

durch kompensiert, daß eine erhöhte Atemfrequenz auch mit einer entsprechend erhöhten CO₂-Abgabe verbunden ist. Hyperventilation verminderte den arteriellen viel weniger als den alveolaren CO₂-Druck.

Der arterielle CO₂-Druck nahm bei steigender Leistung bei allen Versuchspersonen zunächst zu, fiel dann aber bei zwei Versuchspersonen bei höherer Leistung wieder ab. Es konnte gezeigt werden, daß diese Abnahme den alveolaren Wirkungsgrad bei hohen Leistungsstufen verbessert.

In der zweiten Versuchsreihe wurde am künstlich beatmeten Hund untersucht, welche Kombinationen von Atemfrequenz, Atemhubvolumen und CO₂-Abgabe den gleichen alveolaren Wirkungsgrad ergeben. Da gleicher alveolarer Wirkungsgrad gleichen Anteil des funktionellen Totraumes am Atemzugvolumen bedeutet, bestimmt er die Grenze, bei der der endexpiratorische CO₂-Druck repräsentativ für den alveolaren CO₂-Druck ist. Es zeigte sich, daß der alveolare CO₂-Druck endexpiratorisch noch richtig angezeigt wird, wenn der Totraumanteil am Gesamthubvolumen 40% nicht überschreitet. Bei höheren Totraumanteilen wird statt der Alveolarluft endexpiratorisch nur Mischluft gemessen. Die Ergebnisse werden darauf untersucht, ob eine selbsttätig geregelte, künstliche Beatmung sinnvoll ist, deren Regelgröße der endexpiratorische CO₂-Druck ist. Es zeigte sich, daß durch eine solche Anlage der arterielle CO₂-Druck hinlänglich gut konstant gehalten werden kann, solange Frequenz und Hub der Pumpe keinen alveolaren Wirkungsgrad von weniger als 60% verursachen.

Literaturverzeichnis

- AITKEN, R. S., and A. E. CLARK-KENNEDY, On the fluctuation in the composition of the alveolar air during the respiratory cycle in muscular exercise. *J. Physiol. (Lond.)* 65, 389 (1928).
- ALBERS, C.¹, Der Mechanismus des Wärmechekelns beim Hund. I. Die Ventilation und die arteriellen Blutgase während des Wärmechekelns. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 274, 125 (1961).
- ALBERS, C.², Der Mechanismus des Wärmechekelns beim Hund. II. Der respiratorische Stoffwechsel während des Wärmechekelns. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 274, 148 (1961).
- ASMUSSEN, E., and M. NIELSEN, Physiological dead space and alveolar gas pressures at rest and during muscular exercise. *Acta physiol. scand.* 38, 1 (1957).
- ASMUSSEN, E., and M. NIELSEN, Experiments on nervous factors controlling respiration and circulation during exercise employing blocking of the blood flow. *Acta physiol. scand.* 60, 103 (1964).
- ASTRAND, P. O., and I. RYHMIN, A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *J. appl. Physiol.* 7, 218 (1954).

- ASTRUP, P., A simple electrometric technique for the determination of carbon dioxide tension in blood and plasma, total content of carbon dioxide in plasma, and bicarbonate content in "separated" plasma at a fixed carbon dioxide tension (40 mm Hg). *Scand. J. Clin. & Lab. Investig.* 8, 33 (1956).
- BANNISTER, R. G., D. J. C. CUNNINGHAM and C. G. DOUGLAS, The carbon dioxide stimulus to breathing in severe exercise. *J. Physiol. (Lond.)* 125, 90 (1954).
- BARTELS, J., I. W. SEVERINGHAUS, R. E. FORSTER, W. A. BRISCOE and D. V. BATES, The respiratory dead space measured by single breath analysis of oxygen, carbon dioxide, nitrogen or helium. *J. clin. Invest.* 33, 41 (1954).
- BIRATH, G. (1954), zit. nach P. H. ROSSIER, A. BÜHLMANN und K. WIESINGER, *Physiologie und Pathophysiologie der Atmung*. Berlin-Göttingen-Heidelberg 1958.
- BIRATH, G., Respiratory dead space measurements in a model lung and healthy human subjects according to the single breath method. *J. appl. Physiol.* 14, 517 (1959).
- BOHR, CHR., Über die Lungenatmung. *Scand. Arch. Physiol.* 2, 236 (1891).
- BRISCOE, W. A., R. E. FORSTER and I. H. COMROE, Alveolar ventilation at low tidal volumes. *J. appl. Physiol.* 7, 1 (1954).
- BRUCK, A., PH. HAAS und W. ULMER, Ein schnellanzeigender Ultrarotabsorptionsschreiber zur fortlaufenden Messung der Kohlensäurekonzentration in der Atemluft. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 259, 142 (1954).
- CAMPBELL, J. M. H., C. G. DOUGLAS and F. G. HOBSON, The sensitiveness of the respiratory centre to carbonic acid, and the dead space during hyperpnoea. *J. Physiol. (Lond.)* 48, 303 (1914).
- COHN, J. E., D. G. CARROLL, B. W. ARMSTRONG, R. H. SHEPARD and R. L. RILEY, Maximal diffusing capacity of the lung in normal male subjects of different ages. *J. appl. Physiol.* 6, 588 (1954).
- COOPER, D. Y., G. L. EMMEL, R. H. KOUGH and C. J. LAMBERTSEN, Effects of CO₂ induced hyperventilation upon the alveolar-arterial *p*O₂ difference and the functional respiratory dead space in normal men. *Fed. Proc.* 12, 28 (1953).
- DILL, D. B., L. H. HURXTHAL, C. VAN CAULAERT, A. FÖLLING and A. V. BOCK, The carbon dioxide equilibrium in alveolar air and arterial blood. II. Resting subjects. *J. Biol. Chem.* 74, 303 (1927).
- DILL, D. B., J. S. LAWRENCE, L. M. HURXTHAL and A. V. BOCK², The carbon dioxide equilibrium in alveolar air and arterial blood. III. Exercising subjects. *J. Biol. Chem.* 74, 313 (1927).
- DOUGLAS, C. G., and J. S. HALDANE, The capacity of the air passages under varying physiological conditions. *J. Physiol. (Lond.)* 45, 235 (1912).
- DUBOIS, A. B., A. G. BRITT and W. O. FENN, Alveolar CO₂ during the respiratory cycle. *J. appl. Physiol.* 4, 535 (1952).
- DUBOIS, A. B., R. C. FOWLER, A. SOFFER and W. O. FENN, Alveolar CO₂ measured by expiration into the rapid infrared gas analyzer. *J. appl. Physiol.* 4, 526 (1952).
- ECKOLDT, K., und W. ROTH, Verhalten des endexpiratorischen CO₂-Druckes (*P*_{CO₂E}), bei Trainierten und Untrainierten während körperlicher Belastung. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft der Physiologen in der Deutschen Demokratischen Republik, Rostock 1966.
- ENGHOFF, H., Zur Frage des schädlichen Raumes bei der Atmung. Eine statistische Studie. *Scand. Arch. Physiol.* 63, 15 (1931).
- ENGHOFF, H., Volumen inefficax. Bemerkungen zur Frage des schädlichen Raumes. *Upsala Lätz. Gör. Förh. N.F.* 44, 191 (1938).

- FILLEY, G. F., F. GREGOIR and G. W. WRIGHT, Alveolar and arterial oxygen tensions and the significance of the alveolar-arterial oxygen tension difference in normal men. *J. clin. Invest.* 33, 517 (1954).
- FISHMAN, A. P., Studies in man of the volume of the respiratory dead space and the composition of the alveolar gas. *J. clin. Invest.* 33, 469 (1954).
- FOWLER, R. C., Rapid infrared gas analyzer. *Rev. Scientific Instruments* 20, 175 (1949).
- FRUMIN, M. J., Clinical use of a physiological respirator producing N₂O amnesia-analgesia. *Anesthesiology* 18, 290 (1957).
- GROSSE-BROCKHOFF, F., und W. SCHOEDEL¹, Eine Apparatur zur Untersuchung der Veränderungen der alveolaren Expirationsluft in der Ausatmungszeit. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 238, 204 (1936).
- GROSSE-BROCKHOFF, F., und W. SCHOEDEL², Der effective schädliche Raum. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 238, 213 (1936).
- HALDANE, J. S., The variations in the effective dead space in breathing. *Amer. J. Physiol.* 38, 20 (1915).
- HALDANE, J. S., and J. G. PRIESTLEY, The regulation of the lung-ventilation. *J. Physiol. (Lond.)* 32, 225 (1905).
- HECKSCHER, H., H. FADDERS-BÖLL und E. MOGENSEN, Untersuchungen betreffend die Konstanz der alveolären Ventilation, die Schwankungen des alveolären Kohlendioxidprozentages und des alveolären Sauerstoffdefizites bei willkürlichen Variationen der Frequenz und Tiefe der Respiration. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 226, 418 (1931).
- HENDERSON, Y., F. P. CHILLINGWORTH and J. L. WHITNEY, The respiratory dead space. *Amer. J. Physiol.* 38, 1 (1915).
- HERBERG, D., G. REICHEL und W. T. ULMER, Untersuchungen über die Abhängigkeit des absoluten und funktionellen Totraumes von der Ausatemgeschwindigkeit, alveolären Kohlendioxidkonzentration, Atemmittellage und vom Lebensalter. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 270, 467 (1960).
- KALTREIDER, N. L., W. W. FRAY and H. V. HYDE (1938), zit. nach P. H. ROSSIER, A. BÜHLMANN und K. WIESINGER, *Physiologie und Pathophysiologie der Atmung*. Berlin-Göttingen-Heidelberg 1958.
- KESSELER, K., Beziehungen der endexpiratorischen CO₂-Spannung bei Arbeit zur körperlichen Leistungsfähigkeit. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 287, 176 (1966).
- KROGH, A., and J. LINDHARD, The volume of the dead space in breathing. *J. Physiol. (Lond.)* 47, 30 (1913).
- KROGH, A., and J. LINDHARD, On the average composition of the alveolar air and its variations during respiratory cycle. *J. Physiol. (Lond.)* 47, 431 (1914).
- KROGH, A., and J. LINDHARD, The volume of the dead space in breathing and the mixing of gases in the lungs of man. *J. Physiol. (Lond.)* 51, 59 (1917).
- KRZYWANEK, F. W., und M. STEUBER¹, Über die Gewinnung der Alveolarluft und die Größe des schädlichen Raumes beim Hunde. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 194, 477 (1922).
- KRZYWANEK, F. W., und M. STEUBER², Ein Beitrag zur Größe des toten Raumes in den Atemswegen. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 197, 624 (1922).
- LIM, T. P. K., U. C. LUFT and F. S. GRODINS, Effects of cervical vagotomy on pulmonary ventilation and mechanics. *J. appl. Physiol.* 13, 317 (1958).
- LINDHARD, J., The dead space in breathing. *J. Physiol. (Lond.)* 48, 44 (1914).
- LOEWY, A., Über die Bestimmung der Größe des »schädlichen Luftraumes« im Thorax und der alveolären Sauerstoffspannung. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 58, 416 (1894).

- LUFT, K. F., Z. techn. Physik 24, 97 (1943), zit. nach A. BRUCK, Ph. HAAS und W. ULMER, Pfügers Arch. ges. Physiol. 259, 142 (1954).
- MILLER, W. S., J. of Morph. 8, 165 (1893), zit. nach J. S. HALDANE, Amer. J. Physiol 38, 20 (1915).
- MONCRIEFF, A., Tests for respiratory efficiency: The so-called dead space. Lancet I, 956 (1933).
- MÜLLER, E. A., Ein Leistungspulsindex als Maß der Leistungsfähigkeit. Arbeitsphysiologie 14, 271 (1950).
- MÜLLER, E. A., Fahrradergometer – Gradmesser der Muskelarbeit. Radmarkt 4, 14 (1952).
- MÜLLER, E. A., und H. FRANZ, Energieumsatzmessungen bei beruflicher Arbeit mit einer verbesserten Respirationsgasuhr. Arbeitsphysiologie 14, 499 (1952).
- MÜLLER, E. A., und A. HEISING, Methoden des Max-Planck-Institutes für Arbeitsphysiologie, Dortmund 1958.
- MÜLLER, E. A., und G. SOLBACH, Methoden des Max-Planck-Institutes für Arbeitsphysiologie, Dortmund 1958.
- PAPPENHEIMER, J. R., A. P. FISHMAN and L. M. BORRERO, New experimental methods for determination of effective alveolar gas composition and respiratory dead space, in anesthetized dog and in man. J. appl. Physiol. 4, 855 (1952).
- RAHN, H., and A. B. OTIS, Continuous analysis of alveolar gas composition during work, hyperpnea, hypercapnia and anoxia. J. appl. Physiol. 1, 717 (1949).
- REINDELL, H., K. KÖNIG und H. STEIM, Therapiebeurteilung, Herzvolumen und Spiroergometrie. Verh. Dtsch. Ges. Kreislauf.-Forsch. 26, 321 (1960).
- RILEY, R. L., and A. COURNAND (1946), zit. nach P. H. ROSSIER, A. BÜHLMANN und K. WIESINGER, Physiologie und Pathophysiologie der Atmung. Berlin-Göttingen-Heidelberg 1958.
- RILEY, R. L., and A. COURNAND, »Ideal« alveolar air and the analysis of ventilation-perfusion relationships in the lungs. J. appl. Physiol. 1, 825 (1949).
- ROHRER, F., Der Strömungswiderstand in den menschlichen Atemwegen und der Einfluß der unregelmäßigen Verzweigung des Bronchialsystems auf den Atmungsverlauf in verschiedenen Lungenbezirken. Pfügers Arch. ges. Physiol. 162, 225 (1915).
- ROSSIER, P. H., und A. BÜHLMANN (1950), zit. nach E. ASMUSSEN and M. NIELSEN, Acta physiol. scand. 38, 1 (1957).
- ROSSIER, P. H., A. BÜHLMANN und K. WIESINGER, Physiologie und Pathophysiologie der Atmung. Berlin-Göttingen-Heidelberg 1958.
- ROSSIER, P. H., und H. MÉAN (1942), zit. nach P. H. ROSSIER, A. BÜHLMANN und K. WIESINGER, Physiologie und Pathophysiologie der Atmung. Berlin-Göttingen-Heidelberg 1958.
- SCHOLANDER, P. F., Analyzer for accurate estimation of respiratory gases in one half cubic centimeter samples. J. Biol. Chem. 167, 235 (1947).
- SEVERINGHAUS, J. W., and M. STUPFEL, Alveolar dead space as an index of distribution of blood flow in pulmonary capillaries. J. appl. Physiol. 10, 335 (1957).
- SEVERINGHAUS, J. W., M. STUPFEL and A. F. BRADLEY, Variations of serum carbonic acid pK' -with pH and temperature. J. appl. Physiol. 9, 197 (1956).
- SIEBECK, R. (1910), zit. nach R. SIEBECK, Scand. Arch. Physiol. 25, 81 (1911).
- SIEBECK, R., Über den Gasaustausch zwischen Außenluft und Alveolen. II. Über die Bedeutung und Bestimmung des schädlichen Raumes bei der Atmung. Scand. Arch. Physiol. 25, 81 (1911).

- SIGGAARD-ANDERSEN, O., The $pH - \log pCO_2$ blood acid base nomogram revised. *Scand. J. Clin. & Lab. Investig.* 14, 598 (1962).
- SIGGAARD-ANDERSEN, O., The acid-base status of the blood. Copenhagen. Munksgaard (1964).
- SLYKE, D. D. VAN, und I. M. NEILL, The determination of gases in blood and other solutions by vacuum extractions and manometric measurement. *J. Biol. Chem.* 61, 554 (1924).
- STEGEMANN, J., Rationalisierung und Arbeitsphysiologie. *Keramische Zeitschrift* 7, 562 (1955).
- STEGEMANN, J., Einrichtung zur selbsttätigen Regelung der alveolären CO_2 -Konzentration am narkotisierten Versuchstier. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 270, 81 (1959).
- STEGEMANN, J.¹, Die Abhängigkeit des funktionellen Totraumes von Beatmungstiefe und Beatmungsfrequenz bei künstlicher Respiration. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 276, 398 (1963).
- STEGEMANN, J.², Zum Mechanismus der Pulsfrequenzeinstellung durch den Stoffwechsel. I. Der Einfluß des Stoffwechsels in einer vom Kreislauf isolierten Muskelgruppe auf das Verhalten der Pulsfrequenz. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 276, 481 (1963).
- STEGEMANN, J.³, Zum Mechanismus der Pulsfrequenzeinstellung durch den Stoffwechsel. II. Der Einfluß elektrischer Reizung eines zentralen Spinalnervstumpfes auf den Kreislauf des Hundes. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 276, 493 (1963).
- STEGEMANN, J.⁴, Zum Mechanismus der Pulsfrequenzeinstellung durch den Stoffwechsel. III. Das Stoffwechsel-Kreislaufsystem unter dem Gesichtspunkt des biologischen Regelkreises. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 276, 500 (1963).
- STEGEMANN, J.⁵, Zum Mechanismus der Pulsfrequenzeinstellung durch den Stoffwechsel. IV. Zur Frage der Lokalisation der stoffwechselempfindlichen Muskelrezeptoren. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 276, 511 (1963).
- STEGEMANN, J., Atemantriebe durch Muskelischämie beim Menschen in Ruhe. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 288, 297 (1966).
- STEGEMANN, J., HANS.-V. ULMER und D. BÖNING, Auslösung peripherer neurogener Atmungs- und Kreislaufantriebe durch Erhöhung des CO_2 -Druckes in größeren Muskelgruppen. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 293, 155 (1967).
- STUCKI, R., Influence de la fréquence respiratoire sur les espaces morts anatomiques et alvéolaire du chien. *Helv. physiol. Acta* 21, 27 (1963).
- SUSKIND, M., R. A. BRUCE, M. E. MCDOWELL, P. N. G. YU and F. W. LOVEJOY, Normal variations in end tidal air and arterial blood carbon dioxide and oxygen tension during moderate exercise. *J. appl. Physiol.* 3, 282 (1950).
- ULMER, W., Untersuchungen bei Menschen und Hunden über die Wirksamkeit herzsynchroner Mischungsvorgänge in den Atemwegen. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 268, 460 (1959).
- ULMER, W., und M. STAMMBERGER, Untersuchungen über den funktionellen Totraum bei Arbeit und bei willkürlich vertiefter Atmung. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 268, 484 (1959).
- YOUNG, A. C., Dead space at rest and during exercise. *J. appl. Physiol.* 8, 91 (1955).
- ZUNTZ, N., Physiologie der Blutgase und des respiratorischen Gaswechsels. *Hermanns Handb. d. Physiol.* Band IV, Teil 2, S. 1 (1882).