

Bestimmung von Totraum und expiratorischem Mischluftvolumen zur Diagnostik chronischer Lungenerkrankungen beim Pferd

B. Ohnesorge, Ch. Trötschel und E. Deegen

Klinik für Pferde der Tierärztlichen Hochschule Hannover

Zusammenfassung

Bei 10 lungengesunden und 27 lungenkranken Pferden wurden mittels Kapnographie in Verbindung mit der Pneumotachographie der physiologische Totraum und die expiratorischen Mischluftvolumina zwischen 50 und 75% der endexpiratorischen CO₂-Konzentration ($\Delta V_{(75-50\%)}$) und deren Bezug zum Inspirationsvolumen ($\Delta V_{(75-50\%)/V_{\text{insp}}}$) bestimmt. Die Messung des CO₂-Gehaltes erfolgte mit einem CO₂-Analysator mittels Infrarotlichtabsorption. Der Flow und das Volumen wurden mit der Ultraschallmeßeinheit „Spiroson Scientific“® ermittelt. Die Einteilung der Probanden in die Gruppen verschiedener Lungenerkrankungen erfolgte nach einem Punktescore. Sowohl das physiologische Totraumvolumen als auch die expiratorischen Mischluftvolumina waren bei lungenkranken Pferden im Vergleich zu den lungengesunden Pferden deutlich vergrößert. Die größte Aussagekraft besaß dabei der Parameter $\Delta V_{(75-50\%)/V_{\text{insp}}}$, der bereits zwischen der Gruppe der lungengesunden und der geringgradig lungenkranken Pferde hoch signifikante Unterschiede zeigte. Die Kapnographie bietet die Möglichkeit mittels Totraumvolumen- und Mischluftvolumenbestimmung Ventilations-, Diffusions- und Perfusionsstörungen im Rahmen der Lungenfunktionsdiagnostik zu erkennen.

Schlüsselwörter: Lungenfunktion, Pferd, Kapnographie, Totraum, Mischluftvolumen

Diagnostic Value of Capnography in Horses with COPD

Lower respiratory tract diseases in the horse are very common and pulmonary ventilation may be impaired for a long time before clinical symptoms appear. In human medicine one method to diagnose this impaired lung function is the evaluation of physiological dead space and expiratory mixed air volumes by capnography. Aim of this examination was proving the applicability of measuring these parameters in the horse and to value a suspected lung problem.

In 27 horses suffering from COPD and in 10 horses used as a control group a clinical examination and pulmonary function tests were performed. By using a special scoring scheme the horses were grouped into four classes according to the severity of pulmonary disease. Flow and tidal volume were determined by an ultrasonic air flow meter „Spiroson Scientific“®. Carbon dioxide concentration was measured by absorption of infra-red light with a sidestream analyzer. Functional dead space and expiratory mixed air volumes between 50 and 75% of the endexpiratory carbon dioxide concentration ($\Delta V_{(75-50\%)}$) were calculated.

Functional dead space as well as expiratory mixed air volumes were increased in pulmonary diseased horses as compared to the control group. The most important parameter was $\Delta V_{(75-50\%)}$ divided by the preceding inspiratory volume, which showed highly significant differences between the healthy and low grade diseased group. These results show, that capnography is a simple and valuable method to detect a ventilation-, diffusion- and perfusion-mismatch in horses.

keywords: pulmonary function test, horse, capnography, dead space, mixed air volume

Einleitung

Erkrankungen der tiefen Atemwege besitzen beim Pferd eine erhebliche Bedeutung. Zur Diagnostik dieser Erkrankungen wird üblicherweise neben einer klinischen Untersuchung eine Endoskopie der tiefen Atemwege durchgeführt. Eine genauere Differenzierung des Krankheitsgrades ist jedoch häufig nur durch eine mehr oder minder aufwendige Lungenfunktionsprüfung möglich. Die chronisch obstruktive Bronchitis (COB) des Pferdes ist fast immer mit alveolären Ventilations- und Perfusionsstörungen verbunden. Beim Menschen ist bekannt, daß die Lungenventilation oft schon lange vor dem Auftreten der klinischen Symptome gestört sein kann. Eine Methode, diese Lungenfunktionsstörungen, zu diagnostizieren, ist in der Humanmedizin die Ermittlung des Totraumvolumens, sowie die Messung des expiratorischen Mischluftvolumens mittels Kapnographie. Ziel der vor-

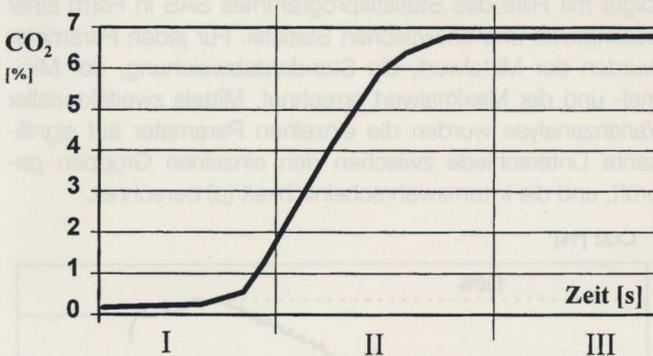
liegenden Arbeit war, zu prüfen, inwieweit diese Parameter auch beim Pferd meßbar sind und eine Aussage hinsichtlich des Vorliegens einer Lungenerkrankung ermöglichen.

Literatur

Mit Kapnographie bezeichnet man die graphische Darstellung der in der Atemluft gemessenen CO₂-Konzentration, die entweder in Bezug auf die Zeit oder auf das Atemzugvolumen aufgezeichnet wird. Für die Diagnose von Lungenerkrankungen ist ausschließlich die expiratorische CO₂-Kurve von Bedeutung (Trötschel 1996). Das Kapnogramm in der Abbildung 1 stellt eine Messung der expiratorischen CO₂-Konzentration dar (Conrad et al. 1984). Die expirato-

rischen CO₂-Konzentrationskurven zeigen dabei drei charakteristische Abschnitte:

Phase I	anatomischer Totraum	=	Baseline
Phase II	Mischluftanteil	=	Steigung bis zum Plateau
Phase III	Alveolarluftanteil	=	Plateau



- I = anatomisches Totraumvolumen**
II = Mischluftvolumen
III = expiratorisches Alveolarplateau

Abb. 1: Expiratorisches Kapnogramm (nach Conrad et al. 1984)

Expiratory capnogramme (according to Conrad et al. 1984)

Zu Beginn der Expiration wird die Luft aus dem anatomischen Totraum ausgeatmet (I), d.h. die Luft, die nicht am Gasaustausch teilgenommen hat und deshalb die CO₂-Konzentration der Inspirationsluft besitzt. Die dritte Phase (III), auch Plateau genannt, besteht fast ausschließlich aus Alveolarluft. Die Phase II enthält sowohl Luft aus Phase I als auch aus Phase III und repräsentiert deshalb das Mischluftvolumen (Ulmer et al. 1970). Erhebliche Störungen des Ventilations-Perfusionsverhältnisses lassen sich bereits an einer Verformung dieser expiratorischen CO₂-Kurve erkennen (Oechtering und Michael 1995). In Abbildung 2 wird eine derartige Deformation der Kurve bei verschiedenen Stadien einer Lungenerkrankung dargestellt (Ulmer et al. 1970).

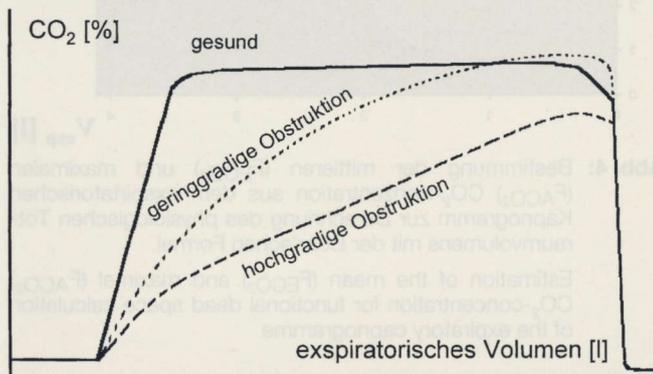


Abb. 2: Deformierung der expiratorischen CO₂-Kurve bei unterschiedlichen Graden einer Lungenerkrankung beim Menschen (nach Ulmer et al. 1970)

Deformations of the expiratory CO₂-curve in the different grades of pulmonary disease in humans (according to Ulmer et al. 1970)

Worth (1985) bestimmte beim Menschen die Mischluftvolumenanteile, die zwischen 25 und 50% bzw. zwischen 25 und 75% der endexpiratorischen CO₂-Konzentration ausgeatmet werden. Diese Mischluftvolumenanteile sind bei gesunden Menschen signifikant geringer als bei Menschen mit einem Lungenemphysem. Weil das Mischluftvolumen von der Größe des vorangegangenen Inspirationsvolumen (V_{insp}) abhängig ist, hat der Quotient aus den oben ermittelten Mischluftvolumenanteilen ($\Delta V_{50-25\%}$ bzw. $\Delta V_{75-25\%}$) und dem vorangegangenen Inspirationsvolumen ($\Delta V_{(50-25\%)/V_{insp}}$ bzw. $(\Delta V_{(75-25\%)/V_{insp}}$) eine besonders große Aussagekraft (Worth 1985). Dadurch ist es möglich, über die CO₂-Expirationskurven Störungen des Ventilations-, Diffusions- und Perfusionsverhältnisses zu erkennen.

Die oberen und tiefen Atemwege, die die Luft in die Alveolen leiten und somit nicht am pulmonalen Gasaustausch teilnehmen, werden als anatomischer Totraum bezeichnet. Bei der Ruheatmung eines gesunden Menschen besteht das Atemzugvolumen etwa zu einem Drittel aus der Totraumluft und zu zwei Dritteln aus der Alveolarluft (Ulmer et al. 1970). Der funktionelle Totraum setzt sich zusammen aus dem anatomischen Totraum und dem Inspirationsvolumen, das schlecht oder nicht durchblutete Alveolen ventiliert. Beim gesunden Individuum sind der anatomische und der funktionelle Totraum nahezu gleich. Jede Störung des Ventilations-Perfusionsverhältnisses und dabei insbesondere eine verminderte Perfusion von ventilierten Alveolen erhöht jedoch den funktionellen Totraum. Den meisten der Methoden zur Bestimmung des Totraumvolumens liegt die Bohr'sche Gleichung zugrunde (Comroe et al. 1972):

$$V_E = V_D + V_A \text{ und } V_D = V_E \cdot (F_{ACO_2} - F_{ECO_2}) / F_{ACO_2}$$

mit Expirationsvolumen (V_E), Totraum (V_D), Alveolarvolumen (V_A), mittlerer expiratorischer CO₂-Konzentration (F_{ECO_2}) und endexpiratorischer CO₂-Konzentration (F_{ACO_2}).

Material und Methodik

Im Zeitraum von März 1995 bis April 1996 wurden die tiefen Atemwege von 37 Warmblutpferden (19 Wallache, 15 Stuten und 3 Hengste) untersucht. Das Durchschnittsalter betrug $10,1 \pm 3,7$ Jahre, das durchschnittliche Körpergewicht 563 ± 70 kg. Die klinische Untersuchung beinhaltete neben einer Allgemeinuntersuchung eine Lungenperkussion, Lungenauskultation, Endoskopie, TBS-Analyse und arterielle Blutgasanalyse. Die jeweiligen Befunde wurden nach Schweregrad und Bedeutung mit 1 bis 3 Punkten gewichtet (Tabelle 1). Aufgrund der klinischen Untersuchungsbefunde erfolgte die Einteilung der Patienten in vier Gruppen anhand eines Punktesystems (Tabelle 1 und 2).

Im Anschluß an die klinischen Untersuchungen wurden die Pferde einer Lungenfunktionsprüfung mit einem Infrarot-CO₂-Analysator (Elisa Duo®, Engström) und dem Ultraschall-Flußsensor „Spirosion Scientific“® (Isler Bioengineering AG, Zürich) unterzogen. Die Aufzeichnung und Auswertung der Meßdaten erfolgte mit einem Laptop (Acer 486 DX). Die Messung erfolgte über eine spezielle, zu dem Ul-

traschall-Flußsensor passende, Atemmaske, die mittels eines aufblasbaren Gummischlauches luftdicht an die Form des Pferdekopfes angepaßt werden konnte. Nach einer Gewöhnungsphase wurde der Ultraschall-Meßkopf mit einem Gummiband an der Maske befestigt und der Verbindungsschlauch zur Seitenstrom-CO₂-Messung angeschlossen. Dann wurden mindestens zwei auswertbare Messungen in Ruhe durchgeführt. Die Meßdaten wurden mittels spezieller Software (Breath-Programm®) aufgezeichnet und graphisch dargestellt. Zur mathematischen Auswertung wurden diese Daten in das Tabellenkalkulationsprogramm Excel® 5.0 eingelesen und dort mit Hilfe von Programm-routinen (Makros) ausgewertet. Die Laufzeit der CO₂-Proben im Aridus-Probenschlauch bis zum Analysator führte zu einer zeitlichen Versetzung der CO₂-Kurven zu den restlichen Meßkurven. Diese zeitliche Verschiebung (Delay) wurde durch eine entsprechende Einstellung in der Software der Meßeinheit (Breathprogramm®) korrigiert. Alle für die spezielle Lungenuntersuchung wichtigen Parameter wurden durch Auswertung von fünf ausgewählten Atemzügen pro Pferd und Berechnung des Mittelwertes mit Standardabweichung bestimmt.

Tab. 1: Score-System zur Einteilung der Pferde in Gruppen mit unterschiedlichem Krankheitsgrad einer COB nach klinischen Befunden.

Scoring scheme for grading horses suffering from COPD according to clinical findings.

Untersuchungsparameter	Ergebnis	Score
Husten	vorberichtlich, spontan oder auslösbar	1
Ruhedyspnoe	verstärkt abdominal Nüsterblähen Dampfrinne	1 3
Auskultation	Rasseln und Giemen	2
Perkussion des Lungenfeldes	> eine handbreit erweitert > 2-handbreit erweitert	1 2
A-aDO ₂	7 bis 14 mmHg > 14 mmHg	1 2
Bifurcatio tracheae	deutlich verdickt	1
Tracheobronchialsekret (TBS)	a) deutlich vermehrt b) mäßig viskös	1
a) Menge b) Viskosität	a) hochgradig vermehrt b) zähviskös	2
Anzahl an Makrophagen und neutrophilen Granulozyten im TBS	zahlreich oder dominierend	1

Es wurden die Mischluftvolumenanteile zwischen 50% und 75% des endexpiratorischen CO₂-Wertes ($\Delta V_{(75-50\%)}$) entsprechend Abb. 3 ermittelt, da die Pferde zu Beginn der Expiration im Bereich zwischen 25 und 50% häufig eine ungleichmäßige Atemtätigkeit zeigten. Aufgrund der Abhän-

gigkeit des Mischluftvolumenanteils vom Atemzugvolumen, wurde zusätzlich $\Delta V_{(75-50\%)} / V_{insp}$ berechnet. Die für das funktionelle Totraumvolumen erforderlichen Werte (F_{ECO_2} , F_{ACO_2} und V_E) wurden entsprechend Abb. 4 programmunterstützt (Excel® 5.0) errechnet und in die Bohr'sche Formel eingesetzt. Die statistische Auswertung der CO₂-Kurven erfolgte mit Hilfe des Statistikprogrammes SAS in Form einer deskriptiven und analytischen Statistik. Für jeden Parameter wurden der Mittelwert, die Standardabweichung, der Minimal- und der Maximalwert errechnet. Mittels zweifaktorieller Varianzanalyse wurden die einzelnen Parameter auf signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen geprüft, und die Irrtumswahrscheinlichkeit (p) berechnet.

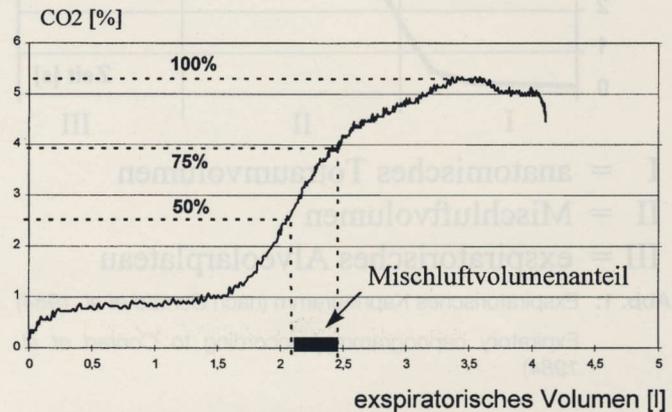


Abb. 3: Bestimmung des Mischluftvolumenanteils zwischen 50% und 75% der endexpiratorischen CO₂-Konzentration aus dem Kapnogramm.

Determination of mixed air volumes between 50% and 75% of the endexpiratory CO₂-concentration ($\Delta V_{(75-50\%)}$) as seen in the capnogramme.

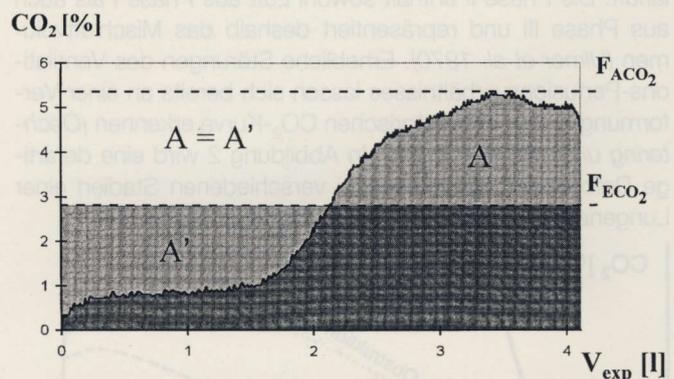


Abb. 4: Bestimmung der mittleren (F_{ECO_2}) und maximalen (F_{ACO_2}) CO₂-Konzentration aus dem expiratorischen Kapnogramm zur Berechnung des physiologischen Totraumvolumens mit der Bohr'schen Formel.

Estimation of the mean (F_{ECO_2}) and maximal (F_{ACO_2}) CO₂-concentration for functional dead space calculation of the expiratory capnogramme

Ergebnisse

a) Atemfrequenz und Atemzugvolumen

Sowohl die Atemfrequenz als auch das Atemzugvolumen wurden auf signifikante Unterschiede zwischen den Grup-

pen geprüft. Dabei ergaben sich bei der Atemfrequenz keine signifikanten Unterschiede. Hinsichtlich der Atemzugvolumina bestand nur zwischen der Gruppe der gesunden und der Gruppe der hochgradig lungenerkrankten Pferde ein schwach signifikanter Unterschied (Tabelle 3).

Tab. 2: Scorepunkte, Anzahl der Pferde und Grad der Erkrankung in den unterschiedlichen Gruppen.

Score, disease-grade and number of patients in the different groups.

Gruppe	Pferde (n = 37)	Score	Grad der Erkrankung
1	10	0 – 1	gesund
2	9	2 – 3	geringgradig COB
3	10	4 – 5	mittelgradig COB
4	8	7 – 14	hochgradig COB

b) Mischluftvolumenanteil ($\Delta V_{(75-50\%)}$)

Die Volumendifferenz zwischen 50 und 75% des endexpiratorischen CO_2 -Wertes ($\Delta V_{(75-50\%)}$) vergrößerte sich mit zunehmendem Krankheitsgrad (Tabelle 3). Abbildung 5 zeigt $\Delta V_{(75-50\%)}$ bei einem lungengesunden und bei einem hochgradig lungenerkrankten Pferd. Das Mischluftvolumen zwischen 50 und 75% des endexpiratorischen CO_2 -Wertes ($\Delta V_{(75-50\%)}$) betrug bei lungengesunden Pferden im Durchschnitt $0,76 \pm 0,17$ Liter, hingegen in der Gruppe der hochgradig lungenerkrankten Pferden mehr als das Doppelte ($1,95 \pm 0,78$ Liter). Während zwischen lungengesunden und geringgradig lungenerkrankten Pferden kein signifikanter Unterschied bestand, lag zwischen den übrigen Gruppen ein signifikanter Unterschied vor.

Tab. 3: Mittelwerte und Standardabweichung von Inspirationsvolumen (V_{insp}), Totraum (VD), Mischluftvolumen ($\Delta V_{(75-50\%)}$) und Quotient aus Mischluftvolumen und Inspirationsvolumen ($\Delta V_{(75-50\%)} / V_{\text{insp}}$) bei Pferden mit unterschiedlichen Graden einer COB.

Mean values and standard deviations of inspiratory volume (V_{insp}), dead space (VD), mixed air volume ($\Delta V_{(75-50\%)}$) and rate of mixed air volume to preceding inspiratory volume ($\Delta V_{(75-50\%)} / V_{\text{insp}}$) in horses with different grades of COPD.

Parameter	Gruppe 1 gesund	Gruppe 2 gering- gradig	Gruppe 3 mittel- gradig	Gruppe 4 hoch- gradig
VD [l]	2,47±0,40	2,73±0,61	3,35± 0,41	4,35±1,26
Statistik VD	p > 0,05 n.s.		p ≤ 0,05 *	p ≤ 0,01 **
ΔV_{75-50} [l]	0,76±0,17	0,99±0,27	1,41±0,38	1,95±0,78
Statistik ΔV	p > 0,05 n.s.		p ≤ 0,05 *	p ≤ 0,05 *
$\Delta V_{75-50} / V_{\text{insp}}$	0,11±0,01	0,15±0,01	0,18±0,02	0,21±0,04
Statistik $\Delta V / V_{\text{insp}}$	p ≤ 0,001 ***		p ≤ 0,05 *	p ≤ 0,01 **
V_{insp}	6,66±1,00	6,86±1,90	7,99±2,25	9,17±2,42
Statistik V_{insp}	p > 0,05 n.s.		p > 0,05 n.s.	p > 0,05 n.s.

c) Quotient: Mischluftvolumenanteil / Inspirationsvolumen ($\Delta V_{(75-50\%)} / V_{\text{insp}}$)

Wie aus Tabelle 3 ersichtlich, vergrößerte sich der Quotient $\Delta V_{(75-50\%)} / V_{\text{insp}}$ mit zunehmendem Krankheitsgrad. Das durchschnittliche Mischluftvolumen $\Delta V_{(75-50\%)}$ betrug bei lungengesunden 11 ± 1 % des vorangegangenen Inspirationsvolumens (V_{insp}), bei geringgradig erkrankten 15 ± 1 %, bei mittelgradig erkrankten 18 ± 2 % und bei hochgradig erkrankten Pferden 21 ± 4 %. Während das Mischluftvolumen $\Delta V_{(75-50\%)}$ keine signifikante Unterscheidung zwischen lungengesunden und geringgradig lungenerkrankten Pferden erlaubte, wies der Quotient $\Delta V_{(75-50\%)} / V_{\text{insp}}$ hochsignifikante Unterschiede zwischen diesen beiden Gruppen auf. Zwischen den übrigen Gruppen ergaben sich ebenfalls signifikante Unterschiede.

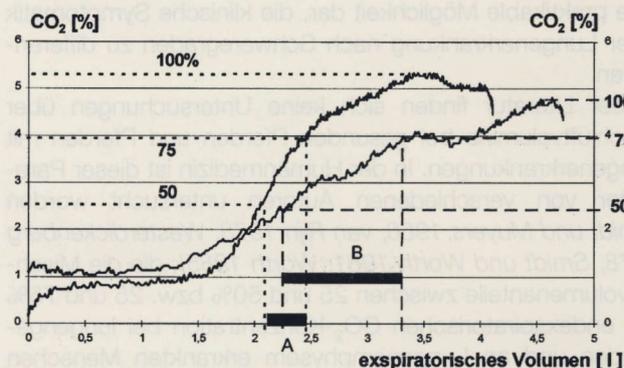


Abb. 5: Mischluftvolumen zwischen 50% und 75% der endexpiratorischen CO_2 -Konzentration bei einem gesunden Pferd (A) und bei einem Pferd mit hochgradiger COB (B).

Mixed air volumes between 50% and 75% of the endexpiratory CO_2 -concentration ($\Delta V_{(75-50\%)}$) exemplary for a healthy horse (A) and one with severe COPD (B).

d) Totraumvolumen

Tabelle 3 zeigt die Vergrößerung des Totraumvolumens (VD) mit zunehmendem Krankheitsgrad. Das Totraumvolumen lag bei lungengesunden Probanden im Durchschnitt bei $2,47 \pm 0,4$ Liter, bei hochgradig lungenerkrankten Pferden erreichte der Wert mit $4,35 \pm 1,26$ Liter nahezu das Doppelte. Während zwischen lungengesunden und geringgradig lungenerkrankten Pferden kein signifikanter Unterschied bestand, lag zwischen den übrigen Gruppen ein signifikanter Unterschied vor.

Diskussion

Die untersuchten Pferde bildeten in Bezug auf Größe, Rasse und Körpergewicht ein homogenes Probandengut. Um die Einteilung der Pferde aufgrund der klinischen Befunde in Gruppen mit unterschiedlichen Krankheitsgraden zu objektivieren, wurde ein in der Klinik für Pferde der Tierärztlichen Hochschule Hannover angewandter Score benutzt. Es wurden nur Parameter berücksichtigt, die deutliche Befunde für

eine COB darstellten. So wurde beispielsweise ein auskultatorisch wahrnehmbares, verschärft vesikuläres Atemgeräusch noch nicht als Befund für eine Lungenerkrankung gewertet, da dieser Befund vom Ernährungszustand des Pferdes, dem Hörvermögen des Untersuchers, von der Qualität des Phonendoskopes und der umliegenden Geräuschkulisse abhängig ist (Deegen und Zichner 1970). Desweiteren wurde bei der Punktevergabe auch der Schweregrad des Befundes berücksichtigt. So wurden deutlich geringgradige Befunde mit einem Punkt, schwerwiegende Symptome, wie beispielsweise „Giemen“ und „Rasseln“ bei der Auskultation dagegen mit zwei Punkten und Anzeichen einer schweren Ruhedyspnoe mit 3 Punkten bewertet. Die Einteilung der Patienten anhand eines Punktescores erfolgte aufgrund der eigenen klinischen Erfahrung ohne Anspruch auf allgemeine Gültigkeit. Sie stellt jedoch eine praktikable Möglichkeit dar, die klinische Symptomatik einer Lungenerkrankung nach Schweregraden zu differenzieren.

In der Literatur finden sich keine Untersuchungen über Mischluftvolumina bei gesunden Pferden und Pferden mit Lungenerkrankungen. In der Humanmedizin ist dieser Parameter von verschiedenen Autoren untersucht worden (Smidt und Muyers 1966, van Rijn 1978, Westerdickenberg 1978, Smidt und Worth 1981, Worth 1985), die die Mischluftvolumenanteile zwischen 25 und 50% bzw. 25 und 75% der endexpiratorischen CO₂-Konzentration bei lungengesunden und an Lungenemphysem erkrankten Menschen

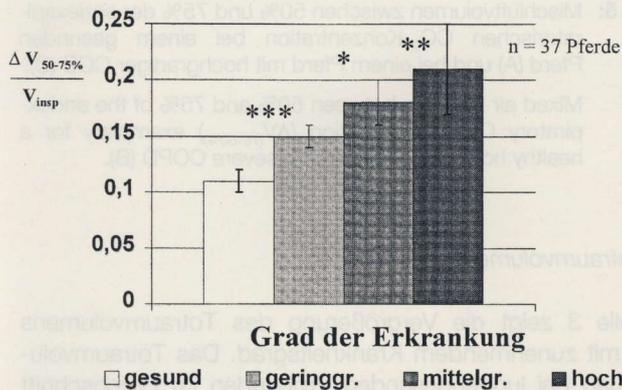


Abb. 6: Verhältnis von Mischluftvolumenanteil zu Inspirationsvolumen ($\Delta V_{(75-50\%)} / V_{insp}$) bei Pferden mit unterschiedlichen Graden einer COB.

Relation of mixed air volume and the inspiratory volume ($\Delta V_{(75-50\%)} / V_{insp}$) in horses with different degrees of COPD.

betrachteten. Da viele in der vorliegenden Studie untersuchten Pferde zu Beginn der Expiration zwischen 25 und 50% der endexpiratorischen CO₂-Konzentration eine ungleichmäßige Atemtätigkeit zeigten, erschien es sinnvoll, beim Pferd die Mischluftvolumenanteile zwischen 50 und 75% der endexpiratorischen CO₂-Konzentration zu ermitteln. Aufgrund der Abhängigkeit des Mischluftvolumens vom vorangegangenen Inspirationsvolumen wurde der Quotient $\Delta V_{(75-50\%)} / V_{insp}$ gebildet. Sowohl hinsichtlich des Mischluftvolumenanteils $\Delta V_{(75-50\%)}$ als auch hinsichtlich des Quotienten $\Delta V_{(75-50\%)} / V_{insp}$ ergaben sich signifikante Unter-

schiede zwischen gesunden, gering-, mittel- und hochgradig erkrankten Pferden. Diese für das Pferd erhobenen Daten entsprechen den Ergebnissen von Worth (1985) hinsichtlich der Bereiche zwischen 25 und 50% bzw. 25 und 75% beim Menschen.

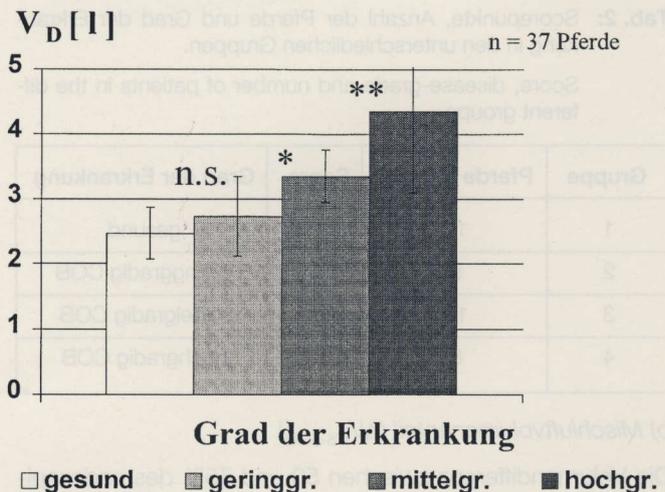


Abb. 7: Totraumvolumen bei Pferden mit unterschiedlichen Graden einer COB.

Dead space volumes in different grades of lower respiratory tract diseases.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden die funktionellen Totraumvolumina bei gesunden, gering-, mittel- und hochgradig lungenerkrankten Pferden betrachtet. Ein Vergleich der Ergebnisse mit anderen Autoren zeigt hinsichtlich dieses Parameters nicht immer Übereinstimmung. Beim Menschen stellte Fowler (1950) fest, daß Patienten mit Lungenemphysem ein größeres Totraumvolumen aufwiesen als gesunde Menschen. Furukawa (1972) bestimmte das Totraumvolumen beim Pony und konnte keine signifikanten Unterschiede zwischen lungenkranken und lungengesunden Tieren feststellen. Er verglich in seiner Arbeit die Totraumvolumina von vier gesunden mit denen von 22 lungenkranken Ponys. Da er ein sehr inhomogenes Patientengut untersuchte, mußte er die gemessenen Werte für das Totraumvolumen hinsichtlich des Körpergewichtes relativieren. Auch die zugrunde liegenden Lungenerkrankungen waren verschieden. So wurden Ponys mit einer Bronchitis mit Ponys mit einer Bronchopneumonie verglichen. Darüber hinaus atmeten die Ponys individuell mit sehr unterschiedlichen Atemfrequenzen (4 von 22 hatten eine Frequenz von über 50 Atemzüge pro Minute). Da das Totraumvolumen von der Frequenz abhängig ist (Thews 1983), könnte dieser Faktor bereits die fehlende Beziehung zwischen Atemwegserkrankung und Totraumvolumen bei dieser Untersuchung erklären. In der Arbeit von Furukawa (1972) werden keine näheren Angaben über die für die Berechnung des Totraums erforderlichen Werte gemacht, so daß ein weitergehender Vergleich mit der vorliegenden Arbeit nicht möglich ist. Littlejohn und Bowles (1982) haben bei einer Untersuchung von 36 Pferden eine Verdreifachung des Totraumvolumens bei Pferden mit einer chronisch obstruktiven Bronchitis ermitteln können. Er führte diese Erhöhung

hauptsächlich auf ein gestörtes Ventilations-Perfusionsverhältnis in der Lunge zurück. Auch in der vorliegenden Arbeit waren die Unterschiede zwischen den Gruppen der gesunden, geringgradig, mittelgradig und hochgradig erkrankten Pferde für das Totraumvolumen signifikant. Dabei wurde zur Errechnung des Totraumvolumens die Bohr'sche Formel angewendet und der mittlere CO_2 -Wert über die Flächenberechnung der CO_2 -Expirationskurve ermittelt. Die alveoläre CO_2 -Konzentration (FACO_2) wurde nicht wie sonst üblich indirekt blutgasanalytisch über den arteriellen PCO_2 gemessen, sondern über die direkt gemessene endexpiratorische CO_2 -Konzentration in die Formel eingesetzt. Die theoretische Annahme geht davon aus, daß die Atemluft zu Beginn der Expiration entsprechend der Inspirationsluft nahezu kein CO_2 enthält. Die Tatsache, daß in der vorliegenden Untersuchung zu Beginn der Expiration in der Atemluft ein CO_2 -Gehalt > 0 gemessen wurde, ist vermutlich auf eine CO_2 -Rückatmung aus der Atemmaske zurückzuführen. Dieser meßtechnisch bedingte Fehler war jedoch bei allen Pferden vorhanden, so daß dieser keinen Einfluß auf eine gruppenvergleichende Aussage hat. Das Verfahren der atemluftanalytischen Totraumbestimmung ist nur bei einer kontinuierlichen, schnellen CO_2 -Messung möglich (Thews 1983) und erlaubt im Gegensatz zur blutgasanalytischen Methode bei einer entsprechenden Online-Auswertung eine kontinuierliche Kontrolle des Totraumvolumens für jeden einzelnen Atemzug.

- Furukawa, R. (1972): Lungenfunktionsprüfung bei Ponys mit und ohne Lungenaffektionen. Vet. med. Diss. Veterinär-med. Klinik, Zürich
- Littlejohn, A. und F. Bowles, (1982): Studies on the pathophysiology of chronic obstructive pulmonary disease in the horse. VI. The alveolar dead space. J. vet. Res. 49, 71-72
- Oechtering, G. und A. Michael, (1995): Nichtinvasive Patientenüberwachung in der Tiermedizin: Pulsoxymetrie und Kapnographie. Tierärztl. Prax. 23, 1-16
- van Rijn, J. (1978): Variabilität des Mischluftanteils expiratorischer CO_2 -Partialdruckkurven in einem Normalkollektiv und Berechnung der Schichtdicke im Rahmen des Trompetenmodells der Lunge. Med. Diss., Hohe Med. Fakultät der Rheinischen Friedr.-Wilh. Univ., Bonn
- Smidt, U. und K. Muijers, (1966): Die diagnostische Bedeutung expiratorischer Partialdruckkurven. 1. Kolloquium Massenspektrometrie, Düsseldorf
- Smidt, U. und H. Worth, (1981): Gas mixing in patients. Prog. Resp. Res. 16, 86-92
- Thews, G. (1983): Lungenatmung. In: Schmidt, R.F. und Thews, G. (Edit.): Physiologie des Menschen, 23. Auflage, Verlag Springer, Berlin, Heidelberg, 500-533.
- Trötschel, Ch. (1996): Lungenfunktionsprüfung mit besonderer Berücksichtigung der Kapnographie zur Diagnostik von Lungenerkrankungen beim Pferd. Vet. Med. Diss., Tierärztliche Hochschule, Hannover
- Ulmer, W.T., G. Reichel, und D. Nolte (1970): Die Lungenfunktion. Thieme Verlag, Stuttgart, 14-18, 142
- Westerdickenberg, B. (1978): Variabilität und Versuch einer anatomischen Deutung des Mischluftanteils expiratorischer O_2 - und CO_2 -Partialdruckkurven. Med. Diss., Hohe Med. Fakultät der Rheinischen Friedr.-Wilh. Univ., Bonn
- Worth, H. (1985): Zur Diagnostik des Lungenemphysems; Analyse des Mischluftanteils expiratorischer Partialdruckkurven von He, Ar, SF_6 , O_2 und CO_2 . Habil.-Schr., Hohe Med. Fakultät, Düsseldorf

Literatur

- Comroe, H.J., R.E. Forster, A.B. Dubois, W.A. Briscoe, und E. Carlsson, (1972): Die Lunge. In: Klinische Physiologie und Lungenfunktionsprüfungen, 2. Auflage, Verlag Schattauer, Stuttgart
- Conrad, S.A., G.T. Kinasewitz, und R.B. George (1984): Pulmonary function testing. In: Principles and practice, Churchill Livingstone, New York, Edinburgh
- Deegen, E. und M. Zichner (1970): Zur klinischen Diagnostik chronischer Lungenerkrankungen des Pferdes. Dtsch. tierärztl. Wochenschr. 77, 616-621
- Fowler, W.S. (1950): Lung function studies - Respiratory dead space in old age and pulmonary emphysema. J. clin. invest. 29, 1439-1444

Dr. Bernhard Ohnesorge
Dr. Christian Trötschel,
Prof. Dr. Dr. h.c. Eckehard Deegen

Klinik für Pferde
Tierärztliche Hochschule Hannover
Bischofsholer Damm 15
Haus-Nr. 118
30173 Hannover

Tel. (0511) 856 7233
Fax (0511) 856 7688

Pferdemedizin am Ende des 20. Jahrhunderts - Ein Blick zurück nach vorn -

Equitana-Fachtagung Pferdekrankheiten der Tierklinik Hochmoor

12.-13. März 1999, Essen

Anmeldung und Information: Tierklinik Hochmoor
Von-Braun-Straße 10, 48712 Gescher Hochmoor
Telefon (0 28 63) 2 09 90, Fax 20 99 20