



H. Bartels · K. Riegel · J. Wenner · H. Wulf

# Perinatale Atmung

Physiologische Grundlagen und  
therapeutische Konsequenzen

Mit 50 Abbildungen

Springer-Verlag  
Berlin · Heidelberg · New York 1972

Professor Dr. HEINZ BARTELS, Physiologisches Institut der Med. Hochschule, 3000 Hannover, Karl-Wiechert-Allee 9

Professor Dr. KLAUS RIEGEL, Universitäts-Kinderklinik, 8000 München 15, Lindwurmstr. 4

Professor Dr. JOHANNES WENNER, Kinderklinik der Med. Hochschule, 3000 Hannover, Karl-Wiechert-Allee 9

Professor Dr. HEINRICH WULF, Frauenklinik der Med. Hochschule im Krankenhaus Oststadt, 3000 Hannover, Pasteurallee 5

ISBN-13:978-3-540-05947-9 e-ISBN-13:978-3-642-65447-3  
DOI: 10.1007/978-3-642-65447-3

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, der Entnahme von Abbildungen, der Funk-  
sendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speiche-  
rung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung,  
vorbehalten. Bei Vervielfältigungen für gewerbliche Zwecke ist gemäß § 54 UrhG eine  
Vergütung an den Verlag zu zahlen, deren Höhe mit dem Verlag zu vereinbaren ist.  
© by Springer-Verlag Berlin · Heidelberg 1972. Library of Congress Catalog Card  
Number 72-86891.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handels-  
namen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere  
Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen-  
und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jeder-  
mann benutzt werden dürften. Gesamtherstellung: Konrad Tritsch, Graphischer Betrieb,  
87 Würzburg.

# Vorwort

Es gibt keine dramatischere physiologische Funktionsänderung im Leben des Menschen und der Säugetiere als die Umstellung von Kreislauf und Atmung beim Übergang vom intrauterinen zum extrauterinen Leben. Da hiervon in erster Linie der Atemgastransport und nicht die Zellatmung betroffen ist, soll insbesondere über die Änderung des Gastransportes während der Perinatalzeit berichtet werden. Unser Anliegen ist eine Schilderung der Hauptprobleme, ohne eine vollständige Besprechung des Gebietes anzustreben. Ausführliche Darstellungen von Teilgebieten mit reichem Tatsachenmaterial liegen vor (ASSALI, 1968; BARTELS, 1970; BARTELS und WULF, 1965; DAWES, 1968; METCALFE, BARTELS und MOLL, 1967; MOLL und BARTELS, 1971; RIEGEL, 1965; SMITH, 1959).

Eine Einteilung des Stoffes ergibt sich durch die Unterschiede des Gasaustausches in der Placenta und in der Lunge. Der Sauerstoff, den der Fetus braucht, kann nur über die Atemwege der Mutter, das mütterliche Blut und die Placenta in das fetale Blut transportiert werden. Wir werden deshalb zuerst über den Gastransport im mütterlichen und fetalen Organismus sprechen und die Besonderheiten, die dabei für mütterliches und fetales Blut gelten, behandeln. Weiterhin wird der Übertritt der Gase in der Placenta geschildert und schließlich die Ventilation und ihre Regulation dargestellt.

Die Kenntnis der physiologischen Vorgänge bei der Umstellung von placentarer zur Lungenatmung ist eine Voraussetzung für die Behandlung der gestörten Funktion. Deshalb soll auf therapeutische Folgerungen, die sich aus der Besprechung der physiologischen Befunde ergeben, in einem abschließenden Kapitel hingewiesen werden.

Oktober 1972

H. BARTELS  
K. RIEGEL  
J. WENNER  
H. WULF

# Inhalt

I. Grundzüge der Physiologie des Gastransports . . . . .	1
A. Der Gastransport in der Lunge . . . . .	1
1. Die Ventilation . . . . .	2
2. Die Lungenvolumina . . . . .	3
3. Die Atemarbeit . . . . .	4
4. Die Atemgaskonzentrationen im Alveolarraum . . . . .	6
5. Die Diffusionskapazität der Lunge . . . . .	7
6. Ursachen alveolar-arterieller Gasdruckdifferenzen (Verteilungsgleichheiten, Rechts-Links-Kurzschlüsse, Diffusionsstörung) . . . . .	7
B. Der Transport der Atemgase im Blut . . . . .	8
1. Sauerstoff . . . . .	9
2. Kohlendioxid . . . . .	12
3. Beeinflussung des O <sub>2</sub> -Transportes durch Kohlendioxid . . . . .	14
4. Beeinflussung des CO <sub>2</sub> -Transportes durch Sauerstoff . . . . .	15
C. Die Pufferung des Blutes . . . . .	15
D. Der Kreislauf im Dienste des Gastransportes . . . . .	18
E. Die Anpassung der Ventilation an die Stoffwechselbedürfnisse (Atmungsregulation) . . . . .	18
II. Der Gastransport während der Schwangerschaft und die Gasaustauschfunktion der Placenta . . . . .	22
A. Die Lungenatmung der Schwangeren . . . . .	22
1. Die alveolare Ventilation . . . . .	22
2. Lungenvolumina und Ventilationsgrößen . . . . .	24
3. Dyspnoe der Schwangeren . . . . .	25
4. Diffusionskapazität . . . . .	26
B. Die Atemfunktion des Schwangerenblutes . . . . .	26
1. Sauerstoff . . . . .	26
2. Der Bohr-Effekt . . . . .	27
3. Kohlendioxid . . . . .	28
4. Pufferung . . . . .	28

C. Die Atmungsfunktion des fetalen Blutes . . . . .	29
1. Sauerstoffdruck . . . . .	29
2. Kohlendioxid . . . . .	29
3. Pufferung . . . . .	30
D. Der Vorgang des Gasaustausches in der Placenta . . .	30
1. Sauerstoffaustausch . . . . .	33
2. Kohlendioxidaustausch . . . . .	33
E. Placentadurchblutung . . . . .	36
1. Die Uterusdurchblutung . . . . .	36
2. Die Größe der fetalen Durchblutung . . . . .	38
3. Veränderungen der Austauschbedingungen in der Placenta im Verlauf der Schwangerschaft . . . . .	38
III. Der Gastransport und die Gasaustauschfunktion der Pla- centa während der Geburt . . . . .	41
A. Bei der Mutter . . . . .	41
1. Ventilation . . . . .	41
2. Die Stoffwechselsteigerung . . . . .	41
3. Die Pufferkapazität . . . . .	43
B. Die Atmungsfunktion des fetalen Blutes . . . . .	43
C. Veränderung der Uterusdurchblutung während der Wehen . . . . .	45
IV. Gasaustausch in der Neugeborenenzeit . . . . .	48
A. Morphologische Entwicklung der Lunge . . . . .	48
1. Entwicklung der Alveolareinheiten . . . . .	48
2. Entwicklung des Lungengefäßsystems . . . . .	50
3. Alveolare Stabilität . . . . .	50
B. Funktionelle Entwicklung der Lunge . . . . .	51
1. Atmungsbeginn . . . . .	51
2. Die Auslösung des ersten Atemzuges . . . . .	53
3. Lungenkapazitäten und Lungenvolumina . . . . .	54
4. Ventilation . . . . .	57
5. Sauerstoffverbrauch und Ventilationsäquivalent . . .	60
6. Atemmechanik . . . . .	60
7. Lungendurchblutung . . . . .	61
8. Verteilung von Ventilation und Perfusion . . . . .	64

Inhalt	IX
C. Atemgastransportfunktionen und Pufferung des Blutes . . .	64
1. Sauerstoff . . . . .	64
2. Kohlendioxid und Säuren-Basen-Gleichgewicht . . .	69
D. Diffusion . . . . .	72
E. Atmungsregulation . . . . .	72
1. Reaktion auf Hyperoxie . . . . .	73
2. Reaktion auf Hypoxie . . . . .	73
3. Reaktion auf Kohlendioxid . . . . .	74
V. Besonderheiten der Therapie perinataler Atemstörungen . .	80
A. Besonderheiten der Therapie der pränatalen Störungen des Gasaustausches . . . . .	80
1. Sauerstoff-Therapie . . . . .	80
2. Therapie mit Puffersubstanzen . . . . .	82
3. Prophylaktische und therapeutische Maßnahmen bei verringertes Uterusdurchblutung . . . . .	82
B. Besonderheiten der Therapie postnataler Atemstörungen	84
1. Sauerstoff-Therapie . . . . .	84
2. Therapie mit Puffersubstanzen . . . . .	85
3. Therapie der Atelektasen . . . . .	87
4. Therapie der Atemdepression . . . . .	87
Literatur . . . . .	89
Sachverzeichnis . . . . .	100

## Häufig gebrauchte Abkürzungen und Symbole

$AaDO_2$	= Alveolar-arterielle $O_2$ -Druckdifferenz
$AvDO_2$	= Arteriell-venöse $O_2$ -Konzentrationsdifferenz (oft auch nur AvD oder AVD genannt)
BE	= Basenüberschuß (base excess)
CDH-Effekt	= Christiansen-Douglas-Haldane-Effekt
$CCO_2$	= $CO_2$ -Konzentration (meist in ml/100 ml Blut oder Plasma)
2,3 DPG	= 2,3 Diphosphoglyzerat
ERV	= Expiratorisches Reservevolumen
FRC	= Funktionelle Residual-Kapazität
HbA	= Adultes Hämoglobin
HbF	= Fetales Hämoglobin
$HbO_2$	= Oxyhämoglobin
$FiCO_2$	= Inspiratorischer $CO_2$ -Anteil
$PiCO_2$	= Inspiratorischer $CO_2$ -Druck
IRV	= Inspiratorisches Residualvolumen
$PO_2$	= $O_2$ -Druck
$PCO_2$	= $CO_2$ -Druck
$P_{50}$	= $O_2$ -Halbsättigungsdruck des Hämoglobins
$PAO_2$	= Alveolarer $O_2$ -Druck
$PaO_2$	= Arterieller $O_2$ -Druck
$PACO_2$	= Alveolarer $CO_2$ -Druck
$PaCO_2$	= Arterieller $CO_2$ -Druck
Q	= Blutvolumen
$\dot{Q}$	= Blutvolumen/Zeiteinheit
$Q_{sh}$	= Shuntblutvolumen
RV	= Residualvolumen
$S_{O_2}$	= $O_2$ -Sättigung des Hämoglobins
SVC	= Schreibvorkapazität
TLC	= Totalkapazität der Lunge
$\dot{V}_A$	= Alveolare Ventilation
$\dot{V}_E$	= Expiratorisches Atemzeitvolumen
$V_D$	= Totraum
$\dot{V}_D$	= Totraumventilation
$\dot{V}_{O_2}$	= $O_2$ -Aufnahme (-Verbrauch) pro Zeiteinheit
$\dot{V}_{CO_2}$	= $CO_2$ -Abgabe (-Produktion) pro Zeiteinheit