

PHYSIOLOGIE
UND PATHOPHYSIOLOGIE
DER ATMUNG

VON

P. H. ROSSIER · A. BÜHLMANN
K. WIESINGER

ZWEITE
VERBESSERTE UND ERWEITERTE AUFLAGE

MIT 95 ABBILDUNGEN



SPRINGER-VERLAG
BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG
1958

ISBN-13: 978-3-642-87857-2 e-ISBN-13: 978-3-642-87856-5
DOI: 10.1007/978-3-642-87856-5

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten
Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es auch nicht gestattet, dieses
Buch oder Teile daraus auf photomechanischem Wege (Photokopie, Mikrokopie)
zu vervielfältigen

© by Springer-Verlag oHG, Berlin · Göttingen · Heidelberg 1956 and 1958
Softcover reprint of the hardcover 2nd edition 1958

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw.
in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der
Annahme, daß solche Namen im Sinn der Warenzeichen- und Markenschutz-
Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt
werden dürfen

BRÜHLSCHE UNIVERSITÄTSDRUCKEREI GIESSEN

Vorwort zur zweiten Auflage

Die erste Auflage dieser Monographie war nach wenig länger als einem Jahr vergriffen, was das Bedürfnis einer zusammenfassenden Darstellung der Lungenpathophysiologie in deutscher Sprache demonstriert. Die zweite Auflage gibt uns nicht nur Gelegenheit, Korrekturen und Verbesserungen anzubringen, es war auch möglich, einige Kapitel entsprechend den Fortschritten der letzten Jahre zu vervollständigen und die Anzahl der Abbildungen zu vermehren. Insbesondere konnten die Probleme der Atemmechanik ausführlicher besprochen sowie die Ergebnisse eigener Untersuchungen dargestellt werden. Die Beschreibung der Lungeninsuffizienz berücksichtigt jetzt nicht nur vorwiegend spirometrische und blutgasanalytische Befunde sowie die Verhältnisse im Lungenkreislauf, sondern auch die verschiedenen Möglichkeiten einer gestörten Atemmechanik. Diese neuen Studien wurden durch den Schweizerischen Nationalfonds und die Gertrud-Ruegg-Stiftung finanziell unterstützt, bei der Durchführung und Auswertung dieser Untersuchungen sind wir insbesondere Herrn Dr. BEHN zu Dank verpflichtet. Herr Dr. PIRCHER stand uns auch für die zweite Auflage beratend zur Verfügung, ihm und den Herren Prof. BARTELS, Dr. HERTZ, Dr. LUCHSINGER, Dr. SCHERRER und Prof. WYSS verdanken wir eine Reihe wichtiger Anregungen.

Leider hat die von der deutschen Gesellschaft für innere Medizin 1956 eingesetzte Kommission für die Einführung einer neuen Nomenklatur und Symbolik ihre Arbeiten noch nicht beendet, deshalb werden in dieser Auflage noch die alten Symbole für Formeln und Tabellen angewandt, doch ist dafür Sorge getragen, daß möglichst keine Verwechslungen oder Unklarheiten entstehen können.

Wir haben uns auch bemüht, das Literaturverzeichnis mit den neuen sowie mit älteren wichtigen Arbeiten zu vervollständigen, was durch den von Herrn Dr. BATES gegründeten "Respiratory Reprint Club" erleichtert wurde.

Es bleibt unser Bestreben, eine in sich geschlossene Darstellung der komplizierten Pathophysiologie der Atmung und ihrer Grenzgebiete unter möglichster Berücksichtigung der umfangreichen Literatur, vor allem aber der eigenen experimentellen und klinischen Erfahrung zu geben. Wir hoffen, daß die zweite Auflage die gleiche gute Aufnahme finden möge wie die erste.

Zürich, im Frühjahr 1958

P. H. ROSSIER A. BÜHLMANN

Vorwort zur ersten Auflage

Im Jahre 1928 begann einer von uns mit Untersuchungen des Säure-Basen-Gleichgewichtes und der Atemgase im arteriellen und venösen Blut. Diese Untersuchungen wurden von Professor L. MICHAUD gefördert und in der Medizinischen Universitätsklinik Lausanne gemeinsam mit Dr. phil. MERCIER durchgeführt. Die Arbeiten von L. J. HENDERSON und L. DAUTREBANDE zeigten eindrucklich, daß nur eine gemeinsame Untersuchung des Säure-Basen-Gleichgewichtes und der Lungenfunktion weiterführen konnte, so daß letztere in das Studium mit einbezogen werden mußte. Diese Forderung wurde in Zusammenarbeit mit Dr. MÉAN, der von 1938—1944 das Lungenfunktionslaboratorium der Medizinischen Universitätspoliklinik in Zürich leitete, erfüllt. Während dieser Jahre gelang die Synthese zwischen den Befunden der arteriellen Blutgasanalyse und denen der Spirometrie, die eine neue Klassifikation der Lungeninsuffizienz auf einer pathophysiologischen Grundlage ermöglichte. Von 1944—1948 leitete Privatdozent Dr. WIESINGER dieses Laboratorium, er verunglückte, während dieses Buch geschrieben wurde, vor wenigen Monaten als Militärpilot tödlich. Wir verlieren mit ihm einen treuen Freund und Mitarbeiter, der für die Entwicklung der Lungenfunktionsprüfung als klinische Untersuchungsmethode und den Fortschritt unserer Kenntnisse der Pathophysiologie der Atmung entscheidende Bedeutung hatte. Privatdozent Dr. MAIER und Frau Dr. HEGGLIN-VOLKMANN führten bei uns 1947 den Herzkatheterismus ein, der in den letzten Jahren für das Studium der Lungenfunktion immer wichtiger wurde. Die Bewältigung einer umfangreichen experimentellen Arbeit war nur dank zahlreicher Mitarbeiter möglich, von denen wir insbesondere Dr. BUCHER, MELLI, HOTZ, KÄLIN, LUCHSINGER und SCHAUB erwähnen wollen.

Ohne das Wohlwollen unserer Kollegen in den verschiedenen Züricher Universitätskliniken, Professor BRUNNER, FANCONI, HELD, LÖFFLER, KRAYENBÜHL und RUEDI, wäre es uns aber nie möglich gewesen, ein derartig vielseitiges Untersuchungsmaterial zu sammeln, insbesondere den Privatdozenten Dr. ROSSI und GROB sind wir für ihre Anregungen und die Überlassung von interessanten Beobachtungen dankbar.

Es schien uns unmöglich, ein Buch über die Pathophysiologie der Atmung zu schreiben, ohne die normale Physiologie zu berücksichtigen. Wir wollen damit nicht die Fachphysiologen konkurrenzieren, doch ist uns im europäischen Schrifttum kein Buch bekannt, daß alle für das Verständnis der Pathophysiologie notwendigen Details der normalen Physiologie zusammenfassend darstellt. Die Kapitel zur normalen Physiologie der Atmung, wie auch der methodische Teil dieses Buches, wurden von dem Physiologen Dr. PIRCHER vom Fliegerärztlichen Institut in Dübendorf (Zürich) maßgeblich beeinflusst, dem wir für seine Mitarbeit zu größtem Dank verpflichtet sind.

Es ist heute nicht mehr möglich, die gesamte Literatur über die Lungenfunktion und Atemphysiologie zu übersehen, geschweige denn in einem Buch zu verarbeiten und zu zitieren, wir haben uns deshalb für dieses Buch auf die uns

bekanntesten und am wichtigsten erscheinenden Arbeiten beschränkt. Eine ausführliche Literaturzusammenstellung findet sich in unserem Kapitel „Pathophysiologie der Atmung“ im ersten Lungenband der Neuauflage des Handbuches der inneren Medizin.

Unsere Arbeit wurde finanziell unterstützt durch die Hermann Kurz-Stiftung, die Stiftung für wissenschaftliche Forschung an der Universität Zürich und vor allem durch die Züricher Arbeitsgemeinschaft zur Erforschung und Bekämpfung der Silikose in der Schweiz mit ihrem Präsidenten Professor SCHINZ. Auch dem Springer-Verlag sind wir für die Übernahme des Buches und seine großzügige Ausstattung zu großem Dank verpflichtet.

Unter Pathophysiologie verstehen wir die funktionelle Anpassung an ungewöhnliche und krankhafte Bedingungen. Bei vielen Anpassungsmechanismen spielt der Zeitfaktor eine große Rolle, der z. B. im „akuten Tierversuch“ gar nicht oder nur ungenügend zur Geltung kommt. Dieser Zeitfaktor führt zu funktionellen Verhältnissen, wie sie nur am kranken Menschen studiert werden können. Trotz schwerster anatomischer Läsionen findet der Organismus eine Möglichkeit, weiter zu leben. Er entwickelt damit eine neue, seinem Zustand gemäße „Physiologie“, die wir als Pathophysiologie bezeichnen, und wir hoffen, die Pathophysiologie der Atmung dem Leser dieses Buches interessant und vertraut zu machen.

Zürich, im Dezember 1955

P. H. ROSSIER A. BÜHLMANN

Inhaltsverzeichnis

Historische Einführung	1
A. Die normale Physiologie der Atmung	4
I. Die Lungenatmung	4
1. Die Atemmechanik	4
a) Anatomie und Bewegungsmechanismus von Lunge und Thorax. S. 4. —	
b) Beziehungen von Druck, Energie und Arbeit bei der Atmung. S. 7. —	
c) Der Pleuradruck. S. 8. — d) Der elastische Lungendruck. S. 8. — e) Der	
Alveolardruck. S. 9. — f) Der Einfluß des Thorax auf die Lungendrucke. S. 11. —	
g) Der Einfluß ungleicher Belüftung. S. 12. — h) Der energetische Aufwand bei	
der Atmung. S. 15.	
2. Lungenvolumen und Ventilation	17
Ventilation. S. 18	
3. Die Zusammensetzung der Gase in den Lungen	19
a) Die Inspirationsluft. S. 20. — b) Die Expirationsluft. S. 20. — c) Die	
Alveolarluft. S. 21	
4. Alveoläre Ventilation und Totraum	23
II. Das Blut als Träger der Atemgase	33
1. Der Sauerstofftransport	33
2. Der Kohlendioxidtransport	38
3. Beziehungen zum Säure-Basen-Gleichgewicht	47
III. Der Übergang der Atemgase aus den Alveolen ins Blut	50
1. Gasdiffusion durch die „alveolo-capilläre Membran“	50
Die Spannungsgradienten. S. 54	
2. Beziehungen zwischen Lungendurchblutung und Ventilation	55
IV. Die Steuerung der Atmung	65
V. Die Gewebeatmung	71
a) Der Grundumsatz. S. 72. — b) Der Leistungsumsatz. S. 74. — c) Die	
Sauerstoffversorgung der Gewebe. S. 76. — d) Der respiratorische Quotient.	
S. 76	
VI. Die Cyanose	79
VII. Die Dyspnoe	82
B. Untersuchungsmethoden der Lungenfunktion	84
I. Spirometrie	85
1. Allgemeines zur Spirometrie	85
2. Apparaturen	86
a) Einfache Spirometer. S. 86. — b) Spirometer mit Luftumwälzung. S. 86. —	
c) Spezielle Spirometertypen. S. 90. — d) Doppelspirometer. S. 91. — e) Spiro-	
meter mit laufender Registrierung von Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxid-	
abgabe. S. 91.	
3. Bestimmung der Vitalkapazität und des Atemgrenzwertes	92
4. Sollwerte, Berechnungen und Korrekturen	93
5. Residualvolumen und Totalkapazität	97
6. Bronchospirrometrie	103
7. Zusätzliche spirometrische Methoden	105
a) Der spirometrische Sauerstoffversuch. S. 105. — b) Der Sauerstoff-Mangel-	
versuch, Hypoxieversuch. S. 107. — c) Der Kohlendioxid-Belastungsversuch.	
S. 107.	

II. Nichtspirometrische Methoden zur Untersuchung der Lungenatmung	108
1. Direkte Alveolarluftbestimmung	108
2. Apnoezeit und Flak-Test	109
3. Der Adrenalinversuch	109
4. Die Pneumotachographie	110
5. Die Messung der Beweglichkeit von Thorax und Zwerchfell Durchleuchtung und Röntgenaufnahme. S. 112.	112
6. Die Thorakographie	112
7. Die Plethysmographie	113
8. Druckmessungen in der Lunge (Alveolar-, Oesophagus- und Pleuradruck)	113
9. Verwendung von radioaktiven Gasen	117
III. Untersuchung der Blutgase	117
1. Blutentnahme und Blutkonservierung.	117
2. Die Messung des Sauerstoffes im Blut	119
a) Die Sauerstoffkapazität. S. 119. — b) Die Sauerstoffsättigung des Blutes. S. 120. — c) Die Sauerstoffspannung des Blutes. S. 121.	
3. Photoelektrische Oxymetrie	123
4. Bestimmung der Kohlensäure im Blut	126
Bestimmung der Kohlensäurespannung im Blut. S. 127.	
5. Messung des p_{H}	128
6. Dissoziationskurven	130
IV. Kombinierte und zusätzliche Methoden	131
1. Sauerstoffversuch nach ROSSIER	131
2. Methoden zum Studium von Diffusionsstörungen.	131
a) Die Kohlenmonoxydmethode. S. 132. — b) Methode von LILIENTHAL, RILEY und Mitarbeitern. S. 134. — c) Eigene Methodik. S. 136.	
V. Der Arbeitsversuch	137
1. Allgemeines	137
2. Spiroergometrie	139
3. Arbeitsversuch mit Kontrolle der arteriellen Blutgase	142
VI. Technik des Herzkatheterismus, Berechnungen und Normalwerte	142
C. Pathophysiologie der Atmung	153
I. Synthese von Spirometrie und Blutgasanalyse	153
II. Die Klassifikation der Lungeninsuffizienz	155
1. Die deutsche Schule	155
2. Die amerikanische Schule	157
3. Die Zürcher Schule	159
III. Die Einteilung der Lungenfunktionsstörungen	160
1. Die manifeste Insuffizienz	160
a) Die Globalinsuffizienz. S. 161. — b) Die Partialinsuffizienz. S. 163. — c) Der vasculäre Kurzschluß. S. 165. — d) Die Diffusionsstörungen. S. 167.	
2. Die Atemmechanik bei den verschiedenen manifesten Insuffizienztypen.	170
a) Partialinsuffizienz. S. 170. — b) Globalinsuffizienz. S. 170. — c) Diffusions- störungen. S. 172.	
3. Die latente Insuffizienz	172
a) Globalinsuffizienz bei Belastung. S. 173. — b) Diffusionsstörung bei Be- lastung. S. 173.	
4. Besondere Syndrome	175
a) Das spastische Syndrom. S. 175. — b) Das Hyperventilationssyndrom. S. 175. — c) Das Totraum-Hyperventilationssyndrom. S. 177.	
5. Die Pseudoinsuffizienz.	178
6. Arterielle Blutgase und Elektrolyte	180
IV. Die Einteilung der verschiedenen Formen der pulmonalen Hypertonie	181
1. Vergrößerung des Herzminutenvolumens (kongenitale Vitien usw.)	184
2. Ausflußbehinderung aus dem Lungenkreislauf (Mitralstenose usw.)	185
3. Einschränkung der Capillaroberfläche	187
4. Chronische alveoläre Hypoventilation	192

D. Die Klinik der Lungeninsuffizienz	195
I. Das chronische Cor pulmonale	195
1. Definition des chronischen Cor pulmonale und der kardialen Rechtsinsuffizienz	195
2. Ursachen der Erhöhung des Widerstandes im Lungenkreislauf, die zu einem	
Cor pulmonale führen	197
3. Allgemeine klinische Symptomatologie und Elektrokardiographie	198
4. Bedeutung und Häufigkeit des chronischen Cor pulmonale	200
5. Die Therapie des chronischen Cor pulmonale	202
II. Eigentliche Lungenerkrankungen	204
1. Die Pathophysiologie des Emphysems.	204
a) Die anatomischen Formen des Emphysems. S. 204. — b) Die Atemmechanik	
beim Emphysem. S. 205. — c) Spirometrische und blutgasanalytische Unter-	
suchungen beim Emphysem. S. 214. — d) Die Veränderungen der Lungen-	
durchblutung beim Emphysem. S. 216. — e) Funktionelle Stadieneinteilung	
des Emphysems. S. 217. — f) Die Therapie des Emphysems unter funktionellen	
Gesichtspunkten. S. 219.	
2. Asthma bronchiale und Asthmakrankheit	221
a) Das akute Asthma bronchiale. S. 221. — b) Das chronische Asthma bron-	
chiale. S. 230. — c) Die Bronchitiden. S. 231.	
3. Stenoseatmung	235
4. Die Funktionsstörungen bei der Lungentuberkulose.	237
a) Pneumothorax. S. 246. — b) Phrenicuslähmung. S. 247. — c) Thorako-	
plastik. S. 247. — d) Segmentresektion und Lobektomie. S. 248. — e) Pneumon-	
ektomie. S. 248. — f) Bronchospirometrische Untersuchungen bei den verschie-	
denen Behandlungsmethoden der Lungentuberkulose. S. 250. — g) Die	
Bedeutung der Lungenfunktionsprüfung für die Indikationsstellung bei thorax-	
chirurgischen Eingriffen. S. 251.	
5. Die Pathophysiologie der Atmung bei der Silikose	253
6. Lungenfibrosen und Morbus Boeck	260
7. Sogenannte primäre und sekundäre Pulmonalsklerose	263
8. Pneumonie	268
9. Atelektase	268
10. Thoraxdeformitäten	269
11. Lungenadenomatose	269
12. Arteriovenöses Lungenaneurysma	269
III. Beeinflussung der Atmung durch bestimmte Zustände des Körpers	270
1. Die Lungenfunktion im Alter	270
2. Lungenfunktion und Herzinsuffizienz	272
3. Die Lungenfunktion bei angeborenen Herzfehlern	274
4. Lungenfunktion und Schwangerschaft	276
5. Die psychisch gestörte Atmung, Effort-Syndrom	277
6. Die Lungenfunktion bei der schweren Anämie	278
7. Die Lungenfunktion bei Adipositas	279
8. Störungen des Säure-Basen-Gleichgewichtes	281
a) Endokrine Störungen. S. 281. — b) Die Pathophysiologie der diabetischen	
Acidose. S. 282. — c) Renale Acidose. S. 290. — d) Hyperchlorämische Acidose.	
S. 291. e) Hepatorenales Syndrom und Coma hepaticum 292	
9. Medikamentöse Beeinflussung der Atmung	292
a) Direkte Beeinflussung der Atmung über die Erregbarkeit der Atemzentren.	
S. 292. — b) Medikamentös bedingte Hyperventilation. S. 293.	
10. Medikamentöse Beeinflussung des Säure-Basen-Gleichgewichtes	294
11. Lungenfunktion und Narkose	295
12. Die künstliche Beatmung	298
a) Methoden der künstlichen Beatmung. S. 300. — b) Kontrolluntersuchungen	
bei künstlicher Beatmung. S. 308. — c) Allgemeine Probleme bei der künst-	
lichen Beatmung. S. 309.	
13. Sauerstofftherapie	310
IV. Sauerstoffmangel und Höhenatmung	311
V. Atmung und Sport	313
E. Anhang: Formeln, Korrekturfaktoren, Reagentien, Tabellen	316
Literatur nach Sachgebieten geordnet	323
Sachverzeichnis	393