

## Perioperatives Wärme- management bei Kindern

### Zusammenfassung

Kinder sind besonders vulnerabel für die Entwicklung von perioperativer Hypothermie. Grundsätzlich gilt: Je kleiner das Kind, desto größer die Empfindlichkeit für Wärmeverlust. Hypothermie kann bei Neugeborenen zur vital bedrohlichen Trias Hypoxämie, metabolischer Azidose und Hypoglykämie führen und ist mit erhöhter Morbidität wie Apnoe, Beatmungspflichtigkeit, Arrhythmie, Infektion, intraventrikulärer Hirnblutung, prolongiertem Krankenhausaufenthalt und schlechterem neurologischen Behandlungsergebnis assoziiert. Retrospektive Untersuchungen zeigen, dass perioperative Hypothermie zu vermehrten Wundheilungsstörungen, höherem Blutverlust und Transfusionsbedarf sowie längerem Aufenthalt im Aufwachraum, auf der Intensivstation und in der Klinik führt. Zur Vermeidung von perioperativer Hypothermie sollte kritisch geprüft werden, ob bei Früh- oder Neugeborenen der geplante Eingriff auf der Intensivstation erfolgen kann, da Transporte bei diesen Kindern mit einem erhöhten Hypothermierisiko einhergehen. Die OP-Saal-Temperatur sollte für Eingriffe bei Kindern erhöht und eine Auskühlung vor Narkose sollte durch aktive Vorwärmung verhindert werden. Während der Narkose sollte eine aktive Wärmetherapie über die Körperoberfläche durchgeführt werden. Wenn größere Infusionsvolumina appliziert werden müssen, sollte zusätzlich Infusionswärmung verwendet werden. Damit Temperaturveränderungen erkannt und

## Perioperative temperature management in children

A. Bräuer<sup>1</sup> · M. Nemeth<sup>1</sup> · A. Fazliu<sup>1</sup> · I.M. Eberhardt<sup>1</sup> · D. Stein<sup>1</sup> · C. Miller<sup>2</sup>



www.ai-online.info

► **Zitierweise:** Bräuer A, Nemeth M, Fazliu A, Eberhardt IM, Stein D, Miller C: Perioperatives Wärmemanagement bei Kindern. *Anästh Intensivmed* 2024;65:28–37. DOI: 10.19224/ai2024.028

therapiert werden können, ist eine akkurate Erfassung der Körperkerntemperatur bei Kindern obligat.

### Summary

Children are particularly vulnerable to develop perioperative hypothermia. In general, the smaller the child, the greater the sensitivity to heat loss. In newborns, hypothermia can lead to the life-threatening triad of hypoxemia, metabolic acidosis and hypoglycemia, and is associated with increased morbidity such as apnea, the need for mechanical ventilation, arrhythmia, infection, intraventricular cerebral haemorrhage, prolonged hospital stays and poor neurological outcome. Retrospective studies showed that perioperative hypothermia leads to increased surgical site infections, higher blood loss, and the need for transfusion, longer stay in the recovery room, in the intensive care unit, and overall longer hospital stay. To avoid perioperative hypothermia, it should be critically examined whether the planned procedure can be performed in the intensive care unit in premature or newborn infants, since transportation in these children is associated with an increased risk of hypothermia. The operating room temperature should be increased for pediatric surgical procedures. Heat loss before induction of anesthesia should be prevented by active prewarming. During anesthesia, active warming therapy should be applied to the body surface. If larger amounts of fluids are given, infusion warming should be used in

### 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](http://www.cme-anesthesiologie.de) anmelden, um auf das Kursangebot zugreifen zu können.

- 1 Klinik für Anästhesiologie, Universitätsmedizin Göttingen  
(Direktor: Prof. Dr. K. Meissner)
- 2 Neurochirurgische Intensivmedizin, Universitätsklinik für Neurochirurgie Innsbruck  
(Direktor: Prof. Dr. C. Thomé)

### Interessenkonflikt

AB war in den letzten 2 Jahren im Advisory Board der Firmen 37 Company und 3M tätig. Des Weiteren hat er Honorare für Vorträge und/oder Gutachten von den Firmen 3M, 37 Company sowie Moeck & Moeck erhalten. Alle anderen Autoren haben keinen Interessenkonflikt.

### Schlüsselwörter

Perioperative Hypothermie – Kinder – Vorwärmung – Konvektive Luftwärmung – Messung der Körperkerntemperatur

### Keywords

Perioperative Hypothermia – Children – Prewarming – Forced-air Warming – Measurement of Core Temperature

addition. In order to recognize and treat changes in core temperature, accurate measurement of the core temperature of children is mandatory.

## Einleitung

### Geschichtliche Aspekte

In den 1950er und 1960er Jahren wurde eine perioperative Hypothermie erstmals mit unerwünschten Nebenwirkungen in Verbindung gebracht. Insbesondere in der Kinderanästhesie wurde beobachtet, dass **hypotherme Säuglinge** postoperativ lethargisch waren und eine **Atemdepression** aufwiesen [1]. In Fallserien aus dieser Zeit war eine schwere Hypothermie bei Säuglingen sogar mit einer **erhöhten perioperativen Letalität** assoziiert [2]. Deshalb wurde 1953 erstmals der Einsatz einer elektrischen Wärmendecke beschrieben [3], gefolgt von der ersten Verwendung einer erwärmten Wassermatte bei Säuglingen [4] und von konvektiven Luftwärmesystemen 1973 [5].

### Definitionen

Die normale Körperkerntemperatur (KKT) liegt zwischen 36,0 °C und 37,5 °C und bei Kindern < 5 Jahren zwischen 36,5 °C und 38,0 °C [6]. Ein Unterschreiten dieser Temperaturwerte im perioperativen Setting wird als perioperative Hypothermie bezeichnet. Eine KKT < 35,0 °C kann bei Kindern als schwere perioperative Hypothermie bezeichnet werden.

Eine KKT > 38 °C ist als perioperative Hyperthermie definiert.

### Häufigkeit von perioperativer Hypothermie bei Kindern

Obwohl Kinderanästhesist\*innen die ersten waren, die wirksame Maßnahmen gegen perioperative Hypothermie ergriffen, werden Säuglinge und Kinder auch heute noch häufig hypotherm. Physiologische Besonderheiten dieser Patient\*innengruppe einerseits und ein unzureichendes perioperatives Wärmemanagement andererseits könnten Gründe dafür sein.

In zwei großen retrospektiven Studien mit 6.737 Kindern [7] bzw. 530 Kindern [8] wurde das Auftreten von postoperativer Hypothermie in 45 % bzw. 52 % beobachtet; während weitere Studien bei Frühgeborenen, Neugeborenen und Säuglingen über Prävalenzen von >80 % berichteten [9–12]. Im Gegensatz dazu konnte gezeigt werden, dass bei **Anwendung eines geeigneten perioperativen Wärmemanagements** die Hypothermierate unter 10 % liegen kann [13–16], selbst bei Frühgeborenen [17]. Die große Diskrepanz legt nahe, dass die Prävalenz von perioperativer Hypothermie eher von der verwendeten Wärmestrategie und weniger von Patient\*innenfaktoren abhängt, wie zum Beispiel dem Lebensalter oder der operativen Prozedur. Um dies besser zu verstehen, lohnt sich ein genauerer Blick auf die Entwicklung von perioperativer Hypothermie.

### Entstehung von perioperativer Hypothermie

**Kinder sind besonders vulnerabel für die Entwicklung von perioperativer Hypothermie. Grundsätzlich gilt: Je kleiner das Kind, desto größer die Empfindlichkeit für Wärmeverlust.**

Dies liegt hauptsächlich an **vier physiologischen Ursachen**:

- größeres Verhältnis von Körperoberfläche zu Gewicht,
- in Relation zum Rest des Körpers größerer Kopf,
- noch nicht voll entwickelte thermoregulatorische Fähigkeiten und
- geringere Wärmeisolierung durch wenig ausgebildetes subkutanes Fettgewebe, v. a. bei Früh- und Neugeborenen [18, 19].

### Thermoregulation

Da von der KKT eine Vielzahl physiologischer Prozesse abhängen, muss sie über autonome Thermoregulationsmechanismen konstant gehalten werden. Innerhalb einer **thermoneutralen Umgebung** muss der menschliche Körper keine zusätzlichen Mechanismen für die Temperaturhomöostase aktivieren.

Welcher Bereich als thermoneutrale Umgebungstemperatur gilt, ist vom Lebensalter und von Begleitfaktoren abhängig: Ein noch nicht abgetrocknetes, gerade zur Welt gebrachtes Neugeborenes z. B. benötigt eine Umgebungstemperatur von 32 °C; ein abgetrocknetes und zugedecktes, auf dem Bauch der Mutter liegendes Neugeborenes nur noch 25–28 °C [20].

In einer nicht thermoneutralen Umgebung muss jedoch mittels Kompensationsmechanismen gegenreguliert werden. Primäre Mechanismen sind das Schwitzen und die periphere Vasodilatation im Falle einer Überhitzung, während Kältezittern und Vasokonstriktion einer Auskühlung entgegenwirken sollen. Da bei Neugeborenen die Wärmeproduktion durch Kältezittern nur eingeschränkt möglich ist, sind diese von der **zitterfreien Thermogenese** abhängig [21].

**Man muss sich klar machen, dass ein unbedecktes Neugeborenes bei einer Umgebungstemperatur von 23° Celsius etwa denselben Wärmeverlust hat wie ein unbedeckter Erwachsener bei 0 °C [20].**

### Risikofaktoren für die Entwicklung von perioperativer Hypothermie

#### Niedrige Raumtemperatur

Bei Raumtemperaturen unterhalb des thermoneutralen Bereichs kommt es bei Kindern rasch zum Wärmeverlust und zur Entwicklung von Hypothermie [18].

#### Alter der Kinder

Das bei kleinen Kindern größere Verhältnis von Körperoberfläche zu Gewicht trägt dazu bei, dass diese in einer kalten Umgebung, wie sie oftmals im OP vorherrschen, viel schneller auskühlen [22]. Insbesondere über den großen Kopf findet ein hoher Wärmeverlust statt.

#### Allgemeinanästhesie

Durch eine Allgemeinanästhesie wird die autonome Thermoregulation erheblich gestört. Mit Ausnahme von unreifen Früh- und Neugeborenen gibt es hier jedoch keinen relevanten Unterschied zu Erwachsenen. Auch bei Kindern gibt es keine Zeichen dafür, dass im Rahmen

einer intraoperativen Hypothermie eine zitterfreie Thermogenese stattfindet [23]. Die Wärmeumverteilung aus dem Körperkern in die Körperperipherie nach Einleitung einer Allgemeinanästhesie führt vor allem direkt nach Narkoseeinleitung zu einem Abfall der KKT [24].

**Eine Kaudalanästhesie zusätzlich zur Allgemeinanästhesie scheint hingegen kaum Auswirkungen auf die thermoregulatorische Vasokonstriktion zu haben [25].**

#### Weitere Risikofaktoren

Über die anatomisch-physiologischen Ursachen hinausgehend gibt es weitere Risikofaktoren:

- Eingriff im OP statt auf der Neugeborenen-Intensivstation [26]
- Interventionen im Herzkatheterlabor [27] oder z. B. bei Untersuchungen im Magnetresonanztomographen
- Unterlassen eines adäquaten KKT-Monitorings
- niedrige Ausgangstemperatur [8,28]
- Art und Dauer des Eingriffs [8,28]
- hoher Blutverlust und Transfusionsbedarf [8,28].

Ein weiterer Risikofaktor könnte sein, dass aufgrund von fehlender Routine bei

der Durchführung von Kindernarkosen das Augenmerk nicht auf der Körpertemperatur des Kindes liegt, sodass die KKT-Messung und ein zeitgerechtes Wärmemanagement in den Hintergrund treten.

#### Komplikationen durch Hypothermie bei Neugeborenen

Wichtige Erkenntnisse zu Hypothermiebedingten Komplikationen stammen aus der Neonatologie. Kältestress kann mehrere physiologische Vorgänge triggern, wie z. B. katecholaminerge Reaktion, verminderte Surfactant-Synthese, Vasokonstriktion und gesteigerten Metabolismus.

**Hypothermie kann bei Neugeborenen zur vital bedrohlichen Trias Hypoxämie, metabolische Azidose und Hypoglykämie führen (Abb. 1) [29] und ist mit einer erhöhten Morbidität wie Apnoe, Beatmungspflichtigkeit, Arrhythmie, Infektion, intraventrikulärer Hirnblutung, prolongiertem Krankenhausaufenthalt und schlechterem neurologischen Behandlungsergebnis assoziiert [30,31].**

Hinsichtlich des Einflusses von perioperativer Hypothermie bei Früh- und Neugeborenen gibt es nur wenige Untersuchungen. Morehouse et al. beobachteten signifikant häufiger respiratorische Komplikationen [26]. Hypotherme Früh- und Neugeborene erhielten zudem sechsmal mehr Maßnahmen zur Stabilisierung des Wärmehaushalts, mussten fünfmal häufiger kardiozirkulatorisch unterstützt werden und hatten eine dreimal höhere Wahrscheinlichkeit, beatmet werden zu müssen.

#### Komplikationen durch perioperative Hypothermie bei Säuglingen und Kindern

Auch bei Säuglingen und älteren Kindern ist die Datenlage zu Hypothermiebedingten Nebenwirkungen gering. Von Studien bei **Erwachsenen** ist bekannt, dass perioperative Hypothermie mit Störungen wie

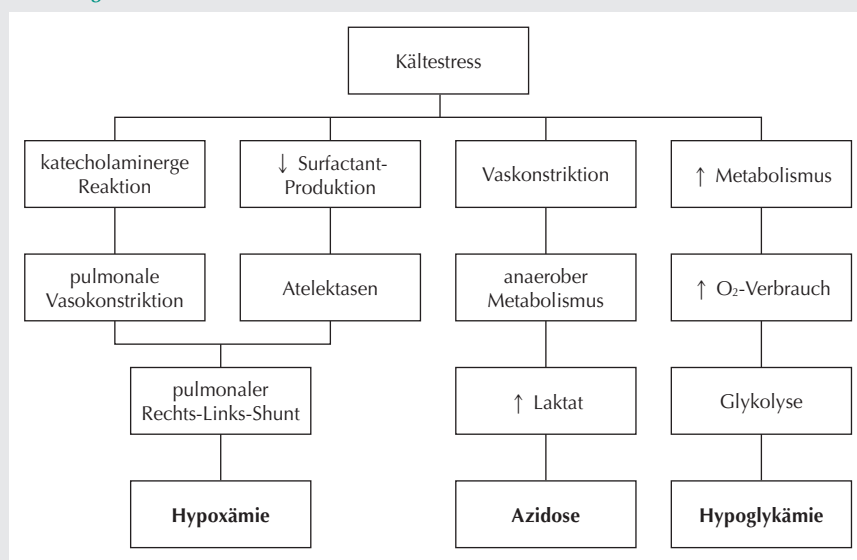
- Koagulopathie,
- erhöhtem Transfusionsbedarf,
- kardialen Komplikationen,
- vermehrten Wundinfektionen und
- verlängerter Wirkdauer von Arzneimitteln (v. a. Muskelrelaxantien)

assoziiert ist. Zudem resultiert Hypothermie postoperativ in reduziertem thermischem Komfort, verlängerter postoperativer Erholungszeit und längerem Krankenhausaufenthalt [32].

Auch wenn vermutet wird, dass viele Hypothermie-assoziierten Komplikationen in ähnlicher Weise auch bei **Kindern** zutreffen, existieren für diese Altersgruppen nur wenige, zumeist retrospektive Untersuchungen. Diese zeigen:

- vermehrt Wunddehiszenzen [7]
- mehr Wundinfektionen [11]
- höherer Blutverlust und Transfusionsbedarf [11,33]
- längerer Aufenthalt im Aufwachraum [11]
- häufigere Aufnahme auf der Intensivstation [11]
- längere Nachbeatmung auf der Intensivstation [11]
- längerer Intensivaufenthalt [11]
- längerer Krankenhausaufenthalt [11].

Abbildung 1



Pathophysiologische Mechanismen und resultierende Nebenwirkungen infolge von Kältestress bei Früh- und Neugeborenen (nach [29]).

## Hypothermieprävention

Den besonderen Herausforderungen bei Kindern gilt es von **organisatorischer Seite** Beachtung zu widmen. Da die **Einstellung einer erhöhten OP-Saaltemperatur** nicht in jedem OP-Saal möglich ist, müssen diese Eingriffe in speziell ausgebauten und ausgerüsteten OP-Sälen stattfinden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Aufwärmen eines OP-Saals je nach technischer Ausrüstung bis zu 60 Minuten dauern kann [34]. Kurzfristige Umplanungen können daher zu inadäquat niedrigen OP-Saal-Temperaturen führen. Zusätzlich muss ein frühzeitig angekündigter, verzögerungsfreier Transport der Kinder von Station bzw. Intensivstation in den OP organisiert werden. Des Weiteren müssen in diesen OP-Sälen speziell auf pädiatrische Patienten zugeschnittene Wärmegeräte bzw. Wärmendecken vorhanden sein.

## Wärmemanagement vor Narkoseeinleitung

### Wärmetherapie auf dem Transport

**Transporte in den OP gehören zu den Ursachen für die Entstehung und Verschlechterung einer Hypothermie bei Früh- und Neugeborenen [35,36].**

Gerade in dieser sensiblen Patient\*innen-gruppe sollte die Indikation für einen Transport in den OP individuell geprüft werden, da viele operative und interventionelle Eingriffe auch auf der Intensivstation durchgeführt werden können (Abb. 2) [26]. Wenn diese Transporte nicht vermeidbar sind, so müssen sie sorgfältig geplant und vorbereitet werden. Da äußere Umgebungsfaktoren wie zugige Flure, die Einstellung der zentralen Klimaanlage oder längere Wege durch das versorgende Transportteam kaum beeinflussbar sind, sollten für den Transport eine **Kombination aus Wärmezufuhr und Wärmeerhalt** vorgehalten werden.

Abbildung 2



Operative Intervention auf Intensivstation.

**Für die kleinsten Kinder bietet sich der Transport im Inkubator beziehungsweise Wärmebett an. Durch die integrierte Temperatursteuerung und Wärmestrahlung wird eine Temperaturstabilität ermöglicht (Abb. 3).**

Vor allem Früh- und Neugeborene sowie kleine Kinder sollten vor dem Transport angekleidet werden und eine Kopfbedeckung erhalten. Plastik- oder Kunststoffkappen haben sich hier im Vergleich zu Baumwollmützen bezüglich des Wärmeerhalts als effektiver erwiesen [37].

**Lange Lagerungs- bzw. Umlagerungsmaßnahmen können schnell zu einer Auskühlung führen und sollten vermieden werden. Auf ein konsequentes Ab- und Zudecken freiliegender Körperstellen ist zu achten.**

Auch während des Transports ist eine kontinuierliche KKT-Messung erforderlich. Auf diese Weise kann ein gefährlicher Wärmeverlust frühzeitig erkannt

und rechtzeitig interveniert werden. Die Erstellung einer interdisziplinären Checkliste bzw. Verfahrensanleitung für den Transport von Früh- und Neugeborenen sowie kritisch kranken Kindern kann das Auftreten von Komplikationen wie Hypothermie reduzieren [36].

### Raumtemperatur

**Die OP-Saaltemperatur sollte für Kindernarkosen angehoben werden. Hohe OP-Saaltemperaturen sind erwiesenermaßen wirksam, um den initialen Abfall der Kerntemperatur nach Narkoseeinleitung zu reduzieren [34,38] und tragen zur Vermeidung von Hypothermie bei [18]. Dabei gilt eine Erhöhung der Raumtemperatur auf 32 °C für Neugeborene als angemessen, während bei Säuglingen Raumtemperaturen über 24 °C empfohlen werden [6].**

Neben der erhöhten Raumtemperatur ist es von größter Bedeutung, schon vor der Narkoseeinleitung mit einer **aktiven Wärmetherapie** zu beginnen. Am einfachsten ist es, das Kind auf eine bereits

Abbildung 3



Transport eines Säuglings im Wärmebett.

Abbildung 4



Narkoseeinleitung bei einem Neugeborenen.

vorgewärmte konvektive Unterlegdecke zu legen. Erst dann wird das Kind so weit wie erforderlich entkleidet und unnötig exponierte Körperoberfläche wieder zudeckt. So können Wärmeverluste weitest möglich reduziert werden (Abb. 4).

### Vorwärmung

Bei Erwachsenen wird eine **aktive Vorwärmung von mindestens 10 Minuten** empfohlen [6], um die Wärmeumverteilung vom warmen Körperkern zur kälteren Peripherie zu verringern [39]. Bei Kindern ist die Masse des Körperkerns (Kopf und Rumpf) im Verhältnis zur Körperperipherie (Arme und Beine) deutlich größer als bei Erwachsenen. Daher wird nach Narkoseeinleitung bei Kindern weniger Wärme in die Peripherie umverteilt als bei Erwachsenen. Andererseits kühlen kleinere Kinder durch den konvektiven Wärmeverlust viel schneller aus, was durch Vorwärmung und Isolation minimiert werden kann. Aus physiologischer Sicht handelt es sich also mehr um eine aktive Wärmetherapie zur Vermeidung von Auskühlung vor der Narkoseeinleitung als um eine aktive Vorwärmung zur Verringerung der Wärmeverteilung. Aus praktischer Sicht ist es jedoch die gleiche Maßnahme.

### Intraoperative Wärmetherapie

#### Aktive Wärmetherapie über die Körperoberfläche

Intraoperativ ist es essentiell, die aktive Wärmetherapie fortzuführen. Das geringe Verhältnis von Gewicht zu Körperoberfläche führt zwar einerseits dazu, dass Kinder in kalter Umgebung schneller auskühlen, andererseits gelingt auch eine schnellere (Wieder-)Erwärmung als bei Erwachsenen, wenn konvektive Luftwärmer eingesetzt werden [22,40, 41]. Daher ist es bei Kindern in der Regel einfacher, sie vor perioperativer Hypothermie zu bewahren [40–42]. **Konduktive Wärmegeräte** z. B. in Form von elektrisch beheizten Matten werden bei Kindern nur selten eingesetzt [43,44]. Dies liegt daran, dass es bei Kindern schwierig ist, einen großflächigen und guten Kontakt zwischen der Oberfläche des Wärmesystems und der

Haut herzustellen. Dies ist jedoch unbedingt erforderlich, damit ein konduktives Wärmesystem effizient sein kann [45]. Bei Früh- oder Neugeborenen können auch **moderne Wärmestrahler** eingesetzt werden.

**Beim Einsatz der aktiven Wärmetherapie ist es wichtig, dass diese möglichst kontinuierlich durchgeführt wird. Unterbrechung der konvektiven Luftwärmung erhöht das Risiko einer intraoperativen Hypothermie unnötig.**

Dieses Risiko steigt, je länger die Wärmetherapie unterbrochen wird [46]. Die Frage, ob während des Lagerns und der Desinfektion des Operationsgebietes weiter mittels konvektiver Luftwärmung gewärmt werden darf, führt immer wieder zu Diskussionen im Behandlungsteam. Bislang gibt es keine Hinweise darauf, dass die aktive Wärmetherapie beim Lagern und Abdecken das Infektionsrisiko erhöht [47].

### Isolation, Anwärmung von Spüllösungen und Atemgaskonditionierung

Die Teile der Körperoberfläche, die nicht aktiv gewärmt werden können, sollten isoliert werden, um den Wärmeverlust zu reduzieren. Intraoperativ eingesetzte Spüllösungen sollten auf Körpertemperatur erwärmt werden. So können z. B. Spüllösungen im Rahmen von laserchirurgischen urogenitalen Eingriffen oder bei intraventrikulärer Lavage in der Kinderneurochirurgie gut mit **Infusionswärmern** erwärmt werden. Aktive oder passive **Atemgaskonditionierung** reduziert die Wärmeverluste aus den Atemwegen. Dies scheint bei kleinen Kindern etwas wichtiger zu sein als bei Erwachsenen, da kleine Kinder ein höheres Atemminutenvolumen pro Kilogramm Körpergewicht aufweisen [48].

### Infusionswärmung

Eine intraoperative Basisinfusion von 10 ml/kg/h gilt als Standard in der Kinderanästhesie [49]. Dies entspräche einer Infusionsrate von etwa 700 bis 1.000 ml/h bei Erwachsenen. Bei derart hohen

Infusionsraten empfehlen die Leitlinien für Erwachsene eine konsequente Anwendung von Infusionserwärmung [6]. Dennoch werden bei Kindern auch ohne Einsatz von Infusionswärmung für die Basisinfusion niedrige Hypothermieraten erzielt [15,16,42]. Die kontinuierlichen Wärmeverluste durch die Basisinfusion können in der Regel durch die Erwärmung der Körperoberfläche mittels konvektiver Luftwärmung ausgeglichen werden.

**Wenn große Infusionsmengen und Blutprodukte eingesetzt werden müssen, sollten auch bei Kindern Infusionslösungen und Blutprodukte mit einem Blut- und Flüssigkeitswärmer erwärmt werden [50].**

Im Gegensatz zu Erwachsenen sind bei Kindern die absoluten Infusionsraten (in ml/h) relativ gering. Daher sollte das Infusionssystem nach dem Wärmetauscher des Infusionswärmers möglichst kurz sein, um relevante Wärmeverluste der Infusion auf dem Weg vom Wärmetauscher zur Vene zu verhindern.

Infusionswärmer, welche Aluminium in die Infusionslösung abgeben können, sollten heutzutage unter keinen Umständen mehr verwendet werden, da Aluminium toxisch ist [51]. Diese Geräte wurden inzwischen vom Markt genommen.

### Messung der Körperkern-temperatur

**Damit Temperaturveränderungen erkannt und therapiert werden können, benötigt es eine akkurate Messung der Körperkerntemperatur [52].**

Ein **ideales Temperaturmonitoring**

- misst akkurat,
- ist praktikabel,
- ist nicht-invasiv,
- erlaubt eine kontinuierliche Messung über die ganze perioperative Periode und
- ist für alle Altersgruppen und Prozeduren wie Monitored-Care-

Anästhesien, prozedurale Sedierungen oder alleinige Regionalanästhesien tolerabel [29].

Kürzlich untersuchte Sensoren auf Basis der (Zero-)Heat-Flux-Technologie, die all diese Voraussetzungen potenziell erfüllen, offenbaren jeweils noch Schwächen, die bedacht werden müssen [15, 16,53]. Daher – und wegen der hohen Kosten dieser Verfahren – wird meist auf bewährte (semi-)invasive Messverfahren zurückgegriffen. Am häufigsten geschieht dies bei Kindern durch **oro- und nasopharyngeale sowie rektale Messungen** [54]. Im Allgemeinen entstehen durch diese Messverfahren selten relevante Probleme [29]. Es gibt jedoch Einzelfallberichte über kritische Fehllagen und Einklemmungen von Sonden [55]. Besonders der Nasopharynx ist eine zuverlässige Lokalisation zur Messung der KKT [56]. Für die Einführtiefe nasopharyngealer Temperatursonden bei Kindern gibt es allerdings erst seit kurzem standardisierte Empfehlungen auf Grundlage des Lebensalters [57] oder der Körpergröße [58]. Beide Empfehlungen zielen darauf ab, das Ende der Temperatursonde an jenem Punkt im oberen Nasopharynx zu platzieren, welcher der Arteria carotis interna am nächsten liegt.

**Ösophageale Messungen** reflektieren die KKT ebenfalls akkurat [59], wenn das Ende der Temperatursonde im unteren Drittel des Ösophagus zwischen linkem Vorhof des Herzens und der Aorta descendens platziert wird [60]. Dann besteht keine Gefahr von Einflüssen durch potenziell kühlende Atemwege [61]. In der S3-Leitlinie wird darüber hinaus bei Kindern bis zum zweiten Lebensjahr die rektale Messung empfohlen [6], welche aber bei rascheren Veränderungen der KKT signifikant nachhinkt.

Die **Infrarotmessung der Körpertemperatur im Gehörgang** ist zwar sehr weit verbreitet und beliebt, jedoch aufgrund der Anatomie des Ohrkanals oft ungenau, da meist nur die kutane Oberflächentemperatur des Gehörgangs anstatt jene der Membrana tympanica erfasst wird [52]. **Axilläre und enorale Messungen** sind nicht akkurat genug und reflektieren, wie auch die **vesikale Messung** (nach Anlage eines Blasenka-

theters mit integriertem Thermistor), die KKT insbesondere bei raschen Temperaturveränderungen nur mit zeitlicher Verzögerung. Periphere Körperstellen sind zum perioperativen Monitoring der KKT ungeeignet [52].

### Wärmetherapie im Aufwachraum

Ähnlich wie bei Erwachsenen sollte eine Extubation nicht durchgeführt werden, wenn Kinder erheblich unterkühlt sind. In diesem Fall sollten sie noch in Narkose wiedererwärmt werden. Sichere Temperaturgrenzen, bei denen die Narkose beendet werden kann, sind nicht bekannt [6]. Nach der Narkoseausleitung sollte jedes Kind in ein **vorgewärmtes Bett** zurückkehren.

Bei Aufnahme im Aufwachraum sollte die KKT gemessen werden, um eine Unterkühlung zu erkennen, die nach Beendigung der kontinuierlichen Messung im OP während dem Transport in den Aufwachraum entstanden ist. Zu diesem Zweck sollte nach Möglichkeit eine nicht-invasive Methode verwendet werden. Wenn das Kind hypotherm ist, sollte eine **aktive Wiedererwärmung** mittels konvektiver Luftwärmung durchgeführt werden, bevor das Kind den Aufwachraum verlässt.

Abgesehen von Neugeborenen weisen Kinder, welche postoperativ deutlich hypotherm sind, ebenso wie Erwachsene **thermoregulatorisches Kältezittern** auf [62]. Dieses erfordert neben der postoperativen Wärmetherapie manchmal auch eine medikamentöse Therapie mit **Clonidin**. Alternativ kann der Anti-Shivering-Effekt von **Nalbuphin** ausgenutzt werden [63]. Eine solche medikamentöse Therapie ist zwar ein „off label use“ dieser Substanzen, aber in Studien als effektiv und nebenwirkungsarm beschrieben [64].

### Risiken von aktiver Wärmetherapie

#### Allgemeine Betrachtungen

Perioperative Wärmetherapie ist im Allgemeinen sehr sicher, und die Vorteile überwiegen massiv die wenigen uner-

wünschten Ereignisse, die bei der aktiven Wärmetherapie auftreten können.

### Risiken konvektiver Luftwärmung Verbrennungen

**Verbrennungen sind die gefürchtetste Komplikation. Konvektive Luftwärmung ist ein extrem sicheres Verfahren mit etwa 15 bis 25 Millionen Anwendungen pro Jahr und nur circa einem einzigen gemeldeten Fall von Verbrennungen pro Jahr [65]. Die häufigste Ursache ist dabei die unzulässige Verwendung eines konvektiven Luftwärmers ohne dazugehörige Wärmedecke [66].**

Allerdings wurden auch Fälle von Verbrennungen veröffentlicht, bei denen eine passende Wärmedecke ordnungsgemäß an das Gerät angeschlossen war. In diesem Fall können Verbrennungen entstehen, wenn die Gebläsedüse einen direkten Hautkontakt hat [67], da die Düse einer der wärmsten Teile des Geräts ist. Auch eine kritische reduzierte Gewebedurchblutung kann dazu prädisponieren [68].

#### Abknicken von Endotrachealtuben

Bei der Anwendung von konvektiver Luftwärmung kann es zum Erweichen und Abknicken von Endotrachealtuben mit konsekutiven Beatmungsproblemen kommen, wenn dies nicht rechtzeitig erkannt wird [69].

#### Lärm

Konvektive Luftwärmer können bis zu 84 dB Lärm erzeugen [70], welcher die Konzentration des OP-Personals stören kann. Meist stellt dies jedoch kein echtes Problem dar.

### Risiken konduktiver Wärmetherapie

Auch bei konduktiver Erwärmung besteht eine **geringe Gefahr von Verbrennungen**. Erste Berichte über deletäre Verbrennungen bei konduktiven Wärmern stammen aus den 1960er Jahren [71], bei denen Kinder großflächige Verbrennungen dritten Grades erlitten [72]. Auch mit heutigen Systemen besteht prinzipiell ein Verbrennungsrisiko.

**Insbesondere die Kombination von Druck und Wärme kann das Risiko von Verbrennungen erhöhen.**

### Risiken von Infusionswärmung

#### Gefahr von Verbrennungen

Wenn die erwärmten Flüssigkeiten erheblich zu heiß sind, kann es auch durch Infusionswärmung zu Verbrennungen und Thrombosen kommen [73]. Darüber hinaus kann auch der Kontakt der Infusionswärmeleitung mit der Haut zu Verbrennungen führen [74].

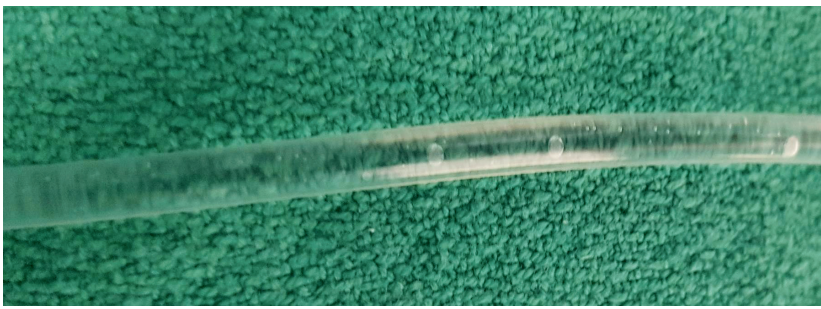
#### Risiken von Infektionen und Hämolyse

Infusionswärmer, die Wasser als Wärmeaustauschmedium verwenden, können ein Risiko infektiöser Komplikationen bergen. Im Wasser dieser Infusionswärmer wurden teilweise mehr als 100.000 Kolonien gramnegativer Organismen nachgewiesen. Wenn Lecks in solchen Infusionswärmern auftreten, kann es zu einer Vermischung der sterilen Infusionsflüssigkeit mit der bakteriell kontaminierten Erwärmungsflüssigkeit kommen. Dies kann zu Bakteriämien, Elektrolytstörungen und Hämolysen führen [75].

#### Luftembolie

Ein grundsätzliches Problem der Erwärmung von Infusionslösungen besteht darin, dass mit steigender Temperatur die Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten oder Blut abnimmt, was zur Bildung von stickstoffhaltigen Blasen führt. Diese Gasbläschen sind praktisch immer bei der Anwendung von Infusionswärmern zu sehen (Abb. 5). Diese Luftbläschen werden normalerweise in der pulmonalen Strombahn aufgefangen und sind auch bei Kindern nicht mit klinischen Problemen verbunden. Es gibt jedoch auch die Möglichkeit, dass bei **Kindern mit angeborenen Herzfehlern**, die unter bestimmten hämodynamischen Konstellationen einen Rechts-Links-Shunt haben (z. B. offenes Foramen ovale, Vorhof- und Ventrikelseptumdefekte, Transposition der großen Arterien, Fallot-Tetralogie) Luftembolien im Gehirn oder in anderen Organen auftreten.

Abbildung 5



Gasbläschen nach Flüssigkeitserwärmung in einer Infusionsleitung.

**Es muss betont werden, dass das Ausgasen bei der Erwärmung von kalten Flüssigkeiten ein Prozess ist, der bei Erwärmung dieser Flüssigkeiten immer auftritt und kein Problem der Infusionswärmer per se ist. Wird keine Infusionswärmung eingesetzt, findet dieser Prozess im Blut statt.**

### Entstehung von perioperativer Hyperthermie

Perioperative Temperaturerhöhungen haben verschiedene Ursachen. Pathophysiologisch kann zwischen **Fieber** und **Hyperthermie** differenziert werden: Während Fieber eine regulierte Erhöhung der KKT ist, entsteht Hyperthermie durch ein Ungleichgewicht zwischen Wärmeproduktion und -abgabe. Infektionen und Sepsis sind als Hauptursache für Fieber häufig auftretende Gründe für perioperative Temperaturerhöhungen, jedoch sollten gerade bei unklarer Genese auch andere Ursachen bedacht werden. Dazu gehören unter anderem

- Vergiftungen und Toxine,
- Blut im Ventrikelsystem,
- Medikamentenentzug,
- Serotonin-Syndrom bzw. malignes neuroleptisches Syndrom,
- thyreotoxische Krise oder
- Transfusionsreaktionen.

Eine **maligne Hyperthermie** kann sich ebenfalls in einer Temperaturerhöhung äußern [76]. Eine weitere und häufige Ursache ist eine iatrogene perioperative

Hyperthermie durch zu hohe oder lange andauernde Wärmezufuhr [41, 77]. Dies kann aus einer zu aggressiven Wärmestrategie mit dem Ziel der unbedingten Vermeidung von intraoperativen Hypothermien resultieren oder durch eine zu späte Reduktion der Temperatureinstellung des konvektiven Luftwärmesystems [40]. Einer kürzlich durchgeführten Umfrage zufolge kommt eine iatrogene perioperative Hyperthermie sogar häufiger als eine perioperative Hypothermie vor [54].

Eine Hyperthermie kann zu thermischem Diskomfort und **erhöhtem Metabolismus** inklusive **erhöhtem Sauerstoffbedarf** führen und ist mit **vermehrten Wundinfektionen** assoziiert [78]. Besonders gefährdet sind jüngere Kinder [41,77]. Der Peak scheint zwischen dem 2. und dem 3. Lebensjahr zu liegen, was mutmaßlich an der Imbalance zwischen Wärmeproduktion und -abgabe in Relation zum Verhältnis von Körperoberfläche und Gewicht liegt [41]. Säuglinge wiederum kühlen wahrscheinlich zu schnell aus, um mit demselben Wärmeregime hypertherm zu werden. Höhere initiale Körpertemperaturen sowie langwierigere Interventionen wurden als weitere Risikofaktoren identifiziert. Speziell bei Eingriffen mit großflächigen Abdeckungen und verhältnismäßig kleinen Operationsgebieten, wie beispielsweise in der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie [77] oder bei Hypospadiekorrekturen [41], können perioperative Hyperthermien leicht entstehen.

### Vermeidung von Hyperthermie

Eine iatrogene perioperative Hyperthermie durch übermäßige Wärmezufuhr tritt nicht plötzlich auf, sondern entwickelt sich allmählich [41]. Um diese Entwicklung erkennen zu können, bedarf es eines **kontinuierlichen Monitorings der KKT**. Dies erlaubt eine rechtzeitige Antizipation der sich verändernden KKT in Richtung Hyperthermie, welche durch frühzeitige Adaptation der Temperatureinstellungen in der Regel verhindert werden kann. Hilfreich dafür sind **regelmäßig definierte Alarmgrenzen** der KKT am Monitor [77]. Diese können aufgrund der allmählichen Entwicklung der iatrogenen perioperativen Hyperthermie und des nachhängenden Effekts der Gegenreaktion durchaus enger festgelegt sein als 36 und 38 °C. Dynamisch angepasste Alarmgrenzen könnten sich dabei vorteilhaft erweisen. Evidenzbasierte Empfehlungen, auf welche Einstellungen die aktive Wärmezufuhr bei ansteigendem Temperaturtrend adaptiert werden soll, gibt es derzeit noch nicht. Mutmaßlich könnten bei höherer Ausgangstemperatur bereits niedrigere Temperatureinstellungen appliziert werden als häufig praktiziert. Wahrscheinlich reicht aber eine erhöhte Vigilanz aus, um die Entstehung einer intraoperativen Hyperthermie zu verhindern.

### Literatur

1. France GG: Hypothermia in the newborn: body temperatures following anaesthesia. Br J Anaesth 1957;29:390–396
2. Farman JV: Heat losses in infants undergoing surgery in air-conditioned theatres. Br J Anaesth 1962;34:543–557
3. Bering EA Jr., Matson DD: A technic for the prevention of severe hypothermia during surgery of infants. Ann Surg 1953;137:407–409
4. Calvert DG: Inadvertent hypothermia in paediatric surgery and a method for its prevention. Anaesthesia 1962;17:29–45
5. Lewis RB, Shaw A, EtcHELLS AH: Contact mattress to prevent heat loss in neonatal and paediatric surgery. Br J Anaesth 1973;45:919–922
6. Torossian A, Becke K, Bein B, Bräuer A, Gantert D, Greif R, et al: S3 Leitlinie „Vermeidung von perioperativer Hyperthermie“ – Aktualisierung 2019. <https://register.awmf.org/assets/>



## Review Articles

## Medical Education

- guidelines/001-018I\_S3\_Vermeidung\_perioperativer\_Hypothermie\_2019-08.pdf. (Zugriffsdatum: 05.11.2023)
7. Gorges M, Afshar K, West N, Pi S, Bedford J, Whyte SD: Integrating intraoperative physiology data into outcome analysis for the ACS Pediatric National Surgical Quality Improvement Program. *Paediatr Anaesth.* 2019;29:27–37
  8. Pearce B, Christensen R, Voepel-Lewis T: Perioperative Hypothermia in the Pediatric Population: Prevalence, Risk Factors and Outcomes. *J Anesth Clin Res* 2010;01:102
  9. Sim R, Hall NJ, de CP, Eaton S, Pierro A: Core temperature falls during laparotomy in infants with necrotizing enterocolitis. *Eur J Pediatr Surg* 2012;22:45–49
  10. Cui Y, Wang Y, Cao R, Li G, Deng L, Li J: The low fresh gas flow anesthesia and hypothermia in neonates undergoing digestive surgeries: a retrospective before-after study. *BMC Anesthesiol* 2020;20:223
  11. Zhao J, Le Z, Chu L, Gao Y, Zhang M, Fan J, et al: Risk factors and outcomes of intraoperative hypothermia in neonatal and infant patients undergoing general anesthesia and surgery. *Front Pediatr* 2023;11
  12. Ongun EA, Dursun O, Kazan MS, Nur B, Mihci E: Early postoperative follow-up after craniostylosis surgery. *Turk J Med Sci* 2018;48:584–591
  13. Brozanski BS, Piazza AJ, Chuo J, Natarajan G, Grover TR, Smith JR, et al: STEPP IN: Working Together to Keep Infants Warm in the Perioperative Period. *Pediatrics* 2020;145:e20191121
  14. Schroeck H, Lyden AK, Benedict WL, Ramachandran SK: Time Trends and Predictors of Abnormal Postoperative Body Temperature in Infants Transported to the Intensive Care Unit. *Anesthesiol Res Pract* 2016;2016:7318137
  15. Nemeth M, Lovric M, Asendorf T, Bräuer A, Miller C: Intraoperative zero-heat-flux thermometry overestimates esophageal temperature by 0.26 degrees C: an observational study in 100 infants and young children. *J Clin Monit Comput* 2021;35:1445–1451
  16. Nemeth M, Klose K, Asendorf T, Pancaro C, Mielke B, Fazliu A, et al: Evaluation of the non-invasive Temple Touch Pro temperature monitoring system compared with oesophageal temperature in paediatric anaesthesia (PETER PAN): A prospective observational study. *Eur J Anaesthesiol* 2023;40:198–207
  17. Hubbard R, Edmonds K, Rydalch E, Pawelek O, Griffin E, Gautam N: Anesthetic management of catheter-based patent ductus arteriosus closure in neonates weighing <3 kg: A Retrospective Observational Study. *Paediatr Anesth* 2020;30:506–510
  18. Tander B, Baris S, Karakaya D, Ariturk E, Rizalar R, Bernay F: Risk factors influencing inadvertent hypothermia in infants and neonates during anesthesia. *Paediatr Anaesth* 2005;15:574–579
  19. Galante D: Intraoperative hypothermia. Relation between general and regional anesthesia, upper- and lower-body warming: what strategies in pediatric anesthesia? *Paediatr Anesth* 2007;17:821–823
  20. World Health Organization. Maternal Newborn Health/Safe Motherhood Unit: Thermal protection of the newborn: a practical guide. Geneva: World Health Organization; 1997
  21. Dawkins MJ, Scopes JW: Non-shivering thermogenesis and brown adipose tissue in the human new-born infant. *Nature* 1965;206:201–202
  22. Plattner O, Semsroth M, Sessler DI, Papousek A, Klasen C, Wagner O: Lack of nonshivering thermogenesis in infants anesthetized with fentanyl and propofol. *Anesthesiology* 1997;86:772–777
  23. Sessler DI: Perioperative thermoregulation and heat balance. *Lancet* 2016;387:2655–2664
  24. Bissonnette B, Sessler DI: Thermoregulatory thresholds for vasoconstriction in pediatric patients anesthetized with halothane or halothane and caudal bupivacaine. *Anesthesiology* 1992;76:387–392
  25. Sessler DI: Forced-air warming in infants and children. *Paediatr Anaesth* 2013;23:467–468
  26. Morehouse D, Williams L, Lloyd C, McCoy DS, Miller Walters E, Guzzetta CE, et al: Perioperative hypothermia in NICU infants: its occurrence and impact on infant outcomes. *Adv Neonatal Care* 2014;14:154–164
  27. Engorn BM, Kahntroff SL, Frank KM, Singh S, Harvey HA, Barkulis CT, et al: Perioperative hypothermia in neonatal intensive care unit patients: effectiveness of a thermoregulation intervention and associated risk factors. *Paediatr Anaesth* 2017;27:196–204
  28. Lai LL, See MH, Rampal S, Ng KS, Chan L: Significant factors influencing inadvertent hypothermia in pediatric anesthesia. *J Clin Monit Comput* 2019;33:1105–1112
  29. Nemeth M, Miller C, Bräuer A: Perioperative Hypothermia in Children. *Int J Environ Res Public Health* 2021;18:7541
  30. Laptok AR, Salhab W, Bhaskar B, Neonatal Research N: Admission temperature of low birth weight infants: predictors and associated morbidities. *Pediatrics* 2007;119:e643–649
  31. Wilson E, Maier RF, Norman M, Misselwitz B, Howell EA, Zeitlin J, et al: Admission Hypothermia in Very Preterm Infants and Neonatal Mortality and Morbidity. *J Pediatr* 2016;175:p61–67.e4
  32. Bräuer A, Fazliu A: Vermeidung von unbeabsichtigter perioperativer Hypothermie bei Erwachsenen – Was muss man 2023 wissen? *Anästhesiologie & Intensivmedizin.* 2023;64:59–69
  33. Gorges M, Ansermino JM, Whyte SD: A retrospective audit to examine the effectiveness of preoperative warming on hypothermia in spine deformity surgery patients. *Paediatr Anaesth* 2013;23:1054–1061
  34. Cassey JG, King RAR, Armstrong P: Is there thermal benefit from preoperative warming in children? *Paediatr Anesth* 2010 Jan;20:63–71
  35. Bastug O, Gunes T, Korkmaz L, Elmali F, Kucuk F, Adnan Ozturk M, et al: An evaluation of intra-hospital transport outcomes from tertiary neonatal intensive care unit. *J Matern Fetal Neonatal Med* 2016;29:1993–1998
  36. Haydar B, Baetzal A, Elliott A, MacEachern M, Kamal A, Christensen R: Adverse Events During Intrahospital Transport of Critically Ill Children: A Systematic Review. *Anesth Analg* 2020;131:1135–1145
  37. McCall EM, Alderdice F, Halliday HL, Jenkins JG, Vohra S: Interventions to prevent hypothermia at birth in preterm and/or low birthweight infants. *Cochrane Database Syst Rev* 2010;17:CD004210
  38. Lee SY, Wan SYK, Tay CL, Tan ZH, Wong I, Chua M, et al: Perioperative Temperature Management in Children: What Matters? *Pediatr Qual Saf* 2020;5:e350
  39. Matsukawa T, Sessler DI, Sessler AM, Schroeder M, Ozaki M, Kurz A, et al: Heat flow and distribution during induction of general anesthesia. *Anesthesiology* 1995;82:662–673
  40. Witt L, Dennhardt N, Eich C, Mader T, Fischer T, Bräuer A, et al: Prevention of intraoperative hypothermia in neonates and infants: results of a prospective multicenter observational study with a new forced-air warming system with increased warm air flow. *Paediatr Anaesth* 2013;23:469–474
  41. Miller C, Bräuer A, Wieditz J, Klose K, Pancaro C, Nemeth M: Modeling iatrogenic intraoperative hyperthermia from external warming in children: A pooled analysis from two prospective observational studies. *Paediatr Anaesth* 2023;33:114–122
  42. Triffterer L, Marhofer P, Sulyok I, Keplinger M, Mair S, Steinberger M, et al:

## Medical Education

## Review Articles

- Forced-Air Warming During Pediatric Surgery: A Randomized Comparison of a Compressible with a Noncompressible Warming System. *Anesth Analg* 2016;122:219–225
43. Soysal GE, Ilce A, Yigit U, Ozturk H, Bilgi M: The efficacy of active warming in preventing unplanned hypothermia during perioperative period in pediatric surgery patients in a tertiary care center. *Exp Biomed Res* 2021;4:1–8
44. Neshar N, Wolf T, Uretzky G, Oppenheim-Eden A, Yussim E, Kushnir I, et al: A novel thermoregulatory system maintains perioperative normothermia in children undergoing elective surgery. *Paediatr Anaesth* 2001;11:555–560
45. Bräuer A, Pacholik L, Perl T, English MJM, Weyland W, Braun U: Conductive heat exchange with a gel-coated circulating water mattress. *Anesth Analg* 2004;99:1742–1746
46. Grote R, Wetz A, Bräuer A, Menzel M: Short interruptions between pre-warming and intraoperative warming are associated with low intraoperative hypothermia rates. *Acta Anaesthesiol Scand* 2020;64:489–493
47. Bräuer A, Scheithauer S: Prävention der unbeabsichtigten perioperativen Hypothermie. *Krankenhaushygiene Up2date* 2016;11:291–303
48. Bissonnette B, Sessler DI, LaFlamme P: Passive and active inspired gas humidification in infants and children. *Anesthesiology* 1989;71:350–354
49. Sumpelmann R, Becke K, Zander R, Witt L: Perioperative fluid management in children: can we sum it all up now? *Curr Opin Anaesthesiol* 2019;32:384–391
50. Beebe DS, Beck D, Belani KG: Clinical management of infants and newborn babies undergoing major surgery utilizing a rapid infusion device. *Paediatr Anesth* 1994;4:115–121
51. Perl T, Kunze-Szikszay N, Bräuer A, Quintel M, Rohrig AL, Kerpen K, et al: Aluminium release by coated and uncoated fluid-warming devices. *Anaesthesia* 2019;74:708–713
52. Sessler DI: Perioperative Temperature Monitoring. *Anesthesiology* 2021;134:111–118
53. Carvalho H, Najafi N, Poelaert J: Intra-operative temperature monitoring with cutaneous zero-heat-flux-thermometry in comparison with oesophageal temperature: A prospective study in the paediatric population. *Paediatr Anaesth* 2019;29:865–871
54. Bräuer A, Miller C, Becke-Jakob K, Nemeth M: Praxis des perioperativen Wärmemanagements in der Kinderanästhesie – Eine Fragebogenerhebung auf der Jahrestagung des wissenschaftlichen Arbeitskreises Kinderanästhesie 2022. *Anästh Intensivmed* 2023;64:189–195
55. Wass CT, Long TR, Deschamps C: Entrapment of a nasopharyngeal temperature probe: an unusual complication during an apparently uneventful elective revision laparoscopic Nissen fundoplication. *Dis Esophagus* 2010;23:33–35
56. Snoek AP, Saffer E: Agreement between lower esophageal and nasopharyngeal temperatures in children ventilated with an endotracheal tube with leak. *Paediatr Anaesth* 2016;26:213–220
57. Zhong JW, Sessler DI, Mao G, Jerome A, Chandran N, Szmuk P: Optimal Positioning of Nasopharyngeal Temperature Probes in Infants and Children: A Prospective Cohort Study. *Anesth Analg* 2023;136:986–991
58. Miller C, Bräuer A, Asendorf T, Ernst M, von Gottberg P, Richter J, et al: Target insertion depth of nasopharyngeal temperature probes in children: A prospective observational study analyzing magnetic resonance images. *Paediatr Anaesth* 2022;32:1054–1061
59. Bloch EC, Ginsberg B, Binner RA, Jr: The esophageal temperature gradient in anesthetized children. *J Clin Monit* 1993;9:73–77
60. Pasquier M, Paal P, Kosinski S, Brown D, Podsiadlo P, Darocha T: Esophageal Temperature Measurement. *N Engl J Med* 2020;383:e93
61. Whitby JD, Dunkin LJ: Oesophageal temperature differences in children. *Br J Anaesth* 1970;42:1013–1015
62. Akin A, Esmoğlu A, Boyacı A: Postoperative shivering in children and causative factors. *Paediatr Anaesth* 2005;15:1089–1093
63. Kranke P, Eberhart LH, Roewer N, Tramer MR: Postoperative shivering in children: a review on pharmacologic prevention and treatment. *Paediatr Drugs* 2003;5:373–383
64. Afshari A: Clonidine in pediatric anesthesia: the new panacea or a drug still looking for an indication? *Curr Opin Anaesthesiol* 2019;32:327–333
65. Bräuer A, Quintel M: Forced-air warming: technology, physical background and practical aspects. *Curr Opin Anaesthesiol* 2009;22:769–774
66. Mehta S: Burn injuries from warming devices in the operating room. *ASA Monitor* 2013;77:16–17
67. Azzam FJ, Krock JL: Thermal burns in two infants associated with a forced air warming system. *Anesth Analg* 1995;81:661
68. Golden S, Bachmann C: Forced air warmer burn can occur with poor circulation. *APSF Newsletter* 2006;20:87
69. Ayala JL, Coe A: Thermal softening of tracheal tubes: an unrecognized hazard of the Bair Hugger active patient warming system. *Br J Anaesth* 1997;79:543–545
70. Katz JD: Noise in the operating room. *Anesthesiology* 2014;121:894–898
71. Crino MH, Nagel EL: Thermal burns by warming blankets in the operation room. *Anesthesiology* 1968;29:149–150
72. Acikel C, Kale B, Celikoz B: Major thermal burn due to intraoperative heating blanket malfunction. *Burns* 2002;28:283–284
73. Sieunarine K, White GH: Full-thickness burn and venous thrombosis following intravenous infusion of microwave-heated crystalloid fluids. *Burns* 1996;22:568–569
74. Arrandale L, Ng L: Superficial burn caused by a Hotline fluid warmer infusion set. *Anaesthesia* 2009;64:101–102
75. Clarke PA, Thornton MJ: Failure of a water-bath design intravenous fluid warmer. *Can J Anaesth* 2009;56:876–877
76. Larach MG, Brandom BW, Allen GC, Gronert GA, Lehman EB: Malignant hyperthermia deaths related to inadequate temperature monitoring, 2007–2012: a report from the North American malignant hyperthermia registry of the malignant hyperthermia association of the United States. *Anesth Analg* 2014;119:1359–1366
77. Mittnacht AJC, Lin HM, Liu X, Wax D: New-onset intra-operative hyperthermia in a large surgical patient population: A retrospective observational study. *Eur J Anaesthesiol* 2021;38:487–493
78. Walker S, Amin R, Arca MJ, Datta A: Effects of intraoperative temperatures on postoperative infections in infants and neonates. *J Pediatr Surg* 2020;55:80–85.

### Korrespondenz- adresse



**Prof. Dr. med.  
Anselm Bräuer, DEAA**

Klinik für Anästhesiologie  
Universitätsmedizin Göttingen  
Georg-August-Universität  
Robert-Koch-Straße 40  
37075 Göttingen, Deutschland  
E-Mail: abraeue@gwdg.de  
ORCID-ID: 0000-0002-4013-8755