

Beatmung von Kindern, Neugeborenen und Frühgeborenen

Ein Leitfaden für Pädiater, Neonatologen
und Anästhesisten

Herausgegeben von
Alexander Humberg
Egbert Herting
Wolfgang Göpel
Christoph Härtel

 Online-Version in der eRef



Beatmung von Kindern, Neugeborenen und Frühgeborenen

Ein Leitfaden für Pädiater, Neonatologen und Anästhesisten

Herausgegeben von
**Alexander Humberg, Egbert Herting, Wolfgang Göpel,
Christoph Härtel**

Unter Mitarbeit von
Philipp Deindl, Frank Eifinger, Benjamin Grolle, Nikolaus A. Haas,
Roland Hentschel, Alexander Humberg, Ulrich Kleideiter,
Thomas Nicolai, Carola Schön, Arne Simon, Dominique Singer,
Martin Volkers

74 Abbildungen

Georg Thieme Verlag
Stuttgart • New York

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Ihre Meinung ist uns wichtig! Bitte schreiben Sie uns unter

www.thieme.de/service/feedback.html



Wichtiger Hinweis: Wie jede Wissenschaft ist die Medizin ständigen Entwicklungen unterworfen. Forschung und klinische Erfahrung erweitern unsere Erkenntnisse, insbesondere was Behandlung und medikamentöse Therapie anbelangt. Soweit in diesem Werk eine Dosierung oder eine Applikation erwähnt wird, darf der Leser zwar darauf vertrauen, dass Autoren, Herausgeber und Verlag große Sorgfalt darauf verwandt haben, dass diese Angabe dem Wissensstand bei Fertigstellung des Werkes entspricht.

Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag jedoch keine Gewähr übernommen werden. **Jeder Benutzer ist angehalten**, durch sorgfältige Prüfung der Beipackzettel der verwendeten Präparate und gegebenenfalls nach Konsultation eines Spezialisten festzustellen, ob die dort gegebene Empfehlung für Dosierungen oder die Beachtung von Kontraindikationen gegenüber der Angabe in diesem Buch abweicht. Eine solche Prüfung ist besonders wichtig bei selten verwendeten Präparaten oder solchen, die neu auf den Markt gebracht worden sind. **Jede Dosierung oder Applikation erfolgt auf eigene Gefahr des Benutzers.** Autoren und Verlag appellieren an jeden Benutzer, ihm etwa auffallende Ungenauigkeiten dem Verlag mitzuteilen.

© 2017 Georg Thieme Verlag KG
Rüdigerstr. 14
70469 Stuttgart
Deutschland
www.thieme.de

Printed in Germany

Zeichnungen: Gay & Rothenburger, Sternenfels
Umschlaggestaltung: Thieme Verlagsgruppe
Umschlagfotos: © Daniel Dreyer, Lünen; © hywards – Fotolia.com
Redaktion: Dr. Doris Kliem, Urbach
Satz: L42 AG, Berlin
Druck: Westermann Druck Zwickau GmbH, Zwickau

Geschützte Warennamen (Warenzeichen ®) werden nicht immer besonders kenntlich gemacht. Aus dem Fehlen eines solchen Hinweises kann also nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt.

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen oder die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

DOI 10.1055/b-004-129744

ISBN 978-3-13-201521-0

1 2 3 4 5 6

Auch erhältlich als E-Book:
eISBN (PDF) 978-3-13-201531-9
eISBN (epub) 978-3-13-201541-8

Vorwort

Bei der Fülle an Werken zur Beatmung drängt sich die Frage nach der Sinnhaftigkeit einer weiteren Herausgabe eines Buches zu diesem Thema auf. Doch gibt es gute Argumente dafür, vielen Kolleginnen und Kollegen die Beatmungstherapie von Kindern zusammenfassend darzustellen. Die invasive und nicht-invasive Beatmung von Kindern kann nicht einfach aus den Parametern der Beatmung von Erwachsenen abgeleitet werden. Andere Verhältnisse von Anatomie und Physiologie, sich unterscheidende Verfahren in der technischen Umsetzung von Beatmung und zum Teil in der Erwachsenenmedizin nicht vorkommende Erkrankungen stellen Kinderärzte, Anästhesisten und Pflegepersonal einerseits vor ganz andere Herausforderungen aber auf der anderen Seite auch teilweise vor bessere Möglichkeiten.

Die Entwicklung der Beatmungsmedizin in den letzten Jahrzehnten ist geprägt von dem Rückzug der invasiven Beatmungsmethoden mit dem Ziel einer Vermeidung von Beatmung und dem damit einhergehenden Effekt, dass gerade bei jungen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern deutlich weniger Erfahrung und Wissen bezüglich der Wahl und Anwendung von Beatmungsverfahren besteht. Dennoch muss bei der Anwendung von Beatmung die bestmögliche Beatmungsform und -einstellung gewählt werden, um unsere kleinen Patienten nicht unnötig zu gefährden. Auch wenn verschiedene Bücher auf die Beatmung von Kindern eingehen, fehlen nicht selten die wichtigen Details, Tipps und Kniffe, die besondere Beatmungssituationen in der Pädiatrie und Neonatologie erfordern.

Das vorliegende Werk ist in 12 Kapitel zu den verschiedenen Themen der Beatmung bei Kindern gegliedert. Jedes einzelne Kapitel entstammt der Feder in dem jeweiligen Gebiet erfahrener Auto-

ren, die den Lesern die Besonderheiten der Beatmung im jeweiligen Fachgebiet erläutern. Dabei wird auf die Darstellung praktischer Inhalte Wert gelegt. Spezielle Möglichkeiten der Beatmungseinstellungen werden zu den einzelnen Problemstellungen erörtert.

Die einzelnen Kapitel sind durch das vierköpfige Herausgaberteam gesichtet, evaluiert und diskutiert worden. Es gilt zu beachten, dass die hier genannten Empfehlungen die behandelnden Personen nicht von der ethischen und juristischen Verpflichtung entheben, in jedem Fall individuell die bestmögliche Therapie für die Patienten zu wählen. Die Handlungsempfehlungen in diesem Buch müssen vom Anwender jeweils kritisch geprüft und hinterfragt werden.

Die Entwicklung eines solchen Buches ist ohne die Hilfe vieler Beteiligter nicht möglich. An erster Stelle möchten wir den Autoren für ihr großes Engagement an diesem Buch danken. Die Vermittlung ihres Wissens und ihrer Erfahrungen ermöglichen eine inhaltlich fundierte und wertvolle Darstellung der einzelnen Themenbereiche. Ein weiterer großer Dank gilt dem redaktionellen Team des Georg Thieme Verlags, insbesondere Frau Verena Geywitz, für die gute Unterstützung während der Entwicklung dieses Buches. Ein besonderer Dank gilt Daniel Dreyer für die fotografische Gestaltung des Titelbildes.

Trotz mehrfacher Durchsicht des Manuskriptes werden in dieser Auflage Fehler und Unstimmigkeiten enthalten sein. Wir möchten Sie bitten, als aufmerksame Leser diese uns oder dem Verlag mitzuteilen. Für Verbesserungsvorschläge jedweder Art sind wir sehr dankbar.

Die Herausgeber, Lübeck im Juli 2016

Abkürzungen

A/C	Assist/Control Ventilation	HFOV	Hochfrequenzoszillationsbeatmung
ACE	Angiotensin-converting Enzyme	HH	Heated Humidifier
AMV	Assisted Mechanical Ventilation	HME	Heat and Moisture Exchanger
APGAR-Score	Akronym für Atmung, Puls, Grundtonus, Aussehen und Reflexe	IFA	Inspiratory Flow Assistance
APRV	Airway Pressure Release Ventilation	IHS	Inspiratory Help System
APV	Adaptive Pressure Ventilation	IMV	Intermittent Mandatory Ventilation
ARDS	Acute Respiratory Distress Syndrome	INSURE-Prozedur	Intubation, Surfactant-Gabe, früher Extubation
ASB	Assisted Spontaneous Breathing	IPPB	Intermittent Positive Pressure Breathing
ASV	Adaptive Support Ventilation	IPPV	Intermittent Positive Pressure Ventilation
ATC	Automatic Tube Compensation	IPS	Inspiratory Pressure Support
BiLevel-ST	Druckunterstützte Beatmungsform, die sich auf 2 Druckniveaus (BiLevel) bewegt; „S“ steht für „synchronisiert“, „T“ für den „Time-Modus“	IRV	Inverse Ratio Ventilation
BIPAP	Biphasic Positive Airway Pressure	ITS-KISS	Krankenhausinfektions-Surveillance-System für Intensivstationen
BPD	Bronchopulmonale Dysplasie	i. v.	Intravenös
BURP-Manöver	Backward, Upward and Rightward Pressure-Manöver	KBE	Koloniebildende Einheiten
CDC	Centers for Disease Control and Prevention	KRINKO	Kommission für Krankenhaus-hygiene und Infektionsprävention
cGMP	Zyklisches Guanosinmonophosphat	LIAM	Lung Insufflation Assist Maneuver
CHFJV	Combined High Frequency Jet Ventilation	LISA	Less Invasive Surfactant Application
CMV	Continuous Mandatory Ventilation	LMA	Laryngeal Mask Airway
COPA	Cuffed Oropharyngeal Airway	MAP	Mittlerer Atemwegsdruck
COPD	Chronic Obstructive Pulmonary Disease	MIST	Minimally Invasive Surfactant Therapy
CPAP	Continuous Positive Airway Pressure	MMV	Mandatory Minute Volume
CSV-VA	Continuous Spontaneous Ventilation – Tidal Volume Assured	MRT	Magnetresonanztomografie
DGAI	Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie & Intensivmedizin	NAVA	Neurally Adjusted Ventilatory Assist
DOPEs-Algorithmus	Dislocation, Obstruction, Pneumothorax, Equipment, Stomach	nCPAP	Nasaler Continuous Positive Airway Pressure
DRG	System der Diagnosis Related Groups	NDMR	Nicht-depolarisierende Muskel-relaxanzien
DU	Druckunterstützung	NHFOV	Nasale Hochfrequenzoszillationsbeatmung, nicht-invasive Hochfrequenzoszillationsbeatmung
ECMO	extrakorporale Membranoxygenisierung	NIMV	Nasal Intermittent Mandatory Ventilation
EIT	Elektroimpedanztomografie, -gramm	N-IPPV	Nasale intermittierende druckpositive Beatmung; Nasal Intermittent Positive Pressure Ventilation
EKG	Elektrokardiografie, -gramm	p_aCO₂	Arterieller Kohlendioxidpartialdruck
EMG	Elektromyografie, -gramm	p_aO₂	Arterieller Sauerstoffpartialdruck
FA	Flow Assist	PAV	Proportional Assist Ventilation
FI₀₂	Inspiratorische Sauerstoffkonzentration	PC	Pressure Control
HFJV	Hochfrequenz-Jet-Ventilation	PC-AC	Pressure Control – Assist Control
HFNC	High-Flow-Nasenkanüle	PCF	Peak Cough Flow
		pCO₂	Kohlendioxidpartialdruck
		PCR	Polymerase Chain Reaction

PCV	Pressure Controlled Ventilation	SCMV	Synchronized Continuous Mandatory Ventilation
PEEP	Positiver Endexpiratorischer Druck	SIMV	Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation
p_{et}CO₂	Endtidaler Kohlendioxidpartialdruck	S-IPPV	Synchronized Intermittent Positive Pressure Ventilation
pH	Negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenaktivität	SPN	Spontaneous
pH₂O	Wasserdampfdruck	S_pO₂	Pulsoxymetrisch gemessene Sauerstoffsättigung
PIP	Peak Inflation Pressure	ssp.	Subspezies
PLV	Pressure Limited Ventilation	TCPLV	Time-Cycled, Pressure-Limited Ventilation
pO₂	Sauerstoffpartialdruck	TRC	Tube Resistance Compensation
PPS	Proportional Pressure Support Ventilation	VA	Volume Assist
PRVC	Pressure Regulated Volume Control	VAPS	Volume-Assured Pressure Support
PS	Pressure Support	VC	Volume Control
pS_aO₂	Partielle arterielle Sauerstoffsättigung	VC-AC	Volume Control – Assist Control
PSV	Pressure Support Ventilation	VG	Volumengarantie
RSB-Index	Rapid-Shallow-Breathing-Index, Frequenz-Volumen-Atem-Index	VS	Volume Support
RSV	Respiratory Syncytical Virus		
S_aO₂	Arterielle Sauerstoffsättigung		

Anschriften

Herausgeber

Prof. Dr. med. Wolfgang **Göpel**
Universitätsklinikum Schleswig-Holstein
Campus Lübeck
Klinik für Kinder- und Jugendmedizin
Ratzeburger Allee 160
23538 Lübeck

Prof. Dr. med. Christoph **Härtel**
Universitätsklinikum Schleswig-Holstein
Campus Lübeck
Klinik für Kinder- und Jugendmedizin
Ratzeburger Allee 160
23538 Lübeck

Prof. Dr. med. Egbert **Herting**
Universitätsklinikum Schleswig-Holstein
Campus Lübeck
Klinik für Kinder- und Jugendmedizin
Ratzeburger Allee 160
23538 Lübeck

Dr. med. Alexander **Humberg**
Universitätsklinikum Schleswig-Holstein
Campus Lübeck
Klinik für Kinder- und Jugendmedizin
Ratzeburger Allee 160
23538 Lübeck

Mitarbeiter

Dr. med. Philipp **Deindl**
Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf
Klinik und Poliklinik für Kinder- und Jugendmedizin
Sektion Neonatologie und
Pädiatrische Intensivmedizin
Martinistr. 52
20246 Hamburg

PD Dr. med. Frank **Eifinger**
Uniklinik Köln
Klinik für Kinder- und Jugendmedizin
Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin
Kerpener Str. 62
50937 Köln

Dr. med. Benjamin **Grolle**
Altonaer Kinderkrankenhaus gGmbH
Lufthafen
Bleickenallee 38
22763 Hamburg

Univ. Prof. Dr. Nikolaus A. **Haas**
LMU München
Campus Großhadern
Kinderkardiologie und Pädiatrische Intensivmedizin
Marchioninstr. 15
81377 München

Prof. Dr. med. Roland **Hentschel**
Universitätsklinikum Freiburg
Funktionsbereich Neonatologie/Intensivmedizin
Zentrum für Kinder- und Jugendmedizin
Mathildenstr. 1
79106 Freiburg

Dr. med. Alexander **Humberg**
Universitätsklinikum Schleswig-Holstein
Campus Lübeck
Klinik für Kinder- und Jugendmedizin
Ratzeburger Allee 160
23538 Lübeck

Dr. med. Ulrich **Kleideiter**
Christophorus-Kliniken GmbH
Klinik für Kinder- und Jugendmedizin
Südring 41
48653 Coesfeld

Prof. Dr. med. Thomas **Nicolai**
Dr. von Haunersches Kinderspital
Kinderklinik der LMU München
Abteilung für Kinder Intensivmedizin
Lindwurmstr. 4
80337 München

Dr. med. Carola **Schön**
Dr. von Haunersches Kinderspital
Kinderklinik der LMU München
Lindwurmstr. 4
80337 München

Prof. Dr. med. Arne **Simon**
Zentrum für Frauen, Kinder und Adoleszente
Universitätsklinikum des Saarlandes
Pädiatrische Onkologie und Hämatologie
Kirrberger Str. 1
66424 Homburg

Dr. Martin **Volkers**
Universitair Medisch Centrum Groningen
Anesthesiologie
Hanzeplein 1
9713 GZ Groningen
Niederlande

Prof. Dr. med. Dominique **Singer**
Universitätsklinikum Eppendorf
Zentrum für Geburtshilfe, Kinder- und
Jugendmedizin
Sektion Neonatologie und
Pädiatrische Intensivmedizin
Martinistr. 52
20246 Hamburg

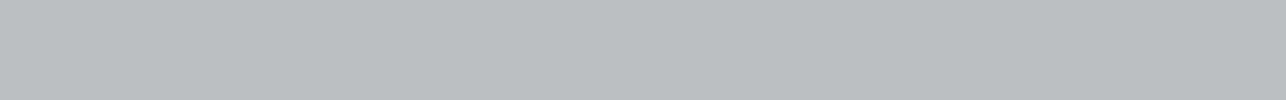
Inhaltsverzeichnis

1	Beatmung – Das Wichtigste auf einen Blick	16		
	<i>Alexander Humberg</i>			
1.1	Intubation	16	1.7	Kontraindikation einer Therapie mit inhalativem Stickstoffmonoxid
1.2	Maskenbeatmung	16		21
1.3	Maschinelle Beatmung	19	1.8	Therapie der beatmungsassoziierten Pneumonie bei Kindern ..
1.4	Hochfrequenzoszillationsbeatmung	20		21
1.5	Medikamente zur kontinuierlichen Analgosedierung	20	1.9	Beatmungsstrategien in unterschiedlichen hämodynamischen Situationen
1.6	Voraussetzungen für die Entwöhnung von Beatmung (Weaning)	21		21
			1.10	Beatmungsstrategien nach kardiochirurgischen Eingriffen bei angeborenen Herzfehlern ...
				23
			1.11	Literatur
				23
2	Anatomie der Atmungsorgane im Kindesalter	26		
	<i>Frank Eifinger</i>			
2.1	Entwicklung von Thorax und Respirationstrakt des Kindes ...	26	2.2	Morphologie des Respirationstrakts
				27
			2.3	Literatur
				31
3	Physiologie der Atmung im Kindesalter	34		
	<i>Dominique Singer</i>			
3.1	Zellatmung	34	3.4	Atemgastransport im Blut
				44
3.2	Lungenbelüftung	35	3.5	Regulation und Adaptation der Atmung
				50
3.3	Lungendurchblutung	41	3.6	Literatur
				55
4	Anfeuchtung und Anwärmung von Atemgasen	58		
	<i>Alexander Humberg</i>			
4.1	Physiologische Grundlagen	58	4.4	Atemgasbefeuchtung unter nicht-invasiver Beatmung
				62
4.2	Notwendigkeit	58	4.5	Probleme und Gefahren
				62
4.3	Methoden	58	4.6	Literatur
				63

5	Beatmungsassoziierte Pneumonie im Kindesalter – Prävention, Diagnostik und Therapie	66		
	<i>Arne Simon</i>			
5.1	Einleitung	66	5.5	Prävention der beatmungs- assoziierten Pneumonie und Tracheobronchitis.
5.2	Diagnostik der beatmungs- assoziierten Pneumonie und Tracheobronchitis bei pädiatrischen Patienten	66	5.6	Antibakterielle Therapie und Antibiotic Stewardship
5.3	Unabhängige Risikofaktoren für das Auftreten einer beatmungs- assoziierten Pneumonie	68	5.7	Surveillance
5.4	Erregerspektrum der beatmungs- assoziierten Pneumonie	69	5.8	Literatur
6	Monitoring der Beatmung	78		
	<i>Alexander Humberg</i>			
6.1	Klinische und technische Über- wachung der Beatmung	78	6.2	Maschinelle Überwachung der Beatmung
			6.3	Literatur
7	Invasive Beatmungsformen	94		
	<i>Alexander Humberg</i>			
7.1	Einleitung	94	7.5	Trigger
7.2	Volumenkontrollierte Beat- mungsformen	94	7.6	Hochfrequenzbeatmung
7.3	Druckkontrollierte Beatmungs- formen	98	7.7	Beatmung mit inhalativem Stickstoffmonoxid
7.4	Automatische Tubus- kompensation	104	7.8	Literatur
8	Beatmung von Frühgeborenen	112		
	<i>Roland Hentschel</i>			
8.1	Maschinelle Beatmung	112	8.3	Literatur
8.2	Nicht-invasive Beatmung	129		

9	Beatmung von Neugeborenen und Säuglingen	142		
	<i>Philipp Deindl</i>			
9.1	Beatmung von Neugeborenen während der Erstversorgung ...	142	9.5	Entwöhnung und Extubation bei Neugeborenen und Säuglingen .
9.2	Intubation von Neugeborenen und Säuglingen	146	9.6	Praktische Tipps für die Optimierung eines Beatmungskonzepts für Neugeborene und Säuglinge
9.3	Strategien zur Vermeidung der mechanischen Beatmung	147	9.7	Literatur
9.4	Einstellung des Beatmungsgeräts bei Neugeborenen und Säuglingen	148		
10	Beatmung von Klein- und Schulkindern sowie Adoleszenten	160		
	<i>Thomas Nicolai und Carola Schön</i>			
10.1	Vermeidung von Beatmung	160	10.3	Beatmung bei einzelnen Krankheitsbildern
10.2	Formen der respiratorischen Unterstützung	161	10.4	Medikamente zur Sedierung
			10.5	Literatur
11	Beatmung in der Anästhesie	172		
	<i>Martin Volkers</i>			
11.1	Einleitung	172	11.4	Zusammenfassung
11.2	Atemwegssicherung	172	11.5	Literatur
11.3	Besondere Beatmungsformen ..	186		
12	Beatmung in der Kardiologie	192		
	<i>Ulrich Kleideiter und Nikolaus A. Haas</i>			
12.1	Einleitung	192	12.4	Beatmung bei herzoperierten Kindern
12.2	Einfluss der maschinellen Beatmung	192	12.5	Literatur
12.3	Beatmung bei angeborenen Herzfehlern	197		

13	Langzeitbeatmung in der Pädiatrie	212		
	<i>Benjamin Grolle</i>			
13.1	Einleitung	212	13.8	Sekretmanagement
13.2	Krankheitsbilder mit Langzeit- beatmung	212	13.9	Indikationsstellung zur Langzeit- beatmung
13.3	Beatmungskonzepte	212	13.10	Weaning
13.4	Formen der Langzeitbeatmung .	215	13.11	Psychosoziale Situation
13.5	Beatmungsmasken	218	13.12	Ethik
13.6	Tracheostoma	220	13.13	Literatur
13.7	Beatmungsmodi	222		
	Sachverzeichnis			230



Kapitel 1

Beatmung – Das Wichtigste auf einen Blick

1.1	Intubation	16
1.2	Maskenbeatmung	16
1.3	Maschinelle Beatmung	19
1.4	Hochfrequenz- oszillationsbeatmung	20
1.5	Medikamente zur kontinuierlichen Analgesedierung	20
1.6	Voraussetzungen für die Entwöhnung von Beatmung (Weaning)	21
1.7	Kontraindikation einer Therapie mit inhalativem Stickstoffmonoxid	21
1.8	Therapie der beatmungsassoziierten Pneumonie bei Kindern	21
1.9	Beatmungsstrategien in unterschiedlichen hämodynamischen Situationen	21
1.10	Beatmungsstrategien nach kardiochirurgischen Eingriffen bei angeborenen Herzfehlern	23
1.11	Literatur	23

1 Beatmung – Das Wichtigste auf einen Blick

Alexander Humberg

1.1 Intubation

1.1.1 Vorbereitung der Intubation

► Abb. 1.1 zeigt eine Checkliste zur Vorbereitung einer Intubation.

1.1.2 Wahl der geeigneten Größe von Larynxmaske und Tubus

Die Wahl des Tubus orientiert sich eher am Alter, die der Larynxmaske eher am Gewicht des Patienten (► Tab. 1.1).

1.1.3 Faustregel für die Tubustiefe beim Neugeborenen

- *Oral*: 6 cm + kg Körpergewicht = Abstand der Tubusspitze zum Mundwinkel
- *nasal*: 7 cm + kg Körpergewicht = Abstand der Tubusspitze zum Naseneingang

Beispiel: Soll ein 3 kg schweres Neugeborenes nasal intubiert werden, sollte die Tubustiefe $7 + 3 = 10$ cm ab Naseneingang betragen.

M!

Merke

Faustregeln besitzen keine allgemeine Gültigkeit. Die Lagekontrolle erfolgt immer radiologisch.

1.1.4 Meistgebrauchte Medikamente zur Intubation

Die in ► Tab. 1.2 aufgeführten Medikamente werden am häufigsten intubationsbegleitend eingesetzt.

1.1.5 Schwierige Intubation

► Abb. 1.2 zeigt das Vorgehen bei einer schwierigen Intubation.

1.2 Maskenbeatmung

Vorgehen bei Problemen während der Maskenbeatmung von Neugeborenen:

- Thoraxexkursion prüfen
- Kopf in Schnüffelposition bringen
- Maskenleck und appliziertes Tidalvolumen überprüfen
- Maskengröße überprüfen
- Haltetechnik überprüfen
- Beatmungsdruck erhöhen
- Rachenventilation über einen nasal platzierten Tubus durchführen
- Kind bzw. seinen Kopf in Seitenlage bringen (dadurch Neutralstellung häufig besser zu erreichen)
- ggf. frühzeitig intubieren

Tab. 1.1 Orientierungswerte zur Wahl der geeigneten Größe von Larynxmaske und Tubus, die Wahl der geeigneten Larynxmaske orientiert sich eher am Gewicht des Patienten.

Alter	Tubus	Gewicht (kg)	Larynxmaske
Frühgeborene	2,0–3,0	<3,0	–
0–6 Monate	3,0–3,5	2,5–5,0	1,0
6–12 Monate	3,5–4,0	5,0–10,0	1,5
12–24 Monate	4,0–4,5	10,0–15,0	2,0
2–4 Jahre	4,5–5,5	15,0–20,0	2,0
4–6 Jahre	5,0–6,0	20,0–30,0	2,5
6–10 Jahre	6,0–7,0	30,0–50,0	3,0
10–16 Jahre	7,0–8,0	50,0–70,0	4,0

Checkliste Intubation

**Achtung: Es muss mindestens eine assistierende Person anwesend sein!
Bei Hinweisen auf schwierigen Atemweg vor Beginn der Intubation Hilfe holen!**

- Patient nüchtern?
Gegebenenfalls Magenreste über liegende Magensonde abziehen.

- Hinweis auf schwierigen Atemweg?
Gegebenenfalls Hilfe holen (pädiatrische Intensivmedizin, Anästhesie, HNO, Kinderchirurgie u.a.)

- Funktionierender Sauerstoffanschluss mit Beatmungsbeutel und Gesichtsmasken in verschiedenen Größen am Arbeitsplatz vorhanden?

- Funktionieren Absaugapparatur und -katheter?

- Laryngoskop mit passendem Spatel (Miller und Macintosh) und in verschiedenen Größen vorhanden?
Ersatzbatterien vorhanden?

- Tuben in der berechneten Größe und jeweils eine Größe größer und kleiner vorhanden?
Führungsstab vorhanden?

- Larynxmaske vorhanden?

- Material zur Fixierung des Tubus

- Für den Notfall muss geklärt werden, wer als Backup hinzugerufen werden kann

Monitoring: Alle benötigten Geräte und Hilfsmittel bereitgestellt?

- Stethoskop

- EKG

- Pulsoxymetrie – Monitoring mit sauerstoffsättigungsabhängigem Herzfrequenzton

- Blutdruck

- Kapnografie/Kapnometrie vorhanden?

- Bei Verwendung eines geblockten Tubus zusätzlich Messung des Cuffdrucks

- Beatmungsgerät geprüft und Einstellungen dem Kind angepasst?

- Medikamente zur Narkoseeinleitung (Analgetikum, Hypnotikum, Muskelrelaxans) in der richtigen Dosierung aufgezogen (auch Notfallmedikamente)?

- Sicherer venöser, im Notfall auch intraossärer, Zugang vorhanden

Abb. 1.1 Checkliste zur Intubation. EKG = Elektrokardiografie

Tab. 1.2 Meistgebrauchte Medikamente zur Intubation.

Medikamenten- gruppe	Präparat	Dosis	Vorteile	Nachteile
Anästhetika	Propofol	2,0–4,0 mg/kg Körpergewicht	<ul style="list-style-type: none"> • angenehmes Einschlafen • schnelles Aufwachen, kein Überhang 	<ul style="list-style-type: none"> • Kreislaufdepression • Injektionsschmerz
	Etomidat	0,2–0,4 mg/kg Körpergewicht	relative Kreislaufstabilität	<ul style="list-style-type: none"> • Myoklonien • Nebennierenrindensuppression
	Thiopental	2,0–5,0 mg/kg Körpergewicht	sehr schneller Wirkungseintritt	<ul style="list-style-type: none"> • starke Kreislaufdepression • Bronchospasmus • Histaminfreisetzung • Gewebenekrose bei paravasaler Injektion
		Säuglinge bis 8 mg/kg Körpergewicht	zugelassen für Neugeborene	
	S-Ketamin	1,0–2,0 mg/kg Körpergewicht	<ul style="list-style-type: none"> • analgetisch wirksam • bronchodilatatorisch 	<ul style="list-style-type: none"> • psychotrope Effekte • Hypersalivation
Analgetika	Fentanyl	1,0–4,0 µg/kg Körpergewicht	schneller Wirkungseintritt	mögliche Thoraxrigidität
	Sufentanil	0,5–2,0 µg/kg Körpergewicht	schneller Wirkungseintritt	mögliche Thoraxrigidität
	Remifentanyl	0,1–0,3 µg/kg Körpergewicht/ min	sehr kurze Wirkdauer	<ul style="list-style-type: none"> • Injektion über Infusionspumpe • Thoraxrigidität bei Bolusgabe
Muskelrelaxanzien	Succinylcholine	1,0–1,5 mg/kg Körpergewicht	<ul style="list-style-type: none"> • schneller Wirkungseintritt • kurze Wirkdauer 	<ul style="list-style-type: none"> • Bradykardie • Hyperkaliämie • maligne Hyperthermie
	Rocuronium	0,6–1,2 mg/kg Körpergewicht	<ul style="list-style-type: none"> • schneller Wirkungseintritt • vollständig antagonisierbar 	<ul style="list-style-type: none"> • Histaminfreisetzung • Injektionsschmerz
	Mivacurium	0,2–0,3 mg/kg Körpergewicht	kurze Wirkdauer	<ul style="list-style-type: none"> • Histaminfreisetzung • lang wirksam bei Pseudocholinesterasemangel
Antagonisten	Neostigmin	50 µg/kg Körpergewicht	wirkt bei allen NDMR	<ul style="list-style-type: none"> • cholinerge Nebenwirkungen • in Kombination mit Atropin zu verwenden
	Sugammadex	2,0–16,0 mg/kg Körpergewicht	schnelle Aufhebung auch vollständiger neuromuskulärer Blockaden	<ul style="list-style-type: none"> • spezifisch für Rocuronium und mit Einschränkungen Vecuronium • Off-Label-Einsatz unter 2 Jahren
	Naloxon	10 µg/kg Körpergewicht	-	kürzere Wirkdauer als die meisten Opiate

NDMR = nicht depolarisierende Muskelrelaxanzien

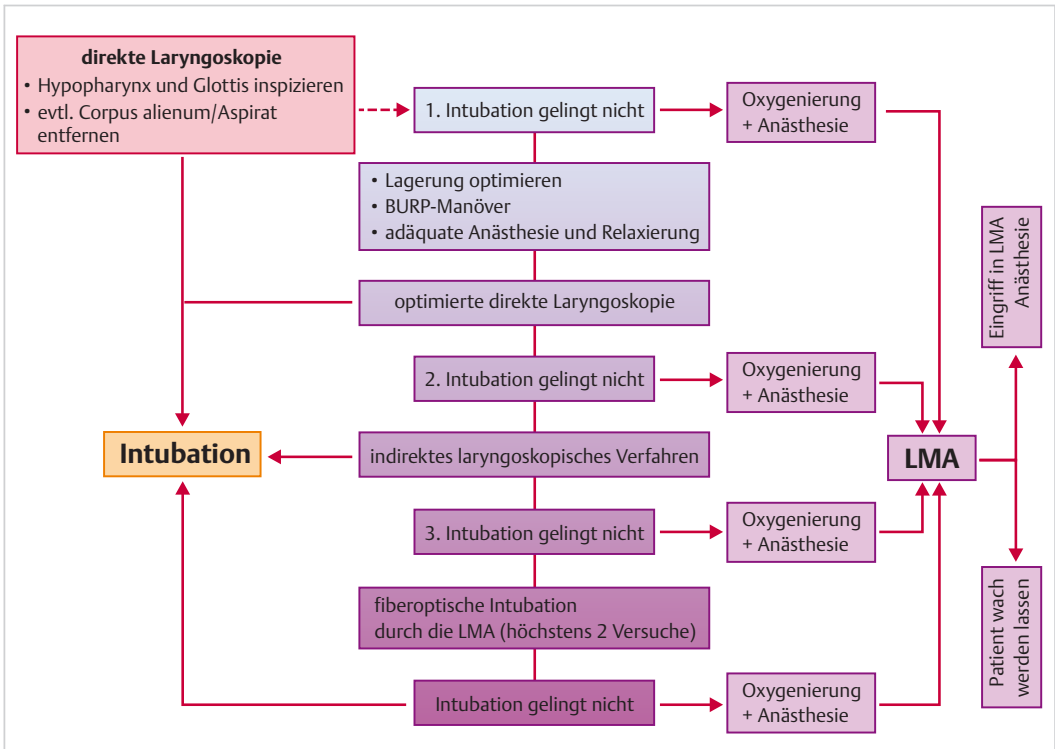


Abb. 1.2 Algorithmus zur schwierigen Intubation. BURP = Backward, upward and rightward Pressure-Manöver; LMA = Laryngeal Mask Airway

1.3 Maschinelle Beatmung

1.3.1 Vorgehen bei akuter Zustandsverschlechterung eines Patienten am Beatmungsgerät

DOPEs-Algorithmus (Akronym für Dislocation, Obstruction, Pneumothorax, Equipment, Stomach). Die folgenden Punkte stellen keine verpflichtende Reihenfolge dar, sondern sollen eine Checkliste zur Überprüfung geben:

1. *Patient vom Beatmungsgerät trennen und mit Beutel über den Tubus beatmen.* Ziel: Ausschluss eines Gerätefehlers, Gefühl für den Atemwegs-widerstand, Zeitgewinn.
2. *Auskultieren.* Ziel: seitengleiche Belüftung, Seitendifferenz erkennen, überprüfen, ob ein Tidalvolumen erreicht wird.
3. *Tubusmarkierung kontrollieren.* Ziel: Tubusdislokation oder -knick erkennen.
4. *Atemwege absaugen.* Ziel: Obstruktion erkennen durch Widerstand oder Stopp beim Vorschieben des Absaugkatheters, Behebung der Obstruktion durch Sekretmobilisation.
5. *Kohlendioxidssensor konnektieren* (z. B. kolorimetrisches Einmalprodukt). Wenn kein Farbumschlag, dann Schritt 6.
6. *Direkte Laryngoskopie durchführen.* Ziel: Verifikation der Tubuslokalisation unter Sicht.
7. *Diaphanoskopie mit starker punktförmiger Lichtquelle in verdunkeltem Raum durchführen.* Ziel: Detektion eines Pneumothorax, ggf. Notfallentlastung eines Pneumothorax.
8. *Geräte überprüfen.* Ziel: Überprüfen, ob Schläuche intakt, Undichtigkeiten im Befeuchtersystem vorhanden, Membranen intakt, Ventile korrekt montiert, Kondenswasser vorhanden, Flow-Sensor feucht.
9. *Magen absaugen.* Ziel: Erleichterung der Beatmung durch Verringerung des intraabdominellen Druckes.
10. *Gegebenenfalls Echokardiografie durchführen.* Ziel: Auf Vorliegen eines Perikardergusses überprüfen.
11. *Extubieren.* Als ultima ratio bei Verdacht auf eine Tubusobstruktion, die sich nicht beheben lässt, muss der Patient extubiert und mit Maske und Beutel bzw. über ein T-Stück beatmet werden.

1.3.2 Mögliche initiale Start-einstellungen zur maschinellen Beatmung von Früh- und Neugeborenen sowie Säuglingen

- **PEEP (positiv-endexpiratorischer Druck):** 6 cmH₂O (0,6 kPa)
- **Inspirationszeit:** 0,20–0,50 s (bei Säuglingen: 0,50–0,65 s)
- **Tidalvolumen:** Ziel: 4–7 ml/kg Körpergewicht
- **Minutenvolumen:** 200–300 ml/kg KG/min
- **Atemfrequenz:** 60/min (auf Kohlendioxidpartialdruck pCO₂ achten)

1.4 Hochfrequenzoszillations-beatmung

1.4.1 Mögliche Indikationen

- Es kommt zum Versagen der konventionellen Beatmung mit maximalen Beatmungsdrücken von 25(–30) cmH₂O (2,5[–2,9] kPa) und zu Schwierigkeiten bei der Einhaltung einer ausreichenden Oxygenierung und Dekarboxylierung; Richtwerte einer adäquaten Oxygenierung und Dekarboxylierung:
 - arterieller Sauerstoffpartialdruck p_aO₂ > 50 mmHg (6,7 kPa),
 - arterielle Sauerstoffsättigung S_aO₂ > 90 % und
 - Kohlendioxidpartialdruck pCO₂ < 55–65 mmHg (7,3–8,7 kPa).
- Der Oxygenierungsindex ($[\text{inspiratorische Sauerstoffkonzentration } \text{FiO}_2 \cdot \text{mittlerer Atemwegsdruck MAP} \cdot 100] / \text{p}_a\text{O}_2$) ist größer als 13, nachgewiesen durch 2 oder mehr Blutgasanalysen über 4–6 h.

1.4.2 Steuerung

- Steuerung der Oxygenierung über den MAP und die FiO₂
- Verbesserung der Oxygenierung durch Erhöhung des MAP und Erhöhung der FiO₂

1.4.3 Vorgehen bei Hyperkapnie

- Amplitude erhöhen
- Frequenz erniedrigen
- MAP erhöhen
- ggf. obstruierende Sekrete entfernen

1.4.4 Vorgehen bei Hypokapnie

- Amplitude erniedrigen
- Frequenz erhöhen
- MAP reduzieren

1.4.5 Vorgehen bei Überblähung

- Frequenz reduzieren
- MAP reduzieren

1.4.6 Vorgehen zur Verbesserung der Oxygenierung

- MAP erhöhen
- versuchsweise Amplitude erhöhen

1.5 Medikamente zur kontinuierlichen Analgosedierung

► Tab. 1.3 listet einige Medikamente auf, die zur kontinuierlichen Analgosedierung eingesetzt werden können.

Tab. 1.3 Medikamente zur kontinuierlichen Analgosedierung.

Medikamente	Dosierung Dauerinfusion	Dosierung Bolusgaben
Midazolam	0,10–0,30 mg/kg/h) i. v.	0,05–0,10 mg/kg i. v.
Fentanyl	1,0–5,0 µg/kg/h i. v.	0,5–1,0 µg/kg i. v.
Piritramid	0,03–0,10 mg/kg/h i. v.	0,05–0,10 mg/kg i. v.
Ketamin	0,5–3,0 mg/kg/h i. v.	0,5–1,0 mg/kg i. v.
Dexmedetomidin ¹⁾	0,2–2,0 µg/kg/h	0,5–1,0 µg/kg i. v.
Clonidin	0,5–1,0(–3,0) µg/kg/h	-
Levomepromazin ¹⁾	1,0–4,0 mg/kg/Tag)	-

i. v. = intravenös

1) Cave: Off-Label-Gebrauch; Einverständnis der Eltern vorausgesetzt

1.6 Voraussetzungen für die Entwöhnung von Beatmung (Weaning)

- **Neurologie:** ausreichende Wachheit, Vermeidung von Übersiedierung
- **Kreislauf:** ausreichende Herzfunktion für eine effektive Lungendurchblutung und zur Unterstützung von Spontanatmung
- **Kalorienzufuhr:** ausreichende Kalorienzufuhr erforderlich aufgrund der zusätzlichen Atemarbeit bei Spontanatmung
- **Flüssigkeitsbilanz:** Vermeidung einer Flüssigkeitsüberladung

1.7 Kontraindikation einer Therapie mit inhalativem Stickstoffmonoxid

- Inhalatives Stickstoffmonoxid sollte bei Kindern mit kongenitalem Herzfehler und Abhängigkeit von einem Rechts-links-Shunt nicht verabreicht werden.
- Bei Patienten mit linksventrikulärer Herzinsuffizienz besteht die Gefahr eines pulmonalen Ödems durch Verabreichung inhalativen Stickstoffmonoxids.

Merke

Zum Ausschluss dieser Erkrankungen sollte vor Anwendung einer Therapie mit inhalativem Stickstoffmonoxid eine Echokardiografie durchgeführt werden.



1.8 Therapie der beatmungsassoziierten Pneumonie bei Kindern

Die in ▶ Tab. 1.4 orientierend vorgeschlagenen Antiinfektiva müssen an die lokale Erreger- und Resistenzsituation angepasst werden („Listen to your hospital.“). Wichtig sind auch die Vorbehandlung und weitere Risikofaktoren auf Seiten der Patienten („Listen to the patient.“).

Das Aminoglykosid sollte nach 72 h abgesetzt werden, wenn die Ergebnisse der Erregerdiagnostik und der Resistenztestung vorliegen. Prinzipiell besteht bei Patienten, die mit multiresistenten Erregern kolonisiert sind, das Risiko einer Überthe-

Tab. 1.4 Therapie der beatmungsassoziierten Pneumonie bei Kindern.

Indikation	Empirische Antibiotika der ersten Wahl
beatmungsassoziierte Pneumonie bei einem nicht immunsupprimierten Kind	Ampicillin-Sulbactam + Gentamicin bei Verdacht auf Aspirationspneumonie; Clindamycin statt Gentamicin bei Verdacht auf Staphylococcus aureus-Infektion; Rifampicin oder Fosfomycin statt Gentamicin
beatmungsassoziierte Pneumonie bei einem immunsupprimierten Kind	Piperacillin-Tazobactam + Tobramycin (zusätzlich liposomales Amphotericin B oder Caspofungin erwägen)
beatmungsassoziierte Pneumonie bei Kolonisation mit gramnegativen multiresistenten Keimen	Meropenem
beatmungsassoziierte Pneumonie bei Kolonisation mit multiresistentem Staphylococcus aureus	Linezolid (nie als Monotherapie, Kombination mit Ampicillin-Sulbactam oder Piperacillin-Tazobactam)
beatmungsassoziierte Pneumonie bei Nachweis von Candida im Trachealsekret	der Nachweis von Candida ssp. im Trachealsekret weist in den meisten Fällen lediglich eine Kolonisation nach; eine gegen Candida ssp. gerichtete Therapie ist nur erforderlich bei immunsupprimierten Patienten (s. Text) oder bei histologischem Nachweis einer invasiven Candida-Infektion (z. B. Tracheitis)

ssp. = Subspezies

rapie (z. B. Meropenem oder Linezolid). Dies sollte allerdings bei kritisch kranken Kindern am ehesten im Sinne einer Deeskalationsstrategie bei günstigem Verlauf gehandhabt werden. Zu klären ist: Liegt überhaupt eine beatmungsassoziierte Pneumonie vor? Wie wahrscheinlich ist, dass die beatmungsassoziierte Pneumonie durch multiresistente Erreger verursacht wird?

1.9 Beatmungsstrategien in unterschiedlichen hämodynamischen Situationen

In ▶ Tab. 1.5 ist eine Übersicht der Vorgehensweise hinsichtlich der Beatmung in verschiedenen hämodynamischen Szenarien wiedergegeben.

Tab. 1.5 Übersicht über die Beatmungsstrategien in unterschiedlichen hämodynamischen Situationen.

Kardialer Status	Hämodynamische Situation	Beatmungsstrategien
pulmonale Überflutung (großer Links-rechts-Shunt: Ventrikelseptumdefekt, atrioventrikulärer Septumdefekt, Vorhofseptumdefekt, persistierender Ductus arteriosus, aortopulmonales Fenster)	pulmonale Überflutung	pulmonalen Blutfluss begrenzen: <ul style="list-style-type: none"> • Hyperventilation und Sauerstoffgabe vermeiden • pS_aO_2 von ca. 90–95 % ausreichend • milde respiratorische Azidose anstreben • hoher PEEP
duktusabhängige Systemperfusion	Gefahr der systemischen Minderperfusion	Balance erzielen zwischen Blutfluss im System- und im Lungenkreislauf: <ul style="list-style-type: none"> • pS_aO_2 zwischen 75 und 85 % anstreben • pulmonale Überflutung vermeiden: • milde respiratorische Azidose anstreben • Sauerstoff restriktiv anwenden
duktusabhängige Lungenperfusion	Gefahr der pulmonalen Minderperfusion	Balance erzielen zwischen Blutfluss im System- und im Lungenkreislauf: <ul style="list-style-type: none"> • pS_aO_2 zwischen 75 und 85 % anstreben • ggf. pulmonalen Widerstand senken: • milde Hyperventilation • milde Alkalose • eher großzügige Anwendung von Sauerstoff • ggf. Beatmung mit Stickstoffmonoxid
Herzfehler mit kompletter kardialer Blutmischung	Mischzyanose	Balance erzielen zwischen Blutfluss im System- und im Lungenkreislauf: <ul style="list-style-type: none"> • pS_aO_2 zwischen 75 und 85 % anstreben
Herzfehler mit parallel geschalteten Kreisläufen (Transposition der großen Gefäße)	Zyanose mit intrakardialer Beimischung von oxygeniertem Blut	mögliche Verschlechterung der Mischung zwischen beiden Kreisläufen durch Erhöhung des intrathorakalen Druckes, kritische Anwendung von Sauerstoff (Provokation des Duktusverschlusses durch Sauerstoff versus verbesserte Mischung durch Abfall des Lungenwiderstands)
linksventrikuläre Dysfunktion	Low cardiac Output, Lungenödem	Senkung des myokardialen Sauerstoffverbrauchs, Reduktion der Atemarbeit, Senkung der linksventrikulären Vor- und Nachlast: <ul style="list-style-type: none"> • frühzeitige maschinelle Beatmung • hoher PEEP
Shunt-abhängige Lungenperfusion	Mischzyanose, Gefahr der pulmonalen Überflutung und der systemischen Minderperfusion	Balance erzielen zwischen Blutfluss im System- und im Lungenkreislauf: <ul style="list-style-type: none"> • pS_aO_2 zwischen 75 und 85 % anstreben • Hyperventilation und Sauerstoffgabe restriktiv
obere kavopulmonale Anastomose (Glenn-Zirkulation)	Mischzyanose, Beatmung ohne Einfluss auf die Zirkulation	Balance erzielen zwischen Blutfluss im System- und im Lungenkreislauf: <ul style="list-style-type: none"> • prophylaktische Gabe von Sauerstoff • milder PEEP (3–5 cmH₂O [0,3–0,5 kPa]) • niedrige Atemfrequenz
totale kavopulmonale Anastomose (Fontan-Zirkulation)	lungenabhängige Systemzirkulation	Balance erzielen zwischen Blutfluss im System- und im Lungenkreislauf: <ul style="list-style-type: none"> • prophylaktische Gabe von Sauerstoff • Hyperventilation • milder PEEP (3–5 cmH₂O [0,3–0,5 kPa]) • niedrige Atemfrequenz
Eisenmenger-Reaktion, Restdefekte, dysplastische Lungengefäße	pulmonale Hypertension	Balance erzielen zwischen Blutfluss im System- und im Lungenkreislauf: <ul style="list-style-type: none"> • prophylaktische Gabe von Sauerstoff • Hyperventilation, Alkalisierung • Vermeiden von Hypotension • PEEP ca. 5 cmH₂O (0,5 kPa)

PEEP = positiv-endexpiratorischer Druck
 pS_aO_2 = partielle arterielle Sauerstoffsättigung

Tab. 1.6 Typische Beatmungsprobleme nach kardiochirurgischen Eingriffen bei angeborenen Herzfehlern.

Herzfehler bzw. kardiale Situation	Häufige pulmonale bzw. kardiale Probleme	Beatmungsstrategien
kardiopulmonaler Bypass	reversible Endothelschädigung und Inflammation mit gesteigerter Gefäßpermeabilität (Lungenödem, verminderte Lungen-Compliance usw.), reversible myokardiale Funktionsstörung	adäquate Tidalvolumina anstreben, volumenkontrollierte Beatmung: relativ hoher inspiratorischer Druck und hoher PEEP erforderlich, Reduktion der linksventrikulären Vor- und Nachlast: hoher PEEP
Transposition der großen Gefäße	lange Aortenklemmzeit Kapillarleck, periphere Ödeme, Lungenödem myokardiale Dysfunktion	auf gute Diurese achten, Ödemreduktion PEEP; recht hoher PIP und relativ lange Inspirationszeit wählen
großer Ventrikelseptumdefekt, atrioventrikulärer Septumdefekt, aortopulmonales Fenster	pulmonalarterielle Widerstandskrisen	Sedierung, ggf. Relaxierung, p_aO_2 ca. 100 mmHg, p_aCO_2 ca. 30–35 mmHg, $pH > 7,45$ während der Krise: • Hyperventilation • Sauerstoffgabe • Sedierung
obere kavopulmonale Anastomose	Neigung zu Ödemen der oberen Körperhälfte	Oberkörperhochlagerung ggf. Hyperkapnie + alkalisieren möglichst frühzeitige Extubation Vermeidung von Belüftungsstörungen möglichst niedrige Beatmungsdrücke Vermeidung eines Lungenödems (auf Diurese achten)
totale kavopulmonale Anastomose (Fontan-Operation)	passive Lungendurchblutung	frühzeitige Extubation möglichst niedrige Beatmungsmitteldrücke anstreben: • kurze Inspirationszeit • geringer inspiratorischer Druck • niedriger PEEP • niedrige Atemfrequenz
pulmonale Hypertonie	hoher Lungengefäßwiderstand	Senkung des Lungengefäßwiderstands: • milde Hyperventilation • milde Alkalose • eher großzügige Anwendung von Sauerstoff • Vermeidung von Atelektasen (PEEP) • ggf. Beatmung mit Stickstoffmonoxid • ggf. HFOV (insbesondere bei Neugeborenen)

HFOV = Hochfrequenzoszillationsbeatmung

 p_aCO_2 = arterieller Kohlendioxidpartialdruck p_aO_2 = arterieller Sauerstoffpartialdruck

PEEP = positiv-endexpiratorischer Druck

 pH = negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenaktivität

PIP = Peak Inflation Pressure

1.10 Beatmungsstrategien nach kardiochirurgischen Eingriffen bei angeborenen Herzfehlern

► Tab. 1.6 schildert Beatmungsstrategien in unterschiedlichen kardialen Situationen.

1.11 Literatur

Weiss M, Schmidt J, Eich C et al. Handlungsempfehlungen zur Prävention und Behandlung des unerwartet schwierigen Atemweges in der Kinderanästhesie. Anästhesiol Intensivmed 2011; 52: S54–S63