

Grundlagen der Kinderanästhesie

Zusammenfassung

Das Risiko ist bei Kindernarkosen deutlich höher als bei der Anästhesie von Erwachsenen. Um im klinischen Alltag die richtigen Entscheidungen treffen zu können, muss das entsprechende Wissen über Atemweg, Kreislauf und Infusionstherapie vorhanden sein. Kleine Kinder haben einen relativ aktiven Metabolismus mit hohem Sauerstoffverbrauch. Die Apnoetoleranz ist gering und schwere Sättigungsabfälle lassen sich in der Einleitungsphase nur vermeiden, wenn ein Kind beatmet wird. Die modifizierte Blitzeinleitung (rapid sequence induction; RSI) ist fest etabliert. Zur Atemwegssicherung werden heute jenseits des Neugeborenenalters Tuben mit Cuff bevorzugt; unter den Larynxmasken sind Modelle mit L-Form von Vorteil. Es ist besonders auf Blutdruck und Perfusion zu achten, weil Hypotonien schwerwiegende Folgen haben können. Auch Kinder benötigen ggf. vasoaktive Substanzen. Die Normwerte für den Blutdruck sind altersabhängig. Vor allem bei Säuglingen und chronisch kranken Kindern ist die Zahl einfach zu punktierender Venen (das „Kapital an Venen“) oft gering; eine Anästhesie ohne Venenzugang darf jedoch nur als Ultima Ratio gewagt werden. Die Hyponatriämie ist eine latente Gefahr, so dass nur Lösungen mit physiologischem Natrium-Gehalt infundiert werden sollen. Insgesamt kann im Alltag noch viel verbessert werden. Die „gute Narkose“ mit Perfektion im Detail und Erhaltung

Principles and practice of paediatric anaesthesia

M. Jöhr

der Homöostase steht im Zentrum; Unterschiede zwischen Medikamenten oder Verfahren oder gar die Frage der Neurotoxizität verlieren demgegenüber an Bedeutung.

Summary

The anaesthetic risk is markedly higher for children than for adult surgical patients. For making correct decisions in daily clinical work, it is therefore imperative to possess basic knowledge of airway management, cardiovascular system and fluid therapy. Young children have a relatively active metabolism with high oxygen consumption. Apnoea tolerance is very limited. Desaturation can only be avoided by ventilating the child. The modified approach of rapid sequence induction is becoming generally accepted. Beyond neonatal age, cuffed tubes are widely used. When using a laryngeal mask airway, an L-shape is advantageous. Special attention should also be given to blood pressure and perfusion because hypotension may have serious consequences. If necessary, vasoactive drugs are indicated in paediatric patients as well. The normal values for blood pressure are age-dependent. The number of veins which can be easily punctured is often very limited, especially in infants and chronically ill children, but anaesthesia without venous access must remain an ultima ratio. Hyponatraemia is a latent threat, so that only solutions with a physiologic sodium concentration should be used. Altogether, daily

Zertifizierte Fortbildung

CME online

BDA- und DGAI-Mitglieder müssen sich mit ihren Zugangsdaten aus dem geschlossenen Bereich der BDA- und DGAI-Webseite unter der Domain www.cme-anesthesiologie.de anmelden, um auf das Kursangebot zugreifen zu können.

Der Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt vorliegt.

Schlüsselwörter

Kinderanästhesie – Atemweg – Kreislauf – Komplikationen – Homöostase

Keywords

Paediatric Anaesthesia – Airway – Circulation – Complications – Homeostasis

paediatric anaesthesia practice can be markedly improved. A „good anaesthesia“ with perfection in every detail and maintained homeostasis is in the focus of interest; differences between compounds or techniques as well as the theoretical question of neurotoxicity are of minor importance.

Allgemeine Aspekte

Die Bedenken des Anästhesisten

Die Narkose von kleinen Kindern ist für viele Anästhesisten eine besondere Belastung; sie sind mit den kleinen Dimensionen nicht vertraut und die manuellen Grundlagen des Fachs – wie Venenzugang und Intubation – erweisen sich plötzlich als schwierig. Die Tatsache, dass die Patienten eben Kinder sind, mit Ängsten und oft mangelnder Kooperation, bewirkt noch zusätzlichen Stress. Anästhesisten, die nicht regelmäßig Kinder betreuen oder in Kinderkliniken arbeiten, sind zudem oft mit Fragen und Problemen konfrontiert, die sie noch nie oder zumindest in dieser Altersklasse noch nie gelöst haben, und Unbekanntes macht Angst.

Bekanntes macht weniger Angst, und Erfahrung ist hilfreich – aber auch die rechtzeitige gedankliche Auseinandersetzung mit einem Problem kann helfen.

Das Risiko für das Kind

Das Risiko von Kindernarkosen ist deutlich höher als das der Erwachsenenarkose, obwohl es sich meist um gesunde Kinder ohne Komorbidität handelt.

Komplikationen wie Kreislaufstillstand [1,2] und Atemwegsprobleme sind häufiger; es wird vermutet, dass anästhesiebedingte Todesfälle bei Kindern rund 10 x häufiger vorkommen als bei Erwachsenen [3]. Offensichtliche Endpunkte wie ein Kreislaufstillstand mit Todesfolge sind vermutlich nur die Spitze des Eisbergs – und immer noch und nur zu oft werden

schwere Störungen der Homöostase mit unwägbaren Folgen toleriert.

Im Alltag der Kindernarkosen kann noch viel verbessert werden – und im Rahmen der sog. SAFETOTS-Initiative (SAFE ANESTHESIA FOR EVERY TOT) wird auf die Notwendigkeit der **Perfektion im Detail** und die **Erhaltung der Homöostase** hinwiesen [4]. Die „gute Narkose“ steht im Zentrum des Interesses, und Unterschiede zwischen Medikamenten oder Verfahren oder gar die Frage der Neurotoxizität verlieren an Wichtigkeit.

Allgemeines Ziel der Kindernarkose ist eine „gute Narkose“ mit erhaltener Homöostase.

Strukturelle Veränderungen mit der Verlegung ganz kleiner Kinder an Zentren und der Versorgung durch speziell erfahrene Ärzte mit dem Ziel einer hohen institutionellen und individuellen Kompetenz sind Gegenstand der fach- und gesellschaftspolitischen Diskussion – jeder Anästhesist sollte aber in der Lage sein, ein größeres Kind für einen üblichen Eingriff überlegt und sicher zu anästhesieren und Notfälle zumindest überbrückend zu versorgen.

Der kindliche Körper

Grundsätzliches

Säuglinge haben andere Proportionen als Erwachsene; relativ gesehen haben sie einen großen Kopf, ein großes Abdomen, einen kleinen Thorax und kleine Extremitäten. Dies hat nicht nur bei der Beurteilung von Verbrennungen, sondern auch darüber hinaus klinische Implikationen:

- Der große schwere Kopf ist in Rückenlage instabil; hier ist ein Kopfring hilfreich (Abb. 1). Durch den großen Kopf ist „das Intubationskissen eingebaut“, und es ist eher eine Schulter- bzw. Nackenrolle nötig.
- Vor allem über den großen Kopf sind bedeutende Wärmeverluste möglich.
- Blutverluste werden bei Kindern latent unterschätzt. Ein isoliertes Schädelhirntrauma kann – im Gegensatz zum Erwachsenen – durch Blutung in die Galea aponeurotica oder nach intrakraniell zu einem hypovolämischen Schock führen.

Größe, Gewicht und Alter

Der Anästhesist soll abschätzen können, ob ein Kind in Größe und Körpergewicht (KG) seinem Alter entspricht:

Abbildung 1



Ein Kopfring stabilisiert den Kopf und erleichtert die Narkoseeinleitung bei Kindern. Die Schultern sind mit einer Tuchrolle unterlegt (hier nicht sichtbar).

- Das Körpergewicht wird mit 5 Monaten verdoppelt,
- mit 1 Jahr verdreifacht,
- mit zwei Jahren vervierfacht.

Wenn immer möglich, soll das aktuell gemessene Körpergewicht der Therapie zugrunde liegen.

Formeln zur Abschätzung des Körpergewichts (Tab. 1) können aber sowohl in Notfallsituationen als auch bei der mentalen Vorbereitung auf eine Anästhesie hilfreich sein – dies zumal, wenn man den Patienten noch nicht gesehen hat, z.B. bei der Meldung „der Notarzt bringt ein neunmonatiges Kind“.

Tabelle 1

Formeln zur Schätzung des Körpergewichts (KG).

Alter	Formel
Säuglinge	$KG = (\text{Alter in Monaten} + 9) : 2$
Kinder	$KG = (\text{Alter in Jahren} + 4) \times 2$

Für die **Altersbestimmung** in Notfallsituationen können äußere Hinweise hilfreich sein (Tab. 2).

Der Anästhesist soll darüber hinaus zumindest abschätzen können, ob das Kind altersgerecht entwickelt ist: Lächeln mit 6 Wochen, Kopfheben mit 2 Monaten, Verfolgen mit den Augen mit 3 Monaten, Sitzen mit 6 Monaten, Stehen mit 9 Monaten und Gehen mit 12 Monaten. Er soll die Sprachentwicklung beachten, nach der Ernährung (gestillt, Flaschenmilch, vom Tisch) sowie nach der evtl. Einschulung fragen.

Tabelle 2

Hinweise zur Altersbestimmung und zur Tubuswahl in Notfallsituationen.

Befund	Vermutliches Alter	Tubusgröße
Säugling ohne Zähne	Jünger als 6-8 Monate	3.0 mit Cuff
Säugling mit offener Fontanelle	Jünger als 18-24 Monate	3.5 mit Cuff
Laufkind mit Windeln und anscheinend normal entwickelt	Jünger als 4 Jahre	4.0 mit Cuff
Kind mit Zahnlücken vorne	6-7 Jahre alt	5.0 mit Cuff

Thermoregulation

Bereits das Neugeborene verfügt über die Möglichkeit zur Thermoregulation und versucht, seine Körperkerntemperatur (KKT) aufrechtzuerhalten – die relativ große Körperoberfläche und die dünne Haut begünstigen jedoch den Wärmeverlust.

Vor, während und nach einer Kinderanästhesie soll die KKT gemessen werden bzw. bekannt sein; intraoperativ ist eine aktive Wärmezufuhr geboten.

- **Konvektive Wärmesysteme** wie Bair-Hugger™ oder Warm-Touch™ haben sich bewährt und sollen bei Kindern unter 5 kg KG immer – und bei größeren Kindern mit längeren Eingriffen regelmäßig – verwendet werden.
- **Fieber** ist bei Kindern ein häufiges Symptom, und es ist unerlässlich, dass der Anästhesist bei der Übergabe des Kindes Kenntnis hat, wie die KKT während des Eingriffs war.

Kinder mit beeinträchtigter Entwicklung, z.B. mit Zerebralparese, haben einen reduzierten Stoffwechsel und kühlen besonders schnell aus.

- Die Praxis des Autors ist es, in diesen Fällen die Saaltemperatur zu erhöhen und immer zwei Bair-Hugger™ für „Ober- und Unterhitze“ zu verwenden.

Der aktive Metabolismus mit großer endogener Wärmeproduktion erklärt den bei längeren Anästhesien ohne exzessive Verluste typischen Temperaturanstieg.

- Bei längeren Hals-Nasen-Ohren (HNO)-Eingriffen ist regelmäßig keine aktive Wärmezufuhr erforderlich.
- Bei Untersuchungen mittels **Magnetresonanztomographie (MRT)** bewirkt die Energiezufuhr durch das Magnetfeld, dass **Kleinkinder** trotz der kalten Untersuchungsumgebung (ohne zusätzliche Maßnahmen) nicht auskühlen – die von Radiologen befürchtete Hyperthermie stellt sich jedoch nicht ein [5,6]. **Neugeborene** kühlen nach der Erfahrung des Autors bei einer MRT-Untersuchung dagegen aus. MRT-Untersuchungen stellen in Bezug auf die Thermoregulation damit einen Sonderfall dar.

Respiratorisches System, Atemwegssicherung und Beatmung

Physiologische und anatomische Besonderheiten

Kleine Kinder haben einen sehr aktiven Metabolismus mit hohem Sauerstoffverbrauch und großer alveolärer Ventilation (Tab. 3). Die funktionelle Residualkapazität (FRC) ist klein; sie ist auch relativ klein in Bezug auf die totale Lungenkapazität, weil das noch sehr elastische Thoraxskelett der Lunge in die Expirationsstellung folgt.

Ein hoher Sauerstoffverbrauch bei geringen Reserven führt zu einer kurzen Apnoetoleranz [7].

- Eine auch nur kurze Apnoe führt beim jungen Säugling unweigerlich zum Abfall der SpO_2 (pulsoxymetrisch bestimmte arterielle Sauerstoffsättigung) bzw. des arteriellen Sauerstoffgehalts (Tab. 4).
- Einleitungs-, diagnostische und therapeutische Verfahren mit Apnoe sind für kleine Kinder ungeeignet und potenziell gefährlich [8].
- Die **modifizierte Blitzeinleitung (rapid sequence induction; RSI)** mit Präoxygenierung und Zwischenbeatmung beachtet alle Vorsichtsmaßnahmen einer raschen und tiefen

Tabelle 3

Die respiratorischen Handicaps im Kindesalter.

PEEP = Positive endexpiratory pressure; positiver endexpiratorischer Atemwegsdruck.

Faktum	Auswirkungen
Hoher Sauerstoffverbrauch (6-10 ml/kg KG/min)	Viel Verbrauch bei wenig Reserven führt zu einer kurzen Apnoetoleranz
Hohe Kohlendioxidproduktion	Große alveoläre Ventilation
Kleine funktionelle Residualkapazität (FRC) – absolut und relativ	Geringe Reserven
Großes Verschlussvolumen (closing capacity)	Große Tendenz zur Atelektasenbildung – ein ausreichender PEEP ist wichtig
Enge Luftwege, instabiler Thorax, unreife Atemmuskulatur	Geschaffen für Trinken, Verdauen und Wachsen – größere Belastungen sind nicht vorgesehen

Einleitung, die Kinder werden aber beatmet, gut oxygeniert und anschließend in Ruhe intubiert. Diese Entwicklung ist ein wesentlicher Schritt vorwärts in Richtung einer sichereren Versorgung von Kindern und hat sich im klinischen Alltag bewährt.

In einer klinischen Serie entsättigte jedes zweite Neugeborene länger als eine Minute unter 90% und jedes vierte länger als eine Minute unter 80% SpO₂ [9]. Dies muss nicht zwingend gravierende Folgen haben, zeigt aber auf, dass kleine

Kinder öfters in die Nähe des potenziell gefährlichen Bereichs kommen.

Atemwegssicherung mittels Tubus

Grundsätzliches

Probleme bei der Atemwegssicherung sind häufig Ursache schwerer Komplikationen. Je kleiner die Kinder sind, umso häufiger ist eine schwierige Intubation (Abb. 2).

Dies hat im Wesentlichen drei Ursachen (Tab. 5). Die mangelnde Erfahrung ist

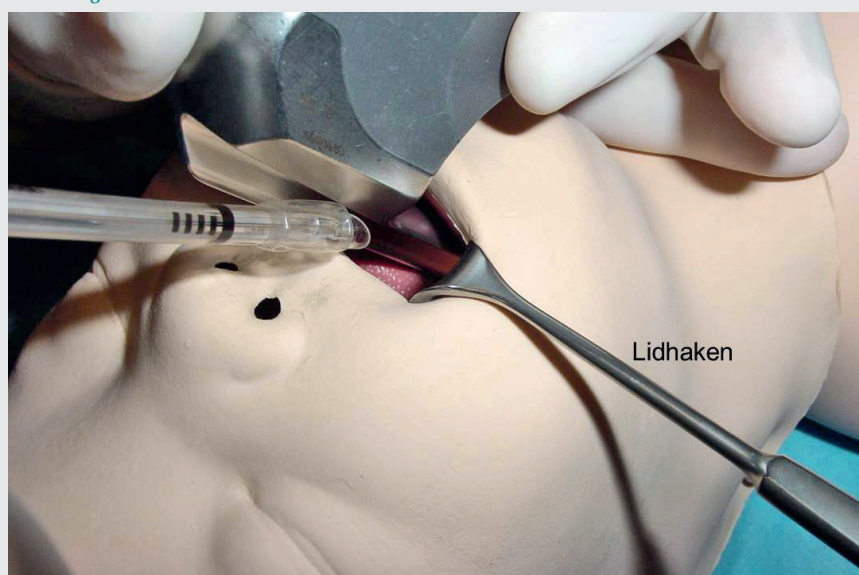
Tabelle 4

Zeit in Sekunden (s), bis die SpO₂ ohne Präoxygenierung die halbe maximale Abfallgeschwindigkeit erreicht und danach rasch weiter abfällt. Daten des Nottinghamer Physiologie-Simulators aus [7].

SpO₂ = pulsoxymetrisch bestimmte arterielle Sauerstoffsättigung.

Alter	Zeit
1 Monat	6,6 s
1 Jahr	10,8 s
8 Jahre	15,0 s
18 Jahre	31,2 s

schwierig wettzumachen. Mögliche Lösungsansätze sind die Verlegung v.a. von Neugeborenen und Säuglingen an Kliniken mit entsprechender Erfahrung, die optimierte Ausbildung und Supervision sowie die Einrichtung von „Kinderteams“. Gelegentlich wird gefordert, möglichst alle kleinen Kinder zu intubieren (und nicht mit einer Larynxmaske zu versorgen), um genügend Übungsgelegenheiten für die Kollegen in Ausbildung zu haben, was jedoch zutiefst der Ansicht des Autors widerspricht, dass jedes Kind die bestmögliche Anästhesie haben soll – und das ist oft eine Larynxmaske und nicht ein Tubus [10].

Abbildung 2

Die Intubation von Neugeborenen und Säuglingen ist u. a. wegen der engen Platzverhältnisse erschwert; ein Lidhaken verbessert den Einblick erheblich und wird an der Kinderklinik Luzern regelmäßig eingesetzt (angeregt durch Dr. Jörg Schimpf, Augsburg).

Tabelle 5

Die drei Ursachen der Schwierigkeiten bei der Atemwegssicherung.

Ursache	Kommentar und Lösungsvorschläge
1. Mangelnde Erfahrung	Anfänger arbeiten unter Supervision; Videolaryngoskopie zur Instruktion
2. Ungeeignetes Material	Lehrbücher und Kurse, Standards und Checklisten; optimale Vorbereitung der Geräte
3. Großer Zeitdruck	Geeignete Vorgehensweisen und Algorithmen helfen, die kurze verfügbare Zeit optimal zu nutzen

Orotracheale oder nasotracheale Intubation

Die Tubusdislokation ist ein Problem – die nasotracheale Intubation erlaubt eine zuverlässige Fixierung und vermindert damit das Risiko.

Es ist daher die Praxis des Autors, Neugeborene und Säuglinge nasotracheal zu intubieren, sofern es vom Eingriff her möglich ist. Das Blutungsrisiko ist in dieser Altersgruppe – bei noch nicht vorhandenem Adenoid – minimal, und auch eine nasotracheale Langzeitintubation ist ohne die beim Erwachsenen häufig auftretenden Kieferhöhlenprobleme möglich. Andererseits werden an anderen Kliniken auch komplexe Eingriffe bei oral intubierten Neugeborenen durchgeführt, die anschließend so auf die Intensivstation verlegt werden.

Tubus mit oder ohne Cuff

Die früher sehr emotionale Debatte über den Stellenwert geblockter Tuben in der Kindernarkose hat sich weitgehend gelegt. In der Neonatologie werden fast ausschließlich ungeblockte Tuben verwendet, während beim größeren Kind regelmäßig geblockte Tuben benutzt werden.

Diese haben für den Anästhesisten, der z.B. im HNO-Bereich größere Kinder betreut, die Atemwegssicherung erheblich vereinfacht. Bei Befolgung der auf der Packung aufgedruckten Altersempfehlung passt der primär gewählte MicroCuff®-Tubus fast immer, ein Tubuswechsel ist kaum nötig und postoperativer Stridor ist nicht häufiger [11]. Dies trifft aber nicht zu, wenn gegen die Empfehlung gehandelt wird; für Neugeborene unter 3 kg KG ist auch der MicroCuff®-Tubus nicht geeignet und geht mit einer erhöhten Inzidenz von Stridor einher [12].

Die Tubusgröße richtet sich vor allem nach dem Alter des Kindes, dies auch bei der nasotrachealen Intubation.

Tabelle 6

Tubustabelle für Frühgeborene, Neugeborene, Säuglinge und Kinder bis zum 12. Lebensjahr.

Alter bzw. Gewicht	Tubus ohne Cuff	Tubus mit Cuff	Einführtiefe oral
Frühgeborene <600 g	2.0-2.5		
Frühgeborene 1 kg	2.5		7 cm
Frühgeborene 2 kg	2.5-3.0		8 cm
Neugeborene 3 kg	3.5	3.0 mit Cuff	9 cm
3 kg-4 Monate	3.5	3.0 mit Cuff	10 cm
4 Monate-8 Monate	4.0	3.0 mit Cuff	11-12 cm
8 Monate-2 Jahre	4.5 (ab 1 Jahr)	3.5 mit Cuff	12-13 cm
2 Jahre-4 Jahre	5.0	4.0 mit Cuff	13-14 cm
4 Jahre-6 Jahre		4.5 mit Cuff	14-15 cm
6 Jahre-8 Jahre		5.0 mit Cuff	15-16 cm
8 Jahre-10 Jahre		5.5 mit Cuff	16-17 cm
10 Jahre-12 Jahre		6.0 mit Cuff	18-19 cm

- Insbesondere bei Neugeborenen und Säuglingen werden Tabellen zu Rate gezogen (Tab. 6).
- Nach der Vollendung des 1. Lebensjahres können auch Formeln verwendet werden (Tab. 7).
- Auch bei Kindern mit Entwicklungsstörungen (z.B. 14 Jahre, 12 kg KG) ist die Tubusgröße – wegen des altersabhängigen Wachstums von Larynx und Trachea – eher nach dem Alter als nach dem Körpergewicht zu wählen.

Die Tubusgröße ist so zu wählen, dass ohne Aufblasen des Cuffs eine minimale Leckage auftritt. Danach wird der Cuff mit einem Druck von 20 cm H₂O geblockt.

- Ein völlig entleerter und somit rippenbildender Cuff erhöht das Risiko einer Schädigung der Trachealschleimhaut.
- Eine routinemäßige Blockung mit 20

cm H₂O scheint weniger Schleimhautläsionen zu verursachen als ein minimaler, gerade eine Leckage verhindernder Druck, da hier der schlaaffe Niederdruck-Cuff bei jedem Atemzug hin und her schwappen und die Schleimhaut schädigen kann.

Tubuslage

Eine optimale Lage der Tubusspitze verhindert sowohl die akzidentelle Extubation als auch die endobronchiale Intubation bei Lageänderungen.

- Bei der Inklinatlon der Halswirbelsäule tritt die Tubusspitze tiefer, während sie sich bei einer Reklination in Richtung Stimmbandebene bewegt – beim Säugling ± 1 cm, beim 10-jährigen Kind ± 2 cm [13].
- Die Trachea eines Termingeborenen ist 4 cm lang; in dieser Altersklasse ist es das Ziel, die Tubusspitze in der Mitte der Trachea zu platzieren (Tab. 8).
- Bei laparoskopischen Eingriffen bewirkt das **Pneumoperitoneum** – besonders bei Kopftieflage – ein relevantes Tiefertreten der Tubusspitze [14].

Die zu erwartende Einführtiefe des Tubus soll vor Einleitung der Narkose bekannt sein.

Tabelle 7

Formeln zur Berechnung der Tubusgröße bei Kindern ab 1 Jahr.

Art des Tubus	Formel für Innendurchmesser in mm
Mit Cuff	3.5 + (Alter in Jahren : 4) Beispiel: 6 Jahre = 5.0
Ohne Cuff	4.5 + (Alter in Jahren : 4) Beispiel: 2 Jahre = 5.0

Tabelle 8

Die optimale Lage der Tubusspitze.

Alter	Optimale Lage der Tubusspitze
Neugeborene	2 cm über der Carina tracheae
5 Jahre	3 cm über der Carina tracheae
Erwachsene	4 cm über der Carina tracheae

Bei Neugeborenen hilft die „1, 2, 3 kg – 7, 8, 9 cm-Regel“, bei größeren Kindern helfen Formeln (Tab. 9).

Der Autor ist überzeugt, dass vor allem im HNO-Bereich die für Kinder adaptierten MicroCuff®-Tuben Vorteile bieten. Wenn der Tubus bis zur entsprechenden Markierung eingeführt wird, liegt die Tubusspitze bei Befolgung der auf der Packung aufgedruckten Altersempfehlung nie zu tief und die Größe passt [15].

Atemwegssicherung mit der Larynxmaske

Grundsätzliches

Der Gebrauch der Larynxmaske (LMA) ist mit weniger postoperativen Komplikationen assoziiert als die endotracheale Intubation [16] und immer dann zu erwägen, wenn die Aspirationsgefahr nicht erhöht ist und keine exzessiven Atemwegsdrücke zu erwarten sind.

Tabelle 9

Die zu erwartende Einführtiefe des Tubus. KG = Körpergewicht.

Alter/Gewicht	Einführtiefe
Neugeborene	1, 2, 3 kg KG- 7, 8, 9 cm-Regel
1 kg	7 cm
2 kg	8 cm
3 kg	9 cm
Ab 1 Jahr oral	12 cm + ½ cm pro Jahr
Nasal	+ 20% Beispiel 2 Jahre: 13 + 2.6 = ca. 16 cm

Auch in der Einleitungsphase scheint sie vor Problemen wie Obstruktion und Entsättigung zu schützen, da der Atemweg sehr früh und bei erst mäßig tiefer Anästhesie gesichert werden kann. Andererseits weisen die LMA und andere supraglottische Atemwegshilfen, solange die Kinder noch die für das Milchtrinken optimierte Anatomie haben, eine erhöhte **Dislokationstendenz** auf. Dies spricht für eine restriktive Indikationsstellung bei Neugeborenen und Säuglingen, wenn der Zugang zum Atemweg intraoperativ nicht gewährleistet oder eine komplexe Lagerung notwendig ist. Trotzdem wird die LMA in der Notfallmedizin – einschließlich der Reanimation des Neugeborenen – zunehmend als primäre Option gewählt, sofern nicht in der Kinderanästhesie erfahrene Ärzte vor Ort sind. Die Ventilation gelingt effizienter als mit der Gesichtsmaske und die Risiken der endotrachealen Intubation (wie Fehlintonation, Atemwegstrauma oder Notwendigkeit einer tiefen Anästhesie) fallen weg.

Die Wahl der Larynxmaske

LMA mit L-Form (Abb. 3) – wie LMA Supreme™ und Ambu® AuraGain™ usw. – scheinen bei kleinen Kindern im Vergleich zur klassischen LMA eine geringere

Tendenz zur Dislokation zu haben. Auch LMA mit einem Kanal zur Platzierung einer Magensonde bieten möglicherweise zusätzliche Sicherheit, da die liegende Sonde wie ein Seldinger-Draht die Dislokation der Spitze der LMA aus dem oberen Ösophagusmund verhindern hilft. Trotzdem zeigt die bei Erwachsenen gut geeignete i-gel®-LMA bei Säuglingen und Kleinkindern eine hohe spontane Dislokationstendenz und kann nicht empfohlen werden [17].

- Die Wahl der Größe richtet sich traditionsgemäß nach dem Körpergewicht (Tab. 10), sie wird aber auch durch die Erfahrung des Anästhesisten mitbestimmt.
- Die Größe des Patientenohrs kann bei der klassischen LMA Hinweise geben [18].
- Der Cuffdruck ist auf 40-60 cm H₂O zu beschränken.

Larynxmaske zur fiberoptischen Intubation

Bei der schwierigen Intubation ist die fiberoptische Intubation über die LMA das Verfahren der Wahl, sofern der Mund geöffnet werden kann und ein oraler Tubus vorgesehen ist [19].

Abbildung 3

Larynxmasken in L-Form weisen eine geringere Dislokationstendenz auf und sind bei Kindern der klassischen Larynxmaske vorzuziehen.

Tabelle 10

Die Wahl der Larynxmaske (LMA). Es sind der durch die jeweilige LMA passende Tubus (ohne Cuff) sowie die passende Magensonde angegeben. **Ch.** = Charrière; **ID** = Innendurchmesser in mm.

Körpergewicht	Größe der LMA	Tubus (ohne Cuff)	Magensonde bei LMA Supreme™/ AuraGain™
2-5 kg	1	3.0 ID	6 / 6 Ch.
5-10 kg	1.5	3.5 ID	6 / 8 Ch.
10-20 kg	2	4.0 ID	10 / 10 Ch.
20-30 kg	2.5	5.0 ID	10 / 10 Ch.
30-50 kg	3	6.0 ID	14 / 16 Ch.
50-70 kg	4		14 / 16 Ch.
>70 kg	5		14 / 16 Ch.

Die Vorgehensweise des Autors ist es,

- zunächst fiberoptisch über die LMA einen Tubus in die Trachea einzuführen,
- und anschließend über einen Wechselstab den primär eingeführten Tubus zusammen mit der LMA zu entfernen und durch den richtigen zu ersetzen.

Ein blindes Vorschieben des Tubus ist nicht erfolgversprechend [20]. Die Intubation durch die LMA Supreme™ ist nicht möglich. Die passenden Größen von Tubus und LMA müssen in jeder Institution im Vorfeld abgeklärt und bekannt sein.

Beatmung

Grundsätzliches

Das Atemzugvolumen (6-8 ml/kg KG) und die Atemwegsdrücke sind in allen Altersklassen ähnlich groß. Die größere alveoläre Ventilation (in ml/kg KG/min) – und davon abhängig das Atemminutenvolumen – wird durch eine höhere Atemfrequenz erreicht.

Analog zum wachen Kind werden zunächst folgende Atemfrequenzen gewählt:

- Neugeborene 40/min,
- 1 Jahr 30/min,
- 10 Jahre 20/min,
- Adoleszent (und Erwachsene) 14/min.

Während Narkosen ist eine spontane Atmung vertretbar, wenn die Atemwegswiderstände gering sind und keine medikamentöse Atemdepression zu befürchten ist, z.B. bei der Kombination einer oberflächlichen Inhalationsanästhesie mit einer Regionalanästhesie. Ansonsten werden assistierte bzw. kontrollierte Beatmungsmodi verwendet.

Rekrutierung

Nach der Sicherung des Atemwegs mittels Tubus oder LMA soll beim Neugeborenen und Säugling regelhaft – und bei größeren Kindern meistens – ein Rekrutierungsmanöver durchgeführt werden, um atelektatische Lungenbezirke zu entfalten.

An der Kinderklinik Luzern erfolgt dies bei Verwendung der LMA sorgfältig von Hand, beim intubierten Kind mit dem Respirator als sog. „Lachmännchen“ – dazu werden während 5 Atemzyklen ein Spitzendruck von 30 cm H₂O und ein PEEP (positive endexpiratory pressure; positiver endexpiratorischer Atemwegsdruck) von 20 cm H₂O appliziert. Auch bei Verwendung der LMA wird während der gesamten Anästhesie ein PEEP von regelmäßig mindestens 5 cm H₂O aufrechterhalten.

Respiratoreinstellung

In der Kinderanästhesie wird überwiegend ein druckkontrollierter Beatmungsmodus (pressure controlled ventilation; PCV) verwendet.

- Bei lungengesunden Kindern kann initial in allen Altersklassen ein Spitzendruck von 14 cm H₂O bei einem PEEP von 5 cm H₂O eingestellt werden.
- Die Atemfrequenz wird dem Alter entsprechend gewählt (siehe oben).
- Die Atemflusskurven erlauben die Optimierung der Inspirationszeit; typische Werte sind für Neugeborene 0,5 s, für Kleinkinder 1,2 s und für Adoleszente 2 s.

Volumenkonstante flussadaptierte Beatmungsmodi (z.B. AutoFlow™) werden auch bei Säuglingen und Kleinkindern mit Erfolg eingesetzt. Der Autor verwendet sie intraoperativ, um hauptsächlich den wechselnden Druck der Chirurgen auf Thorax und Abdomen auszugleichen, nicht aber beim Einleiten und Lagern – in dieser Phase soll z.B. ein abgeknickter Tubus nicht automatisch (und damit unbemerkt) vom Respirator mit höheren Beatmungsdrücken kompensiert werden.

Das **Atemminutenvolumen** wird durch Anpassung der Atemfrequenz und zu einem geringeren Anteil des Atemzugvolumens so gewählt, dass – mindestens beim Kind ohne Hirndruck oder pulmonalerteriellen Hochdruck – hochnormale bis moderat erhöhte endtidale Kohlendioxidwerte im Bereich von 45 mm Hg resultieren.

Die inspiratorische **Sauerstoffkonzentration** wird während der Einleitung im Sinne der Präoxygenierung hoch gewählt. Nach erfolgter Atemwegssicherung sind an der Kinderklinik Luzern bei Neugeborenen 21-25% und bei größeren Kindern 30-60% üblich; für die Extubation sind es 80%.

Kreislaufsystem und Blutdruckgrenzen

Physiologische und anatomische Besonderheiten

Der fetale Kreislauf

Beim fetalen Kreislauf fließt das in der Plazenta oxygenierte und mit Nährstoffen angereicherte Blut über die V. umbilicalis in die untere Hohlvene und den rechten Vorhof; von dort gelangt

der größte Teil über das offene Foramen ovale in den linken Vorhof und erreicht über den linken Ventrikel die Organe des Feten. Der geringe in den rechten Ventrikel gelangende Blutanteil wird über den Ductus arteriosus Botalli zu über 90% an der Lunge vorbei in die Aorta descendens geleitet. In den am besten oxygenierten Körperbereichen beträgt der Sauerstoffpartialdruck (pO_2) unter diesen Bedingungen etwa 25 mm Hg. Mit den ersten Atemzügen und der Entfaltung der Lungen sinkt der pulmonale Gefäßwiderstand, der Rechts-Links-Shunt kommt zum Erliegen, und die SpO_2 steigt sukzessive an [21]:

Die präduktales SpO_2 liegt postpartal nach 1 min bei 60%, nach 3 min bei 70%, nach 5 min bei 80% und erreicht nach 10 min 90%.

Myokard und Herzzeitvolumen

Im Vergleich zum Erwachsenen enthält das Myokard vor allem des Neugeborenen und Säuglings weniger kontraktile Elemente und die Compliance der Ventrikel ist geringer – das Herzminutenvolumen (HZV) hängt daher vorwiegend von der Herzfrequenz und weniger von einer Steigerung der Inotropie ab.

Auch die positiv-inotrope Wirkung der **Katecholamine** ist damit geringer als beim Erwachsenen. Unter physiologischen Bedingungen besteht aber insgesamt auch kein Bedarf an einer Steigerung der Inotropie oder einer massiven Erhöhung des Sauerstoffangebots an die Organe – von der Natur sind Trinken, Verdauen und Wachsen, aber keine größeren körperlichen Belastungen angesagt.

Inhalationsanästhetika haben beim Neugeborenen und Säugling einen viel höheren kardiodepressiven Effekt als bei größeren Kindern. Dieser Empfindlichkeit steht die relativ hohe minimale alveoläre Konzentration (MAC-Wert) gegenüber, bei der die Hälfte der Patienten nicht mehr auf einen Schmerzreiz reagiert: Das Herz ist empfindlich, aber das Gehirn ist resistent.

Eine Bradykardie ist regelhaft die Folge einer Hypoxie – dies muss zuerst bedacht werden.

- Erst nach Ausschluss einer Hypoxie sind andere Ursachen (wie Opiode oder der okulo-kardiale Reflex) zu erwägen.
- Bei Kindern mit Trisomie 21 führt eine Einleitung mit Sevofluran typischerweise – auch ohne Hypoxämie – zur Bradykardie. Die Ursache ist unklar, die Bradykardie scheint passager und benigne zu sein [22].
- Maligne tachykarde Rhythmusstörungen treten bei Kindern nur selten auf – „ein Kinderherz flimmert nicht“. Ausnahmen sind z.B. Kinder mit Myokarditis, Hyperkaliämie oder hereditärem Long-QT-Syndrom [23].

Der hohe Sauerstoffverbrauch des Kindes ($kg\ KG^{0,75} \times 10\ ml/min$) erfordert ein hohes HZV.

Das HZV eines Säuglings liegt bei 250 ml/kg KG/min, während es beim Erwachsenen etwa 70 ml/kg KG/min beträgt – damit zirkuliert das Blutvolumen eines Säuglings dreimal pro Minute, das des Erwachsenen aber nur einmal pro Minute. Dies hat erheblichen Einfluss auf die Pharmakokinetik:

- Die Verteilung der Pharmaka erfolgt sehr schnell und die Plasmaspiegel fallen rasch ab.
- Damit sind – im Vergleich zum Erwachsenen – für gleiche Konzentrationen am Effortort insgesamt höhere Dosen erforderlich.
- Die Zeit bis zur maximalen Wirkung („time-to-peak“) ist verkürzt.

Blutdruck und Perfusion

Grundsätzliches

Die Gewebe des Körpers sind primär auf ein genügendes Sauerstoffangebot und damit auf eine genügende Perfusion angewiesen – die Höhe des Blutdrucks steht an zweiter Stelle. Um vor allem in den Organen mit Autoregulation des Blutflusses (z.B. dem Gehirn) eine ausreichende Per-

fusion zu gewährleisten, ist aber ein bestimmter minimaler Blutdruck erforderlich.

Die an sich interessierende Organperfusion kann im klinischen Alltag nicht direkt gemessen werden. Es sind nur Surrogatparameter verfügbar; neben der Hautperfusion, abschätzbar an der Kapillarfüllungszeit (Abb. 4), ist der Blutdruck die wichtigste Größe.

Dazu kommen metabolische Parameter wie die Laktat-Konzentration im Plasma und der Basenüberschuss (base excess; BE). Bei liegendem zentralvenösem Katheter kann die zentralvenöse Sauerstoffsättigung wichtige Hinweise auf eine ausreichende globale Perfusion geben [24].

Die Normwerte für den Blutdruck sind altersabhängig und nur ungenau definiert. Sie orientieren sich – vor allem aus historischen Gründen – am systolischen Druck, weil der primär interessierende arterielle Mitteldruck (mean arterial pressure; MAP) bis zur Einführung der oszillometrischen Blutdruckmessung in den 1980er Jahren nicht exakt gemessen werden konnte.

- Bei Frühgeborenen wird oft ein MAP (in mm Hg) gefordert, der mindestens dem Gestationsalter (in Wochen) entspricht.
- Da Frühgeburtlichkeit kein physiologischer Zustand ist, gibt es keine Normalwerte, sondern höchstens anzustrebende Werte. Ältere Messungen lassen vermuten, dass bei **nicht anästhesierten Frühgeborenen** die zerebrale Autoregulation bis zu einem MAP von 30 mm Hg aufrechterhalten bleibt [25].
- Für größere Kinder (Tab. 11) werden oft die Kriterien der Kinderreanimation zu Rate gezogen.

Die früher oft übliche Praxis, bei kürzeren Kindernarkosen auf die Blutdruckmessung zu verzichten, lässt sich heute nicht mehr mit gutem Gewissen vertreten – der Blutdruck soll bei jeder Kindernarkose gemessen werden.

Abbildung 4



Erheblich verzögerte Kapillarfüllung bei einem Frühgeborenen 10 s nach Loslassen des Daumendrucks als Zeichen einer massiv eingeschränkten Perfusion.

Tiefer Blutdruck als Risiko

Tiefe Blutdruckwerte sind mit schwerwiegenden Folgen assoziiert [26], besonders wenn sie mit Hypokapnie kombiniert sind [27].

Tiefe Blutdruckwerte kommen vor allem in der Zeit nach der Einleitung bis zum Operationsbeginn sehr häufig vor [28]. Die große Frage ist der minimal noch tolerierbare Blutdruck.

- Die vorgeschlagene Orientierung am Ausgangsdruck, um dann einen Abfall von maximal 20% oder 30% zu tolerieren [29], wird durch die Tatsache erschwert, dass es beim Säugling

und Kleinkind oft nicht gelingt, vor Narkoseeinleitung einen verlässlichen Ausgangswert zu ermitteln.

- Messungen der zerebralen Durchblutung während 1 MAC Sevofluran-Anästhesie lassen vermuten, dass die untere Grenze der Autoregulation

bei Säuglingen jünger als 6 Monate bei etwa 40 mm Hg Mitteldruck erreicht wird [30].

- Die mit Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIRS; Abb. 5) gemessene Sauerstoffsättigung im Hirngewebe scheint erst bei etwas tieferen Werten zu sinken [31,32].

Aus Sicht des Autors erscheinen folgende Grenzen praktikabel:

- Bei Termingeborenen und Säuglingen liegt der Ziel-MAP >40 mm Hg; ein MAP <30 mm Hg muss forciert behandelt werden.
- Bei Kleinkindern liegt der Ziel-MAP >50 mm Hg, ein MAP <40 mm Hg muss forciert behandelt werden.
- Für Schulkinder liegt der Ziel-MAP >60 mm Hg, ein MAP <50 mm Hg muss forciert behandelt werden.

Praktisches Vorgehen bei Hypotension

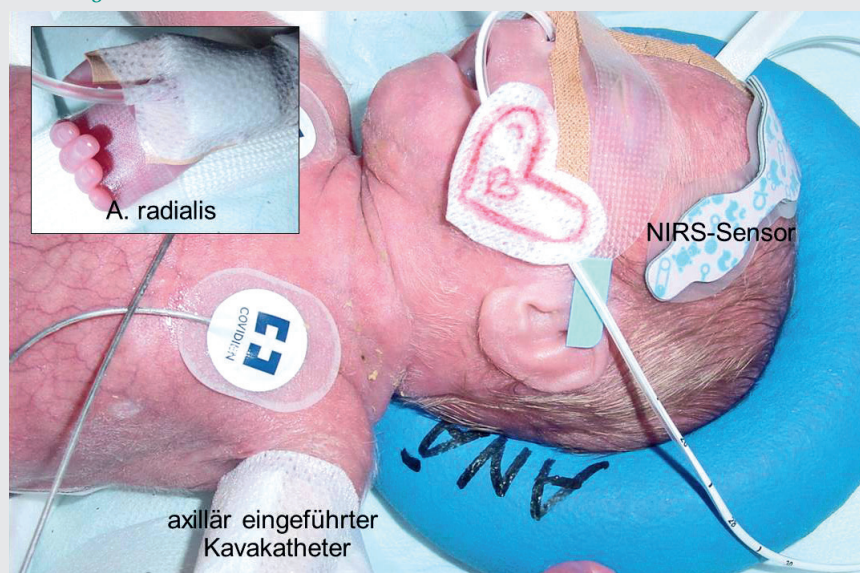
Bei tiefen Blutdruckwerten sind immer zuerst die allgemeinen Bedingungen wie Narkosetiefe und Begleiterkrankungen zu prüfen, daran schließt sich ggf. die Volumenzufuhr und die Gabe vasoaktiver Substanzen an (Tab. 12).

Tabelle 11

Physiologische Untergrenzen des systolischen Drucks beim wachen Kind.

Alter	Systolischer Druck
Termingeborenes	60 mm Hg
Säugling 1-2 Monate	70 mm Hg
Kind 1-10 Jahre	70 mm Hg + (2 x Alter in Jahren)
Kind >10 Jahre	90 mm Hg

Abbildung 5



Bei diesem 1.050 g schweren Frühgeborenen wird neben dem Blutdruck auch die Sauerstoffkonzentration im Hirngewebe mit Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIRS) überwacht.

Obwohl meistens ein relativer Volumenmangel vorliegen wird, ist immer eine breite Differenzialdiagnose zu bedenken.

- Bei einer zusätzlich vorhandenen funktionierenden Regionalanästhesie wird der **Anästhetikabedarf** nicht selten überschätzt und eine zu tiefe Narkose verabreicht.
- **Begleiterkrankungen**, die eine starke Hypotension auslösen können, sind z.B. ein Vitium cordis, eine Anaphylaxie, ein Spannungspneumothorax oder ein Cortisol-Mangel; daneben auch eine Kreislaufsuppression durch Auto-PEEP bei zu hohem intrathorakalem Druck.

Wenn andere Ursachen ausgeschlossen sind, hat die Infusionstherapie meist Vorrang vor der Gabe von vasoaktiven Substanzen bzw. Katecholaminen.

Die **Infusionstherapie** mit ihrem speziellen Umfeld wird im nächsten Abschnitt gesondert dargestellt.

Neben einer Volumenzufuhr benötigen auch Kinder ggf. **vasoaktive Substanzen** bzw. Katecholamine, deren Auswahl oft von den persönlichen Erfahrungen bzw. der ortsüblichen Praxis geprägt ist.

- Bolusinjektionen von z.B. 0,1 mg/kg KG **Ephedrin** i.v. bewirken meist nur eine kurze und geringe Besserung.
- In Deutschland wird häufig das sowohl vasokonstriktiv als auch positiv-inotrop wirkende **Cafedrin/Theodrenalin** (Akrinor®) – ebenfalls als Bolusinjektion – verwendet, womit ggf. eine längere Blutdruckstabilisierung erreicht werden kann.
- Bei protrahierter Hypotension ist eine kontinuierliche Medikamentenzufuhr über eine Spritzenpumpe

erforderlich. Die Infusion von **Dopamin** (5-10 µg/kg KG/min i.v.) ist hier fast immer erfolgreich. Dopamin ist in der Kindermedizin etabliert; die Substanz steigert das HZV und führt in höherer Dosis zur Vasokonstriktion. Die begleitende Tachykardie ist bei Kindern zur Steigerung des HZV fast immer erwünscht. Das arrhythmogene Potenzial ist außerhalb der Kinderherzanästhesie kein Problem, und die endokrinen Effekte sind klinisch nicht relevant. Damit stechen die Argumente, die Dopamin aus der Erwachsenenmedizin verdrängt haben, bei Kindern nicht. Zudem ist Dopamin auch sicher über periphere Venen anzuwenden.

- Andere Institutionen verwenden zur Infusion statt Dopamin die Kombination von Dobutamin (positiv inotrop) und Noradrenalin (vorwiegend vasokonstriktiv) oder auch Adrenalin (positiv inotrop und vasokonstriktiv) allein.

Infusionstherapie

Gefäßzugang

Grundsätzliches

Während beim Erwachsenen das erfolgreiche Legen eines peripheren Venenzugangs zu den Grundfertigkeiten des Anästhesisten gehört, kann das beim Kind sehr anspruchsvoll sein. Auch unter optimalen Bedingungen – bei anästhesierten Kindern mit dem erfahrenen Personal einer Kinderklinik – gelingt die Venenpunktion in 20-30% der Fälle nicht auf Anhieb; bei Kindern unter einem Jahr sind es sogar 50%. Ultraschall und optische Geräte können helfen; der Punktionserfolg hängt aber primär von der Erfahrung und den Fertigkeiten des

Anästhesisten ab. Die Transillumination mittels LED-Technologie ist bei Säuglingen und Kleinkindern für Handrückenvenen sehr hilfreich (Abb. 6). Infrarotgeräte (z.B. AccuVein®) hingegen erhöhen den Punktionserfolg nicht [33], sie sind aber hilfreich für die Ausbildung und die Suche nach dem besten Punktionsort.

Wenn in einer Notfallsituation der Venenzugang nicht gelingt oder schon primär aussichtslos erscheint, ist ein intraossärer (i.o.) Zugang anzulegen.

Dazu wird heute fast ausschließlich die Bohrmaschine EZ-IO® verwendet [34]; der Gebrauch von Federgeräten, Spezialnadeln mit Griffstück oder dicken Metallkanülen bleibt auf Ausnahmen beschränkt. Bei schwer kranken Kindern kann der i.o.-Zugang im Notfall für die Narkoseeinleitung verwendet werden [35], z.B. bei einer Tonsillen-Nachblutung oder einem schwer septischen Kind.

Das „Kapital an Venen“

Vor allem bei Säuglingen und chronisch kranken Kindern ist die Zahl einfach zu punktierender Venen – das „Kapital an Venen“ – oft gering. Hier ist es besonders wichtig, dass nicht das letzte noch verfügbare Gefäß durch einen unerfahrenen Kollegen zerstochen wird. Wichtig sind auch optimale Verhältnisse schon beim ersten Punktionsversuch.

Es gibt Situationen, in denen nur der Beste punktieren soll und die Ausbildung zurücktreten muss.

- Bei Kindern, die länger medizinisch behandelt werden müssen und dabei wiederholte Venenpunktionen im wachen Zustand benötigen, sollen einfach zu punktierende Venen – z.B. auf dem Handrücken – beim anästhesierten Kind geschont werden. Alternative Punktionsstellen finden sich oft am Stamm, am Handgelenk oder ausnahmsweise am Skalp.
- Weiter ist immer zu prüfen, ob ein Venenzugang oder eine Blutentnahme wirklich nötig sind – so benötigt ein Kind mit Fieberkrampf weder

Tabelle 12

Das praktische Vorgehen bei einer Hypotension im Kindesalter.

Maßnahme	Kommentar
Prüfung der allgemeinen Bedingungen	Anästhetika-Überdosierung, Begleiterkrankung
Volumenzufuhr	10 ml/kg KG plasmaadaptierte Elektrolytlösung, evtl. 2-3 x repetiert
Vasoaktive Substanz	z.B. Dopamin 5-10 µg/kg KG/min

Abbildung 6



Beispiele von Lichtquellen mit LED-Technologie, die bei Säuglingen und Kleinkindern für die Punktion von Handrückenvenen verwendet werden dürfen. Vorsicht: Gewöhnliche Taschenlampen oder gar sog. Kaltlichtquellen können zu schweren Verbrennungen führen.

eine intraossäre Kanüle noch eine Intubation. Auch Kinder mit isolierten Frakturen kommen bei nasaler Medikation vermutlich oft rascher zu ihrer Analgesie, als wenn bei schwierigen Verhältnissen versucht wird, einen Venenzugang zu legen.

Zum Nachdenken: Viele Anästhesisten gehen mit den Venen des Patienten immer noch so um wie die Menschheit mit den Ressourcen unserer Erde.

Die Frage, ob bei jeder elektiven Kindernarkose ein Gefäßzugang nötig ist, wird kontrovers diskutiert. Bei emotionsloser Betrachtung ist oft eine inhalative Einleitung möglich – und erfahrene Kollegen berichten, dass sie gelegentlich kurze Anästhesien ohne Gefäßzugang durchführen. Auch längere Narkosen, z.B. für Zahnbehandlungen, erfolgen an gewissen Zentren – in einem hochprofessionellen Umfeld – routinemäßig ohne Gefäßzugang [36]. Andererseits steht für unerfahrene Kollegen bei Zwischenfällen der fehlende oder verlorengegangene Zugang oft am Anfang einer Spirale in den Abgrund. Daher sollen nur sehr erfahrene Kollegen – und

dies nur ausnahmsweise – eine Narkose ohne Gefäßzugang wagen.

Infusionstherapie

Grundsätzliches

Kleine Kinder haben im Verhältnis zum Körpergewicht einen größeren Extrazellulärraum, ein größeres Blutvolumen, eine höhere Stoffwechselrate und einen größeren Flüssigkeitsumsatz. Störungen der Homöostase stellen sich daher bei inadäquater Zufuhr – sowohl Menge wie Zusammensetzung betreffend – oder unterschätzten Verlusten schneller als beim Erwachsenen ein.

Intraoperative Kreislaufstillstände werden bei Kindern relativ häufig durch unterschätzte Blutverluste verursacht.

In der Erwachsenenmedizin wird bei großen Eingriffen eine wohlüberlegt-zurückhaltende Infusionstherapie [37] und bei kleinen Eingriffen an gesunden Patienten eine eher großzügige Zufuhr [38] empfohlen. Es ist zu vermuten, dass bei Kindern grundsätzlich ähnliche Gesetzmäßigkeiten gelten, wobei es dazu allerdings erst wenig Daten gibt [39,40,41].

Art der Infusionslösung

Der Körper verfügt über ausgeprägte Mechanismen, um Wasser zu sparen. Bei Krankheit, Unfall oder Operation – bzw. im Stress – wird vermehrt Antidiuretisches Hormon (ADH) freigesetzt und die Ausscheidung von Wasser eingeschränkt.

Die alleinige Zufuhr von freiem Wasser durch Infusionslösungen oder übermäßiges Trinken führt zur Hyponatriämie mit potenziell fatalen Folgen – in der pädiatrischen Akutmedizin ist die Hyponatriämie eine ständig drohende tödliche Gefahr.

Es gibt unzählige Berichte über Kinder, die an einer durch inadäquate Infusionstherapie verursachten Hyponatriämie verstorben sind [42]. Ein fataler Verlauf innerhalb von 24 Stunden – noch im unmittelbaren perioperativen Umfeld – ist möglich [43]. Die Erkenntnis, dass nur die Infusion von Lösungen mit möglichst physiologischem Natrium-Gehalt schwere Hyponatriämien verhindern hilft, hat sich auch im pädiatrischen Bereich durchgesetzt [44]. In Nordamerika wird dazu noch vorwiegend eine 0,9% Natrium-Chlorid (NaCl)-Lösung mit Glukosezusatz verwendet, was aber mit dem Risiko einer hyperchlorämischen Dilutionsazidose verbunden ist.

In Europa werden heute überwiegend **plasmaadaptierte (synonym: balancierte) Lösungen** mit möglichst physiologischem Natrium-Gehalt (mindestens 120 mmol/l) bevorzugt:

- Durch einen physiologischen Natrium-Gehalt werden Hyponatriämien vermieden.
- Durch den Zusatz von metabolisierbaren Anionen (Azetat, Malat oder Laktat), die im Organismus zu Bicarbonat metabolisiert werden, wird die Entstehung einer Dilutionsazidose vermieden.
- Ein Glukosezusatz von 1% (10 mg/ml; entspricht bei 10 ml/kg KG/h einer Zufuhr von 1,66 mg/kg KG/min) hilft, tiefe Blutzuckerkonzentrationen und Katabolismus zu verhindern.

Diese Lösungen haben bereits Einzug in die Notfall- und Intensivmedizin gefunden und werden 0,9% NaCl vermutlich weitgehend ersetzen [45].

Grundsätzlich sind auch Kinder auf eine **intermittierende** Nahrungsaufnahme ausgerichtet; eine kontinuierliche Glukosezufuhr ist bei gesunden Säuglingen und Kleinkindern daher nicht zwingend erforderlich. Einzelne Kinder, die krank oder sehr lange nüchtern sind, können aber tiefe Blutzuckerkonzentrationen entwickeln, katabol werden und einen Anstieg der freien Fettsäuren und Ketonkörper aufweisen [46]. Dies kann durch eine moderate Glukosezufuhr von 1-2 mg/kg KG/min verhindert werden [47] – am Kinderspital Luzern wird für die tägliche Routine schon seit 30 Jahren eine plasmaadaptierte Elektrolytlösung mit 1% Glukosezusatz verwendet.

- Lösungen mit 1% Glukose sind sicher und führen auch bei akzidenteller Hyperinfusion von z.B. 100 ml/kg KG/h nur zu einem moderaten Anstieg der Plasmaglukose [48].
- Kinder, die bereits katabol in den Operationssaal kommen, hohe Stoffwechselraten oder sehr geringe Glykogen-Reserven aufweisen (z.B. Neugeborene), benötigen höhere Zufuhraten (Tab. 13). Hier wird am Kinderspital Luzern die hochprozentige Glukoselösung (regelmäßig 40%) **wie ein Medikament** der plasmaadaptierten Elektrolytlösung im Seitenschluss zugesetzt.

Glukose soll insgesamt wie ein Medikament gehandhabt und exakt dosiert werden (Tab. 14).

Bei kranken Kindern oder größeren Eingriffen sind regelmäßige Laborkontrollen erforderlich, z.B. stündlich Blutzucker und Blutgasanalyse (mit Laktat) und bei Bedarf Hämoglobin-Konzentration und Plasma-Elektrolyte.

Infusionsmenge

Der **Erhaltungsbedarf** kann jenseits der Neugeborenenperiode mit der 4-2-1-Regel abgeschätzt werden (Tab. 15).

Tabelle 13

Hinweise zur Dosierung der Glukosezufuhr. Es handelt sich um Erfahrungswerte; Ziel ist eine hochnormale Blutzuckerkonzentration. **KG** = Körpergewicht.

Situation	Dosierung und Kommentare
Neugeborene wach	5 mg/kg KG/min – zur Verhinderung einer Hypoglykämie
Neugeborene intraoperativ	3 mg/kg KG/min
Kinder intraoperativ	1-2 mg/kg KG/min
Glykogenose Typ I oder Störungen der Fettsäureoxydation	5-8 mg/kg KG/min
Kinder intraoperativ, wenn sie unter parenteraler Ernährung stehen	Die Hälfte der vorherigen Glukosezufuhr
Schwere Hypoglykämie	200 mg/kg KG als Mini-Bolus

Tabelle 14

Die praktische Berechnung der Glukosedosis. **KG** = Körpergewicht. Das $KG \times 6$ entspricht den ml/h einer 1%igen Lösung, um 1 mg/kg KG/min zu erreichen.

Schritt	Aussage
1	1 ml Glukose 1% enthält 10 mg Glukose
2	1 mg/kg KG/min = 60 mg/kg/h
3	$KG \times 6 = \text{ml/h einer 1\%igen Lösung, um 1 mg/kg KG/min zu erreichen}$
4	$KG \times 30 = \text{ml/h einer 1\%igen Lösung, um 5 mg/kg KG/min zu erreichen}$
Beispiel	Ziel 1 mg/kg KG/min bei einem 6 kg schweren Kind: 36 ml/h 1%ig = 3,6 ml/h 10%ig = ungefähr 1 ml/h 40%

- Im klinischen Alltag werden am Kinderspital Luzern bei kleinen Eingriffen 15-25 ml/kg KG infundiert.
- Die Zufuhr erfolgt bei Säuglingen <5 kg KG über eine Spritzenpumpe, ansonsten über eine Infusionspumpe.
- Schwerkraftinfusionen sollen eigentlich nicht mehr verwendet werden; bei kleinen Eingriffen, größeren Kindern und der Verwendung von kleinen Behältnissen (maximal 250-500 ml) dürfte das Risiko einer Überinfusion aber klein sein.

Vorbestehende Flüssigkeitsdefizite bei dehydrierten Kindern können oft am besten anhand des zuvor bekannten Körpergewichts abgeschätzt werden. Dazu kommen klinische Zeichen wie stehende

Hautfalten, eingefallene Fontanelle und verlängerte Rekapillarisationszeit.

- Vorbestehende Flüssigkeitsdefizite müssen zusätzlich zum Erhaltungsbedarf ausgeglichen werden.

Die Urinausscheidung vermindert sich intraoperativ regelhaft – vor allem bei einem Pneumoperitoneum ist die intraoperative Diurese kein gutes Maß für den Volumenstatus.

Verluste an intravasalem Volumen werden zunächst durch 10-20 ml/kg KG einer plasmaadaptierten Elektrolytlösung ohne Glukosezusatz ersetzt.

- Bei ungenügender Wirkung kann auch auf künstliche Kolloide zurückgegriffen werden [49]. Diese haben bei kurzzeitiger Anwendung und moderaten Dosen keine nachteiligen Folgen für die Nierenfunktion.

Für die schnelle initiale Einstellung der Spritzen- und Infusionspumpen kann die 10er-Regel helfen (Tab. 16); die Therapie wird im Anschluss individuell angepasst und optimiert [50].

Schlussfolgerungen

Die Kinderanästhesie gehört zu den schönsten und anspruchsvollsten Bereichen des Fachgebiets Anästhesiologie. Neben den praktisch-technischen Fertigkeiten gehören Kenntnisse der pädiatrischen Krankheitsbilder sowie die Fähigkeit und Freude, mit Kindern und ihren Eltern vertrauensbildend zu

Tabelle 15

Der Erhaltungsbedarf an Infusionsflüssigkeit berechnet nach der 4-2-1-Regel. Für Neugeborene gelten in den ersten Lebenstagen besondere Leitwerte. **KG** = Körpergewicht.

Alter/KG	Pro Stunde	Pro Tag
Neugeborene		100-150 ml/kg KG/d
<10 kg	4 ml/kg KG	100 ml/kg KG
10-20 kg	40 ml plus 2 ml/kg KG (pro kg >10 kg KG)	1.000 ml plus 50 ml/kg KG (pro kg >10 kg KG)
>20 kg	60 ml plus 1 ml/kg KG (pro kg >20 kg KG)	1.500 ml plus 20 ml/kg KG (pro kg >20 kg KG)

Tabelle 16

10er-Regel zum schnellen Beginn der Flüssigkeits- und Volumentherapie; später werden individuell angepasste Dosierungen verwendet. **HES** = Hydroxyethylstärke; **KG** = Körpergewicht.

	Infusionslösung	Anfangs-/Repetitionsdosis
Erhaltungsbedarf	Plasmaadaptierte Elektrolytlösung mit 1% Glukose	10 ml/kg KG/h
Zusätzliche Flüssigkeitstherapie	Plasmaadaptierte Elektrolytlösung ohne Glukose	10-20 ml/kg KG, ggf. wiederholt
Forcierte Volumentherapie	Kolloide-HES, Gelatine, Albumin	10 ml/kg KG, ggf. wiederholt
Transfusion	Erythrozytenkonzentrat, Thrombozytenkonzentrat	10 ml/kg KG, ggf. wiederholt

kommunizieren, zu den Grundvoraussetzungen – aber auch das theoretische Wissen über Atemweg, Kreislauf und Infusionstherapie muss vorhanden sein, um im klinischen Alltag die richtigen Entscheidungen zu fällen.

Literatur

- Murray JP, Geiduschek JM, Ramamoorthy C, Haberkern CM, Hackel A, Caplan RA, et al: Anesthesia-related cardiac arrest in children: Initial findings of the Pediatric Perioperative Cardiac Arrest (POCA) Registry. *Anesthesiology* 2000;93:6-14
- Bhananker SM, Ramamoorthy C, Geiduschek JM, Posner KL, Domino KB, Haberkern CM, et al: Anesthesia-related cardiac arrest in children: Update from the Pediatric Perioperative Cardiac Arrest Registry. *Anesth Analg* 2007;105:344-350
- Jöhr M, Schuhmacher P, Lippuner T: Kinderanästhesie – Info Stiftung für Patientensicherheit in der Anästhesie. http://www.sgarssar.ch/fileadmin/user_upload/Dokumente/Flyer_Sicherheitshinweise/1_11_Kinderflyer_2011_d_Website.pdf
- Weiss M, Vutsits L, Hansen TG, Engelhardt T: Safe anesthesia for every tot – The SAFETOTS initiative. *Curr Opin Anaesthesiol* 2015;28:302-307
- Lo C, Ormond G, McDougall R, Sheppard SJ, Davidson AJ: Effect of magnetic resonance imaging on core body temperature in anaesthetised children. *Anaesth Intensive Care* 2014; 42:333-339
- Machata AM, Willschke H, Kabon B, Prayer D, Marhofer P: Effect of brain magnetic resonance imaging on body core temperature in sedated infants and children. *Br J Anaesth* 2009;102: 385-389
- Hardman JG, Wills JS: The development of hypoxaemia during apnoea in children: A computational modelling investigation. *Br J Anaesth* 2006;97: 564-570
- Engelhardt T: Rapid sequence induction has no use in pediatric anesthesia. *Paediatr Anaesth* 2015;25:5-8
- de Graaff JC, Bijker JB, Kappen TH, van Wolfswinkel L, Zuithoff NP, Kalkman CJ: Incidence of intraoperative hypoxemia in children in relation to age. *Anesth Analg* 2013;117:169-175
- Drake-Brockman TF, Ramgolam A, Zhang G, Hall GL, von Ungern-Sternberg BS: The effect of endotracheal tubes versus laryngeal mask airways on perioperative respiratory adverse events in infants: a randomised controlled trial. *Lancet* 2017; Jan 17 [Epub ahead of print]
- Weiss M, Dullenkopf A, Fischer JE, Keller C, Gerber AC: Prospective randomized controlled multicentre trial of cuffed or uncuffed endotracheal tubes in small children. *Br J Anaesth* 2009;103: 867-873
- Sathyamoorthy M, Lerman J, Asariparampil R, Penman AD, Lakshminrusimha S: Stridor in neonates after using the Microcuff® and uncuffed tracheal tubes: A retrospective review. *Anesth Analg* 2015;121:1321-1324
- Weiss M, Knirsch W, Kretschmar O, Dullenkopf A, Tomasko M, Balmer C, et al: Tracheal tube-tip displacement in children during head-neck movement – A radiological assessment. *Br J Anaesth* 2006;96:486-491
- Böttcher-Haberzeth S, Dullenkopf A, Gitzelmann CA, Weiss M: Tracheal tube tip displacement during laparoscopy in children. *Anaesthesia* 2007;62:131-134
- Weiss M, Dullenkopf A, Böttcher S, Schmitz A, Stutz K, Gysin C, et al: Clinical evaluation of cuff and tube tip position in a newly designed paediatric preformed oral cuffed tracheal tube. *Br J Anaesth* 2006;97:695-700
- Luce V, Harkouk H, Brasher C, Michelet D, Hilly J, Maesani M, et al: Supraglottic airway devices vs tracheal intubation in children: A quantitative meta-analysis of respiratory complications. *Paediatr Anaesth* 2014;24:1088-1098
- Theiler LG, Kleine-Brueggeney M, Luepold B, Stucki F, Seiler S, Urwyler N, et al: Performance of the pediatric-sized i-gel compared with the Ambu AuraOnce laryngeal mask in anesthetized and ventilated children. *Anesthesiology* 2011;115:102-110
- Zahoor A, Ahmad N, Sereche G, Riad W: A novel method for laryngeal mask airway size selection in paediatric patients. *Eur J Anaesthesiol* 2012;29:386-390
- Jöhr M, Berger TM: Fiberoptic intubation through the laryngeal mask airway LMA as a standardized procedure. *Paediatr Anaesth* 2004;14: 614
- Kleine-Brueggeney M, Nicolet A, Nabecker S, Seiler S, Stucki F, Greif R, et al: Blind intubation of anaesthetised children with supraglottic airway devices AmbuAura-i and Air-Q cannot be recommended: A randomised controlled trial. *Eur J Anaesthesiol* 2015;32:631-639
- Berger TM: Neonatal resuscitation: Foetal physiology and pathophysiological aspects. *Eur J Anaesthesiol* 2012;29:362-370
- Roodman S, Bothwell M, Tobias JD: Bradycardia with sevoflurane induction in patients with trisomy 21. *Paediatr Anaesth* 2003;13:538-540
- Whyte SD, Nathan A, Myers D, Watkins SC, Kannankeril PJ, Etheridge SP, et al:

Review Articles

Medical Education

- The safety of modern anesthesia for children with long QT syndrome. *Anesth Analg* 2014;1194:932-938
24. Osthaus WA, Huber D, Beck C, Roehler A, Marx G, Hecker H, et al: Correlation of oxygen delivery with central venous oxygen saturation, mean arterial pressure and heart rate in piglets. *Paediatr Anaesth* 2006;16:944-947
 25. Munro MJ, Walker AM, Barfield CP: Hypotensive extremely low birth weight infants have reduced cerebral blood flow. *Pediatrics* 2004;114:1591-1596
 26. McCann ME, Schouten AN: Beyond survival; influences of blood pressure, cerebral perfusion and anesthesia on neurodevelopment. *Paediatr Anaesth* 2014;24:68-73
 27. McCann ME, Schouten AN, Dobija N, Munoz C, Stephenson L, Poussaint TY, et al: Infantile postoperative encephalopathy: Perioperative factors as a cause for concern. *Pediatrics* 2014;133: e751-e757
 28. Nafiu OO, Kheterpal S, Morris M, Reynolds PI, Malviya S, Tremper KK: Incidence and risk factors for preincision hypotension in a noncardiac pediatric surgical population. *Paediatr Anaesth* 2009;19:232-239
 29. Nafiu OO, Voepel-Lewis T, Morris M, Chimbi WT, Malviya S, Reynolds PI, et al: How do pediatric anesthesiologists define intraoperative hypotension? *Paediatr Anaesth* 2009;19:1048-1053
 30. Rhondali O, Mahr A, Simonin-Lansiaux S, De Queiroz M, Rhzioual-Berrada K, Combet S, et al: Impact of sevoflurane anesthesia on cerebral blood flow in children younger than 2 years. *Paediatr Anaesth* 2013;23:946-951
 31. Rhondali O, Juhel S, Mathews S, Cellier Q, Desgranges FP, Mahr A, et al: Impact of sevoflurane anesthesia on brain oxygenation in children younger than 2 years. *Paediatr Anaesth* 2014;24: 734-740
 32. Rhondali O, Pouyau A, Mahr A, Juhel S, De Queiroz M, Rhzioual-Berrada K, et al: Sevoflurane anesthesia and brain perfusion. *Paediatr Anaesth* 2015;25:180-185
 33. de Graaff JC, Cuper NJ, Mungra RA, Vlaardingerbroek K, Numan SC, Kalkman CJ: Near-infrared light to aid peripheral intravenous cannulation in children: A cluster randomised clinical trial of three devices. *Anaesthesia* 2013;68:835-845
 34. Neuhaus D: Intraosseous infusion in elective and emergency pediatric anesthesia: When should we use it? *Curr Opin Anaesthesiol* 2014;27:282-287
 35. Neuhaus D, Weiss M, Engelhardt T, Henze G, Giest J, Strauss J, et al: Semielective intraosseous infusion after failed intravenous access in pediatric anesthesia. *Paediatr Anaesth* 2010;20:168-171
 36. Wilson G, Engelhardt T: Who needs an IV? Retrospective service analysis in a tertiary pediatric hospital. *Paediatr Anaesth* 2012;22:442-444
 37. Corcoran T, Rhodes JE, Clarke S, Myles PS, Ho KM: Perioperative fluid management strategies in major surgery: A stratified meta-analysis. *Anesth Analg* 2012;114: 640-651
 38. Doherty M, Buggy DJ: Intraoperative fluids: How much is too much? *Br J Anaesth* 2012;109:69-79
 39. Mandee S, Butmangkun W, Aroonpruksakul N, Tantemsapya N, von Bormann B, Suraseranivongse S: Effects of a restrictive fluid regimen in pediatric patients undergoing major abdominal surgery. *Paediatr Anaesth* 2015;25: 530-537
 40. Goodarzi M, Matar MM, Shafa M, Townsend JE, Gonzalez I: A prospective randomized blinded study of the effect of intravenous fluid therapy on postoperative nausea and vomiting in children undergoing strabismus surgery. *Paediatr Anaesth* 2006;16:49-53
 41. Elgueta MF, Echevarria GC, De la FN, Cabrera F, Valderama A, Cabezon R, et al: Effect of intravenous fluid therapy on postoperative vomiting in children undergoing tonsillectomy. *Br J Anaesth* 2013;110:607-614
 42. Moritz ML, Ayus JC: Prevention of hospital-acquired hyponatremia: A case for using isotonic saline. *Pediatrics* 2003; 111:227-230
 43. Sicot C, Laxenaire MC: Death of a child due to posttonsillectomy hyponatraemic encephalopathy. *Ann Fr Anesth Réanim* 2007;26:893-896
 44. Wang J, Xu E, Xiao Y: Isotonic versus hypotonic maintenance IV fluids in hospitalized children: A meta-analysis. *Pediatrics* 2014;133:105-113
 45. Raghunathan K, Bonavia A, Nathanson BH, Beadles CA, Shaw AD, Brookhart MA, et al: Association between initial fluid choice and subsequent in-hospital mortality during the resuscitation of adults with septic shock. *Anesthesiology* 2015;123: 1385-1393
 46. Dennhardt N, Beck C, Huber D, Nickel K, Sander B, Witt LH, et al: Impact of pre-operative fasting times on blood glucose concentration, ketone bodies and acid-base balance in children younger than 36 months: A prospective observational study. *Eur J Anaesthesiol* 2015;32:857-861
 47. Sümpelmann R, Becke K, Crean P, Jöhr M, Lonnqvist PA, Strauss JM, et al: European consensus statement for intraoperative fluid therapy in children. *Eur J Anaesthesiol* 2011;28:637-639
 48. Witt L, Osthaus WA, Lucke T, Juttner B, Teich N, Janisch S, et al: Safety of glucose-containing solutions during accidental hyperinfusion in piglets. *Br J Anaesth* 2010;105:635-639
 49. Sümpelmann R, Kretz FJ, Luntzer R, de Leeuw TG, Mixa V, Gabler R, et al: Hydroxyethyl starch 130/0.42/6:1 for perioperative plasma volume replacement in 1130 children: Results of an European prospective multicenter observational postauthorization safety study PASS. *Paediatr Anaesth* 2012;22:371-378
 50. Sümpelmann R, Becke K, Brenner S, Breschan C, Eich C, Höhne C, et al: Perioperative intravenous fluid therapy in children: Guidelines from the Association of the Scientific Medical Societies in Germany. *Paediatr Anaesth* 2016 Oct 17 doi: 10.1111/pan.13007. [Epub ahead of print].

Korrespondenz-
adresse

**Dr. med.
Martin Jöhr**

Klinik für Anästhesie, Rettungsmedizin
und Schmerztherapie
Luzerner Kantonsspital
6000 Luzern 16, Schweiz
Tel.: ++41 79 446 9176
Fax: ++41 41 370 5427
E-Mail: joehrmartin@bluewin.ch