

Verfahren zur atmungsmechanischen Analyse

1. Konventionelle Verfahren

Bodyplethysmographie (Ganzkörper-Plethysmographie)

Meßergebnis:

**Atemwegs-
widerstand**

$$R_{aw} = \Delta P_{alv} / \Delta V'$$
$$R_{aw} = \tan \alpha / \tan \beta$$

Meßprinzip:

Der Patient befindet sich in einer starren und luftdichten Kammer und atmet aus einem Atembeutel angefeuchtete, körperwarme Luft ein. Die atemsynchronen Kammerdruckschwankungen werden als Spiegelbild der Alveolardruckschwankungen gemessen. Zur Ermittlung der Atemstromstärke wird die Atemluft inspiratorisch und expiratorisch durch einen Pneumotachographen geleitet. Der Kammerdruck und die Atemstromstärke werden synchron während eines Atemzyklus gegeneinander in ein Koordinatensystem eingetragen (Druck-Strömungs-Diagramm). Das Verhältnis zwischen Alveolardruckschwankung und Kammerdruckschwankung wird nach Unterbrechung des Atemstromes durch Verschluss des Atemrohres ermittelt (Verschlussdruckkurve). Der Alveolardruck entspricht dem Munddruck. Während dabei ausgeführter Inspirationsbewegung fällt der Munddruck und der Kammerdruck steigt. Aus der Steigung der Verschlussdruckkurve ($\tan \alpha$) und der Steigung der Druck-Strömungs-Kurve ($\tan \beta$) wird die Resistance ermittelt.

Unterbrecher- oder Verschlussdruck-Methode

Meßergebnis:

**Resistance des
respiratorischen
Systems**

$$R_{rs} = \Delta P_{mo} / \Delta V'$$

Meßprinzip:

Der Atemstrom wird durch sehr kurzzeitiges Schließen einer Klappe laufend für Sekundenbruchteile ($t < 0,1$ s) unterbrochen. Während dieser Zeit erfolgt ein Druckausgleich innerhalb des respiratorischen Systems. Der am Mund in der Verschlussphase gemessene Druck entspricht der Alveolardruckänderung plus der Änderung des thorakalen Muskeldruckes. Die Änderung der Atemstromstärke wird während der Öffnungsphase mittels Pneumotachographen bestimmt.

Iso-Volumen-Methode oder Ösophagusdruckmessung

Meßergebnis:

$$\begin{aligned} & \text{totale pulmonale} \\ & \text{Resistance} \\ R_L &= \Delta P_{tp} / \Delta V' \\ & \text{dynamische Com-} \\ & \text{pliance} \\ C_{dyn} &= \Delta V / \Delta P_{tp} \end{aligned}$$

Meßprinzip:

Die über eine im thorakalen Teil des Ösophagus platzierte Ösophagusdrucksonde gemessene Druckschwankung entspricht der Intrapleuraldruckschwankung. Aus der Differenz zwischen Ösophagusdruck und Umgebungsluftdruck resultiert der transpulmonale Druck (P_{tp}). Aus der im Pneumotachographen gemessenen Atemstromstärke wird durch Integration das Atemzugvolumen bestimmt. P_{tp} zur Berechnung von R_L wird bestimmt, wenn das registrierte Volumen der Ein- und Ausatemluft 50% des gesamten Atemzugvolumens beträgt. Dabei wirkt nur $P_{resistiv}$, $P_{elastisch}$ beträgt Null. Zur Berechnung von C_{dyn} wird P_{tp} zu Beginn und am Ende von Inspiration bzw. Expiration, wenn die Atemstromstärke = 0 ist, bestimmt. Dabei wirkt nur $P_{elastisch}$, $P_{resistiv} = 0$ und $P_{inertiv}$ ist bei Ruheatmung vernachlässigbar.

2. Verfahren der forcierten Oszillations-Technik (engl.: Forced Oscillation Technique, FOT)

2.1. Monofrequente Oszilloresistometrie (MFO)

Monofrequente Oszilloresistometrie (MFO)

Meßergebnis:

$$\begin{aligned} & \text{Oszillatorische} \\ & \text{Resistance} \\ R_{os} &= P_{m\sim} / V'_{\sim} \\ & \text{Phasenverschie-} \\ & \text{bung} \end{aligned}$$

Meßprinzip:

Ein Strömungssignal (V'_{\sim}) mit einer festen Frequenz wird der Spontanatmung aufgeprägt. Als Antwort des respiratorischen Systems wird am Mund ein Wechseldrucksignal ($P_{m\sim}$) gemessen. Die daraus ermittelte R_{os} beinhaltet neben Strömungswiderständen der Atemwege zusätzlich Trägheits- und Dehnbarkeitswiderstände von Lungengewebe, Thoraxwand und Alveolarluft. R_{os}

entspricht annähernd $|\underline{Z}_{rs}|$. Ψ ist der Phasenwinkel zwischen Oszillationsstrom und Drucksignal.

2.2. Multifrequente Oszilloresistometrie

u.a. Impuls-Oszilloresistometrie und Pseudo Random Noise-

Technik

Meßergebnis:

**komplexe
respiratorische
Impedanz**

$$\underline{Z}_{rs} = \underline{P} / \underline{V}'$$

$$\underline{Z}_{rs} = R + jX$$

Meßprinzip:

Der Spontanatmung wird ein aus einem Frequenzgemisch bestehendes Eingangssignal aufgeprägt. Bei der Impuls-Oszilloresistometrie ist das Eingangssignal ein elektrischer Rechteckimpuls (Drucksignal P). Die Antwort des respiratorischen Systems ist ein Strömungssignal (V). Aus dem Druck- und Strömungsverlauf wird für die einzelnen Frequenzen mittels Fast-Fourier-Analyse die \underline{Z}_{rs} berechnet. \underline{Z}_{rs} umfaßt resistive, kapazitive (elastische Eigenschaften) und induktive (inertive Eigenschaften) Widerstände. Das Ergebnis wird meistens als Resistance R und Reactance X im Frequenzverlauf angegeben. Die Darstellung als Betrag der Impedanz $|\underline{Z}_{rs}|$ und Phasenwinkel φ im Frequenzspektrum ist weniger gebräuchlich.

Legende

C = Kapazität, C_{dyn} = dynamische Compliance, j = Imaginärteil einer komplexen Zahl,
 L = Induktivität, P_{alv} = Alveolardruck, $P_{m\sim}$ = Wechseldruck am Mund, P_{mo} =
Munddruck,

P_{tp} = transpulmonaler Druck, R = Resistance (Realteil von \underline{Z}_{rs}), R_{aw} =
Atemwegswiderstand,

R_L = totale pulmonale Resistance, R_{os} = oszillatorische Resistance, R_{rs} = Resistance
des

respiratorischen Systems, V' = Atemstromstärke, $V'\sim$ = Wechselströmung am Mund,

X = Reactance (Imaginärteil von \underline{Z}_{rs}), \underline{Z}_{rs} = komplexe respiratorische Impedanz,

φ (Phi) = Phasenwinkel von \underline{Z}_{rs} , Ψ (Psi) = Phasenwinkel von \underline{P} ,

ω (Omega) = Kreisfrequenz $2\pi f$

Literatur

Art, T., P. Lekeux (1988):

A critical assessment of pulmonary function testing in exercising ponies.
Vet. Res. Commun., 12, 25 – 39

Marchal, F., N. Loos (1997):

Respiratory oscillation mechanics in infants and preschool children.
In: M. Zach, K.-H. Carlsen, J. O. Warner, F. H., Sennhauser (Hrsg.): New diagnostic technique in paediatric respiratory medicine.
Eur. Respir. Mon., 5, 58 – 87

Petro, W., N. Konietzko (1992):

Lungenfunktionsdiagnostik.
In: Ferlinz, R. (Hrsg.): Diagnostik in der Pneumologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart und New York, S. 209-281

Reinhold, P. (1997a):

Atmungsmechanik beim Tier. 1. Mitteilung: Physiologische Grundlagen und konventionelle Untersuchungsmethoden – Übersichtsarbeit.
Berl. Münch. Tierärztl. Wschr., 110, 251 – 256

Reinhold P. (1997b):

Atmungsmechanik beim Tier. 2. Mitteilung: Die forcierte Oszilloresistometrie – Übersichtsarbeit.
Berl. Münch. Tierärztl. Wschr., 110, 257 – 266

Reinhold, P., R. Close, P. Lekeux (1994):

Die monofrequente Oszilloresistometrie - Möglichkeiten und Grenzen eines nichtinvasiven Verfahrens zur Atemwiderstandsmessung beim Kalb.
Dtsch. tierärztl. Wschr., 101, 146 - 150

Smidt, U., V. Schulz, R. Ferlinz (1994):

Physiologie und Pathophysiologie.
In: Ferlinz, R. (Hrsg.): Pneumologie in Praxis und Klinik.
Verlag Georg Thieme, Stuttgart und New York

Ulmer, W. T., G. Reichel, D. Nolte, M. S. Islam (1991):

Die Lungenfunktion - Physiologie und Pathophysiologie, Methodik.
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York

Vogel, J., U. Smidt (1994):

Impuls-Oszillometrie. Analyse der Atemmechanik in Ambulanz und Klinik, Epidemiologie und experimenteller Forschung.
Dustri- Verlag Dr. Karl Feistle, München-Deisenhofen