, $p \leq 0,01$) und zum Messzeitpunkt 6 ($15,7 \pm 4,5 \text{ min}^{-1}$, $p \leq 0,001$) signifikant höher als zum Messzeitpunkt 4 ($8,8 \pm 1,8 \text{ min}^{-1}$).

Expiratorisches Atemzugvolumen (TV_{exp})

In Abbildung 3 sind für das expiratorische Atemzugvolumen die Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardabweichungen der beiden Messreihen graphisch dargestellt. Der Vergleich der Messreihen A und B untereinander ergab signifi-

kante Unterschiede zu den Messzeitpunkten 5, 6 und 7. Zum Messzeitpunkt 5 bzw. 6 lagen die Mittelwerte des expiratorischen Atemzugvolumens signifikant ($p \leq 0,001$) niedriger in der Messreihe B ($1034,8 \pm 192,9 \text{ ml/100kg}$ bzw. $958,2 \pm 190,8 \text{ ml/100kg}$) als in der Messreihe A ($1538,5 \pm 384,7 \text{ ml/100kg}$ bzw. $1437,0 \pm 268,9 \text{ ml/100kg}$). Zum Messzeitpunkt 7 stieg das expiratorische Atemzugvolumen bei den Pferden der Messreihe B wieder an. Der Unterschied zwischen den Messreihen war allerdings zu diesem Messzeitpunkt noch signifikant ($1341,2 \pm 265,5 \text{ ml/100kg}$ für B bzw. $1509,1 \pm 288,9 \text{ ml/100kg}$ für A; $p=0,03$).

Die Überprüfung der Mittelwerte des expiratorischen Atemzugvolumens zu den verschiedenen Messzeiten in der Messreihe B zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen den Messzeitpunkten 4 und 5 ($p \leq 0,01$) sowie zwischen den

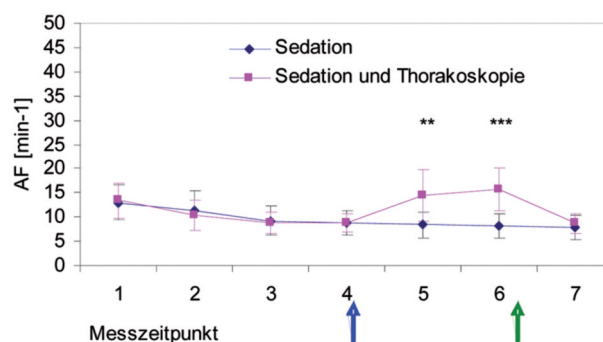


Abb. 2 Mittelwerte und Standardabweichungen der Atemfrequenz der sedierten Pferde (Messreihe A) und der sedierten und thorakoskopierten Pferde (Messreihe B), der blaue Pfeil markiert den Beginn und der grüne Pfeil das Ende der Thorakoskopie in der Messreihe B, **entspricht $p \leq 0,01$, ***entspricht $p \leq 0,001$ (signifikante Unterschiede zwischen Messreihe A und B)

Mean and standard deviation of the respiratory rate of sedated horses (measurement A) and sedated plus thoracoscopy horses (measurement B). The blue arrow indicates the beginning and the green arrow the end of the thoracoscopy in measurement B, ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$

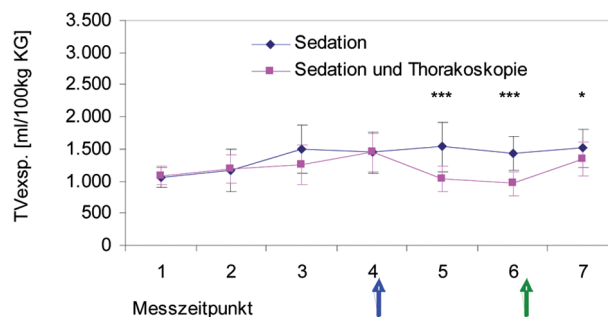


Abb. 3 Mittelwerte und Standardabweichungen des expiratorischen Atemzugvolumens der sedierten Pferde (Messreihe A) und der sedierten und thorakoskopierten Pferde (Messreihe B), der blaue Pfeil markiert den Beginn und der grüne Pfeil das Ende der Thorakoskopie in der Messreihe B, *entspricht $p \leq 0,05$, **entspricht $p \leq 0,001$ (signifikante Unterschiede zwischen Messreihe A und B)

Mean and standard deviation of the expiratory tidal volume of sedated horses (measurement A) and sedated plus thoracoscopy horses (measurement B). The blue arrow indicates the beginning and the green arrow the end of the thoracoscopy in measurement B, * $p \leq 0,05$, *** $p \leq 0,001$

Messzeitpunkten 4 und 6 ($p \leq 0,001$). Zwischen den Messzeitpunkten 4 und 7 war kein signifikanter Unterschied mehr feststellbar.

Expiratorisches Atemminutenvolumen (MV_{exp})

Die Abbildung 4 zeigt für das expiratorische Atemminutenvolumen die Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardabweichungen auf. Der Vergleich der Mittelwerte der Messreihen A und B untereinander ergab signifikante Unterschiede zu den Messzeitpunkten 4, 5, und 6. In der Messreihe B lag der Mittelwert des expiratorischen Atemminutenvolumens

zum Messzeitpunkt 5 signifikant ($p=0,003$) höher als in der Messreihe A ($15,5 \pm 2,1$ l/100kg bzw. $12,7 \pm 2,8$ l/100kg). Zum Messzeitpunkt 6 war der Unterschied noch deutlicher ($15,5 \pm 3,2$ l/100kg bzw. $11,9 \pm 1,6$ l/100kg; $p = 0,001$).

Bei Betrachtung der Mittelwerte des expiratorischen Atemminutenvolumens zu den verschiedenen Messzeitpunkten in der Messreihe B ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten 4 und 5 sowie 4 und 6 ($p \leq 0,001$). Der Mittelwert des expiratorischen Atemminutenvolumens lag zum Messzeitpunkt 5 ($15,6 \pm 2,1$ l/100kg) und zum Messzeitpunkt 6 ($15,5 \pm 3,2$ l/100kg) signifikant höher als zum Messzeitpunkt 4 ($10,9 \pm 2,1$ l/100kg).

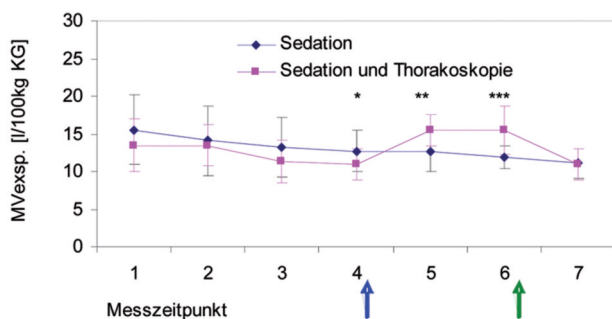


Abb. 4 Mittelwerte und Standardabweichungen des expiratorische Atemminutenvolumens der sedierten Pferde (Messreihe A) und der sedierten und thorakoskopierten Pferde (Messreihe B), der blaue Pfeil markiert den Beginn und der grüne Pfeil das Ende der Thorakoskopie in der Messreihe B, *entspricht $p \leq 0,05$, **entspricht $p \leq 0,01$, ***entspricht $p \leq 0,001$ (signifikante Unterschiede zwischen Messreihe A und B)

Mean and standard deviation of the expiratory minute ventilation of sedated horses (measurement A) and sedated plus thoracoscopy horses (measurement B). The blue arrow indicates the beginning and the green arrow the end of the thoracoscopy in measurement B, * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$.

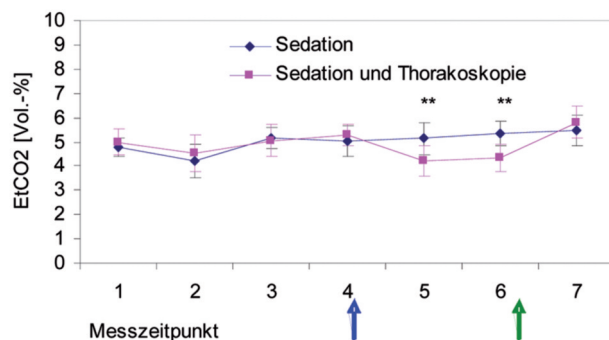


Abb. 5 Mittelwerte und Standardabweichungen des endexpiratorischen Kohlendioxidgehalts der sedierten Pferde (Messreihe A) und der sedierten und thorakoskopierten Pferde (Messreihe B), der blaue Pfeil markiert den Beginn und der grüne Pfeil das Ende der Thorakoskopie in der Messreihe B, **entspricht $p \leq 0,01$ (signifikante Unterschiede zwischen Messreihe A und B)

Mean and standard deviation of the end-expiratory CO_2 percentage of sedated horses (measurement A) and sedated plus thoracoscopy horses (measurement B). The blue arrow indicates the beginning and the green arrow the end of the thoracoscopy in measurement B, ** $p \leq 0,01$

Endexpiratorischer Kohlendioxidgehalt ($EtCO_2$)

Die Abbildung 5 spiegelt den endexpiratorischen Kohlendioxidgehalt beider Messreihen wieder. Der Vergleich der Mittelwerte der Messreihen A und B untereinander ergab signifikante ($p \leq 0,01$) Unterschiede zu den Messzeitpunkten 5 und 6. Zum Messzeitpunkt 5 lag der Mittelwert in der Messreihe B signifikant niedriger als in der Messreihe A ($4,23 \pm 0,62$ Vol.-% bzw. $5,15 \pm 0,66$ Vol.-%). Zum Messzeitpunkt 6 zeigte sich ein ähnliches Verhalten ($4,32 \pm 0,57$ Vol.-% bzw. $5,33 \pm 0,49$ Vol.-%).

Die Mittelwerte des endexpiratorischen Kohlendioxidgehalts in der Messreihe B waren signifikant niedriger zu den Messzeitpunkten 5 ($p \leq 0,001$) sowie 6 ($p \leq 0,01$) verglichen mit dem Messzeitpunkt 4. Zwischen den Messzeitpunkten 4 und 7 war kein Unterschied mehr feststellbar.

Diskussion

Das Ziel dieser Studie war, die Einflüsse der Thorakoskopie auf ausgewählte Atemparameter am stehenden sedierten Pferd zu untersuchen. Den Autoren dieser Arbeit war bisher keine vergleichbare Studie bekannt, in der das expiratorische Atemzugvolumen, das expiratorische Atemminutenvolumen und der endexpiratorische Kohlendioxidgehalt am stehenden thorakoskopierten Pferd gemessen wurden. Die wenigen Arbeiten hierzu beschränken sich lediglich auf Blutgasanalysen (Vachon und Fischer 1998, Relave et al. 2008; Boy und Sweeney 2000, Peroni et al. 2000). Die Blutgasanalyse liefert zwar wertvolle Informationen über die momentane respiratorische Effektivität eines Patienten, erlaubt aber keine direkte Beurteilung der pulmonalen Funktion und hängt dazu noch von weiteren Faktoren wie zum Beispiel von der peripheren Organperfusion und der Gasaustauschkapazität ab. Durch die Messungen der Atemfrequenz, des expiratorischen Atemzugvolumens, des expiratorischen Atemminutenvolumens und des endexpiratorischen Kohlendioxidgehalts ist hingegen eine Bestimmung der pulmonalen Funktion möglich.

Sensor und Maske

Die Messungen der pulmonalen Parameter wurden mittels einer herkömmlichen Inhalationstherapie Maske für Pferde verbunden mit dem modifizierten Seitenstrom-Spirometrie-Sensor „Horse-Lite“ nach Moens et al. (2009) durchgeführt.

Dieser Sensor wurde sowohl unter klinischen Bedingungen als auch unter In vitro-Konditionen validiert (Moens et al. 2009, Ionita 2002). Die Tiere tolerierten die Maske mit dem Sensor „Horse-Lite“ gut, was auch durch die im physiologischen Bereich liegenden Atemfrequenzen zum Messzeitpunkt 1 (unsedierte Pferde) und durch das ruhige Verhalten der Tiere Bestätigung fand. Die vor jeder Messung durchgeführte spirometrische Kalibrierung des Geräts und Kontrollen der Dichtigkeit zwischen Maske und Patient konnten volumetrische Messfehler minimieren.

Atemfrequenz

In beiden Messreihen konnte zunächst eine Abnahme der Atemfrequenz nach der Sedierung beobachtet werden. Dies ist als mögliche Nebenwirkung der Sedierung mittels $\alpha 2$ Agonisten bekannt und wird oft von einer Hypoxämie begleitet (Lavoie et al. 1996, Nyman et al. 2009). Die Erzeugung des Pneumothorax verursachte einen Anstieg der Atemfrequenz, was höchstwahrscheinlich als Kompensationsversuch der veränderten Atemfunktionsverhältnisse zu bewerten war. Diese Beobachtung machten ebenfalls Boy und Sweeney (2000), die das Auftreten einer Tachypnoe als typisches Symptom eines Pneumothorax sahen. Bei thorakoskopierten Hunden stellten Bennett et al. (1989) ebenso eine Erhöhung der Atemfrequenz fest. Peroni et al. (2000) hingegen erwähnten keine Änderung der Atemfrequenz während der Thorakoskopien bei Pferden. Der Abfall der Atemfrequenz nach Beendigung der Thorakoskopie ließ auf eine schnelle Wiederherstellung der Lungenfunktion nach Aufbau des Unterdrucks schließen.

Expiratorisches Atemzugvolumen

Das expiratorische Atemzugvolumen lag in beiden Messreihen A und B zum Messzeitpunkt 1 mit $1058,2 \pm 146,4$ ml/100kg und $1085,6 \pm 136,4$ ml/100 kg im physiologischen Bereich für medikamentös unbeeinflusste Pferde (Robinson 1991, Schatzmann 1995). Nach der Sedierung wurde in beiden Messreihen ein leichter Anstieg des expiratorischen Atemzugvolumens festgestellt, was auf die Wirkung des Romifidins zurückgeführt wurde (Poulsen Nautrup und Keller 1989). Dies stellt eine mögliche Wirkung von $\alpha 2$ Agonisten dar, die von anderen Autoren auch nach Detomidin-Gabe festgestellt wurde (Lavoie et al. 1996, Nyman et al. 2009). Nach Injektion von Levomethadon war eine weitere nicht signifikante Erhöhung des Atemzugvolumens zu merken. Sehr wahrscheinlich kam dieser Anstieg des Atemzugvolumens als Kompensation für den Abfall der Atemfrequenz vor, um die alveoläre Ventilation aufrechtzuerhalten.

Während der Thorakoskopie wurde ein signifikanter Abfall des expiratorischen Atemzugvolumens festgestellt, der noch nach Wiederherstellung des Unterdrucks im Pleuralraum nachweisbar war. Der Abfall des expiratorischen Atemzugvolumens war durch den während der Endoskopie sichtbaren Lungenkollaps bedingt. Als Kompensationsversuch des abnehmenden expiratorischen Atemzugvolumens wurde die Erhöhung der Atemfrequenz während der Thorakoskopie angesehen.

Expiratorisches Atemminutenvolumen

Das Atemminutenvolumen ergibt sich definitionsgemäß aus dem Produkt aus Atemzugvolumen und Atemfrequenz (Gros 2000). Der Abfall des expiratorischen Atemminutenvolumens über die gesamte Messzeit der Messreihe A war auf den Abfall der Atemfrequenz zurückzuführen. Dagegen wurde während der Thorakoskopie ein signifikanter Anstieg des expiratorischen Atemminutenvolumens verzeichnet, der durch den ebenfalls signifikanten Anstieg der Atemfrequenz erklärbar war, da das Atemzugvolumen in dieser Zeit abnahm. Der Anstieg des expiratorischen Atemminutenvolumens über den Ausgangswert während der Thorakoskopie kann als eine kompensatorische Maßnahme zur Erhaltung einer arteriellen Eukapnie bei einer Störung der pulmonalen Ventilation/Perfusion (V/Q) Verhältnisse interpretiert werden. Anhand des Atemminutenvolumens allein kann keine Aussage über die Effektivität der Atmung getroffen werden (Thews 1997). Das zuvor beschriebene geringe Atemzugvolumen und die hohe Atemfrequenz während der Thorakoskopie lassen vermuten, dass eine Totraumventilation mit verminderter alveolärer Ventilation vorlag.

Endexpiratorischer Kohlendioxidgehalt

Die Auswertung des endexpiratorischen Kohlendioxidgehalts in der vorliegenden Untersuchung dient vornehmlich dem Vergleich innerhalb und zwischen den Messreihen. Ein Vergleich zu Ergebnissen anderer Untersucher konnte nur unter Vorbehalt vorgenommen werden, da anzunehmen ist, dass es bedingt durch die Atemmaske zu geringgradigen Abweichungen von den realen Werten kam. Veränderungen des endexpiratorischen Kohlendioxidgehalts können auf den Stoffwechsel, das Herz-Kreislauf-System und/oder auf den Respirationstrakt zurückgeführt werden (Moens und De Morr 1981). Die Ursache des in beiden Messreihen vom Messzeitpunkt 1 zum Messzeitpunkt 2 abgefallenen endexpiratorischen Kohlendioxidgehalts ist bei Betrachtung der Veränderungen von Atemfrequenz und expiratorischen Atemzugvolumen nicht im Respirationstrakt zu suchen. Vielmehr liegt die Begründung in der kardiovaskulären Wirkung des Romifidins. Durch die Gabe anderer $\alpha 2$ Agonisten wie Xylazin und Detomidin konnten Muir et al. (1979) und Peroni et al. (2000) ein vermindertes Herzzeitvolumen nachweisen. Der signifikante Abfall des endexpiratorischen Kohlendioxidgehalts während der Thorakoskopie wurde zum Teil durch den signifikanten Anstieg des Atemminutenvolumens verursacht. Ferner spielte der signifikante Abfall des Atemzugvolumens bzw. die dadurch gesteigerte Totraumventilation in der Interpretation mit Sicherheit auch eine Rolle.

Übergreifende Diskussion aller gemessenen Parameter

Im ersten Teil dieser Arbeit wurde eine während der Thorakoskopie festgestellte Hypoxämie beschrieben. Bei Betrachtung des arteriellen Sauerstoffpartialdrucks im Zusammenhang mit den ermittelten Atemparametern erscheint eine Störung der pulmonalen Ventilation/Perfusion (V/Q) Verhältnisses als wahrscheinlichste Erklärung für den Abfall des arteriellen Sauerstoffpartialdrucks während der Thorakoskopie. Zu einer ähnlichen Annahme gelangten Relave et al. (2008) sowie

Peroni et al. (2000) bei ihren Untersuchungen. Die transiente Hypoxämie konnte durch Wiederherstellung des Unterdrucks im Pleuraspalt und folgender Reexpansion der Lunge schnell behoben werden. Zur Verbesserung der Sauerstoffversorgung wurde von anderen Autoren eine intranasale Supplementierung mit Sauerstoff von mindestens 10l/min während des Eingriffes empfohlen (Relave et al. 2008, Wilson et al. 2006).

Der arterielle Kohlendioxidpartialdruck veränderte sich während der Thorakoskopie nicht signifikant, obwohl die Pferde während des Eingriffes signifikant erhöhte expiratorische Atemminutenvolumina sowie signifikant erniedrigte endexpiratorische Kohlendioxidkonzentrationen aufwiesen. Die Ursache hierfür wurde ebenfalls in einer Störung des pulmonalen (V/Q) Verhältnisses vermutet, da das an schlecht ventilierten Alveolen entlang fließende Blut nicht decarboxyliert und nicht oxygeniert werden kann.

Zusammenfassend ließ sich feststellen, dass die thorakoskopischen Untersuchungen bei allen zehn Pferden sicher durchgeführt werden konnten. Die Thorakoskopie führte zu einer negativen Beeinflussung der pulmonalen Funktion, welche sich in Form einer Verminderung des endexpiratorischen Atemzugvolumens, einer kompensatorischen Tachypnoe, einer Erhöhung des endexpiratorischen Atemminutenvolumens sowie einer Abnahme der endexpiratorischen Kohlendioxidkonzentration äußerte. Die relevanteste Veränderung während des Eingriffes stellte eine Hypoxämie dar, die allerdings nach Wiederherstellung des Unterdrucks im Pleuraspalt nicht mehr nachweisbar war. Daher ist während einer Thorakoskopie eine intranasale Sauerstoffgabe anzuraten.

Literatur

Bennett R. A., Orton E. C., Tucker A. und Heiller C. L. (1989) Cardiopulmonary changes in conscious dogs with induced progressive pneumothorax. *Am. J. Vet. Res.* 50, 280-284

Boy M. G. und Sweeney C. R. (2000) Pneumothorax in horses: 40 cases (1980-1997). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 216, 1955-1959

Filzek U., Fischer U., Scharner D. und Ferguson J. (2001) Auswirkungen laparoskopischer Eingriffe unter Allgemeinanästhesie auf Lungenfunktionen. *Pferdeheilkunde* 17, 482-486

Gambazzi F. (2006) Thoraxchirurgische Notfälle auf der Intensivstation. In: Zerkowski H. R., G. Baumann: Herz Akut Medizin: Ein Manual für die kardiologische, herzchirurgische, anästhesiologische und internistische Praxis. Verlag Steinkopff, 2. Auflage, 120-129

Gilmartin J. J., Wright A. J. und Gibson G. J. (1985) Effects of pneumothorax or pleural effusion on pulmonary function. *Thorax* 40, 60-65

Gros G. (2000) Atmung. In: Engelhardt W., G. Breves: Physiologie der Haustiere. Verlag Enke, Stuttgart, 217-249

Ionita J. C. (2002) Evaluation d'une nouvelle méthode spirométrique dans le monitoring de la ventilation des chevaux anesthésiés. *Diss. Med. vet. Bern* 47 u. 51

Klopp M., Dienemann H. und Hoffmann H. (2007) Behandlung des Pneumothorax. *Chirurg* 78, 655-668

Lavoie J.-P., Phan S. T. und Blais D. (1996) Effects of a combination of detomidine and butorphanol on respiratory function in horses with or without chronic obstructive pulmonary disease. *Am. J. Vet. Res.* 57, 705-709

Lieber A., Pons F., Düsel W., Glapa M., Machemehl T., Röhm B. und Doll D. (2006) Hat die Thorakoskopie beim Thoraxtrauma einen Platz? *Chirurg* 77, 1014-1021

Linden B. (1999) Auswirkungen des Kapnoperitoneums auf respiratorische und hämodynamische Parameter während laparoskopischer Eingriffe bei Pferden. *Diss. Med. Vet. München*

Mitrouska I., Klimathianaki M. und Sifakas N. M. (2004) Effects of pleural effusion on respiratory function. *Can. Respir. J.* 11, 499-503

Moens Y. und De Moor A. (1981) Use of infra-red carbon dioxide analysis during general anaesthesia in the horse. *Equine Vet. J.* 13, 229-234

Moens Y., Gootjes P., Ionita J. C., Heinonen E. und Schatzmann U. (2009) In vitro validation of a pitot-based flow meter for the measurement of respiratory volume and flow in large animal anaesthesia. *Vet. Anaesth. Analg.* 36, 209-19

Muir W. W., Skarda R. T. und Sheehan W. C. (1979) Hemodynamic and respiratory effects of xylazine-morphine sulfate in horses. *Am. J. Vet. Res.* 40, 1417-1420

Nyman G., Marntell S., Edner A., Funkquist P., Morgan K. und Hedenstierna G. (2009) Effect of sedation with detomidine and butorphanol on pulmonary gas exchange in the horse. *Acta Vet. Scand.* 7, 51: 22

Poulsen Nautrup B. und Keller H. (1989) Klinische Prüfung des Iminoimidazolidin-Derivates STH2130 als Sedativum im Vergleich zu Acepromazin und als Präanästhetikum an Pferden. *Pferdeheilkunde.* 3, 127-134

Peroni J. F., Robinson N. E., Stick J. A. und Derksen F. J. (2000) Pleuropulmonary and cardiovascular consequences of thoracoscopy performed in healthy standing horses. *Equine Vet. J.* 32, 280-286

Relave F., David F., Leclere M., Alexander K., Bussieres G., Lavoie J. P. und Marcoux M. (2008) Evaluation of a thoracoscopic technique using ligating loops to obtain large biopsies in standing healthy and heaves-affected horses. *Vet. Surg.* 37, 232-240

Robinson N. E. (1991) The respiratory system. In: Muir W. W., J. A. Hubbell: *Equine Anesthesia, Monitoring and emergency therapy.* Verlag Mosby Year Book, 7-38

Schatzmann U. (1995) Sedation und Anästhesie des Pferdes. Blackwell Wissenschaftsverlag, Berlin, Wien

Thews G. (1997) Lungenatmung. In: Schmidt R. F., G. Thews: *Physiologie des Menschen.* 26. Aufl. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 565-591

Vachon A. M. und Fischer A. T. (1998) Thoracoscopy in the horse: diagnostic and therapeutic indications in 28 cases. *Equine Vet. J.* 30, 467-475

Walton R. S. (2001) Video-assisted thoracoscopy. *Veterinary Clinic of North America: Small Anim. Pract.* 31, 729-759

Villars P. S., Kanusky J. T. und Levitzky M. G. (2002) Functional residual capacity: the human windbag. *Arthrosc. Assoc. North Am. J.* 70, 399-407

Wilson D. V., Schott H. C., Robinson N. E., Berney C. E. und Eberhart S. W. (2006) Response to nasopharyngeal oxygen administration in horses with lung disease. *Equine Vet J.* 38, 219-23

Dr. Doreen Scharner
Chirurgische Tierklinik
Veterinärmedizinische Fakultät
An den Tierkliniken 21
04103 Leipzig
scharner@vetmed.uni-leipzig.de