

Avoidance of unintentional perioperative hypothermia in adults – what do we need to know in 2023?

A. Bräuer¹ · A. Fazliu¹

► **Zitierweise:** Bräuer A, Fazliu A: Vermeidung von unbeabsichtigter perioperativer Hypothermie bei Erwachsenen – Was muss man 2023 wissen? *Anästh Intensivmed* 2023;64:59–69.
DOI: 10.19224/ai2023.059

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.

¹ Klinik für Anästhesiologie, Universitätsmedizin Göttingen (Direktor: Prof. Dr. K. Meissner)

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 und Moeck und Moeck erhalten. AF hat keinen Interessenkonflikt.

Schlüsselwörter

Perioperative Hypothermie – Vorwärmung – Konvektive Luftwärmung – Messung der Körperkerntemperatur

Keywords

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

Zusammenfassung

Die PROTECT-Studie 2022 hat viele der in den letzten Jahren sicher geglaubten Tatsachen in Bezug auf die Nebenwirkungen von perioperativer Hypothermie in Frage gestellt. Diese Studie versuchte, bei über 5.000 Patienten zu überprüfen, ob „wahre Normothermie“ (Körperkerntemperatur von 37 °C) zu besseren Behandlungsergebnissen führt als eine sehr milde perioperative Hypothermie. Das Ergebnis war, dass es keinen Unterschied bei kardiovaskulären Komplikationen, Transfusionshäufigkeit und der Häufigkeit von Wundinfektionen gab. Diese Studie wirft Fragen nach einer sinnvollen Definition von perioperativer Hypothermie und dem Ziel der Vermeidung von perioperativer Hypothermie auf. Ebenso steht die Frage im Raum, ob wir unseren Aufwand zur Vermeidung von perioperativer Hypothermie reduzieren können. Wir denken, dass auch heute perioperative Hypothermie als ein Absinken der Körperkerntemperatur unter 36 °C definiert werden muss, da so niedrige Temperaturen beim Gesunden praktisch nie beobachtet werden und Kältezittern meist bei Körperkerntemperaturen unmittelbar unter 36 °C auftritt. Wenn perioperative Hypothermie mit dem daraus resultierenden unangenehmen Kältegefühl und Kältezittern vermieden werden soll, dann kann der Aufwand für die Prävention von perioperativer Hypothermie nicht vermindert werden. Zur Vermeidung von perioperativer Hypothermie sollten mehrere Bausteine

Vermeidung von unbeabsichtigter perioperativer Hypothermie bei Erwachsenen – Was muss man 2023 wissen?

verwendet werden: 1. Messung der Körperkerntemperatur im gesamten perioperativen Zeitraum, 2. Vermeidung von medikamentöser Prämedikation, 3. Adäquate Raumtemperatur, 4. Reduktion der Wärmeumverteilung durch aktive Vorwärmung, 5. Aktive intraoperative Wärmezufuhr über die größtmögliche, ansonsten luftexponierte Hautoberfläche sobald und so lange wie möglich, 6. Infusionswärmung, wenn größere Infusionsvolumina gegeben werden müssen, und 7. Postoperative Wiedererwärmung, wenn dennoch eine intraoperative Hypothermie aufgetreten ist.

Summary

The PROTECT 2022 study has challenged many of the facts believed true in recent years regarding the adverse effects of perioperative hypothermia. This study tried to verify in over 5,000 patients whether „true normothermia“ leads to better outcomes than very mild perioperative hypothermia. The result was that there was no difference in cardiovascular complications, transfusion rate and incidence of wound infections. This study raises questions about a meaningful definition of perioperative hypothermia and the goal of avoiding perioperative hypothermia. It also raises the question whether we can reduce our efforts to prevent perioperative hypothermia. Even today we think that perioperative hypothermia must be defined as a drop in core body temperature below 36 °C, since such low temperatures are practically never observed in healthy indi-

viduals and shivering usually occurs at core temperatures immediately below 36 °C. If perioperative hypothermia with the resulting unpleasant cold sensation and shivering is to be avoided, then the effort required to prevent perioperative hypothermia cannot be reduced. Several components should be used to prevent perioperative hypothermia: 1. Measurement of core temperature throughout the perioperative course, 2. Avoidance of premedication with drugs, 3. Adequate room temperature, 4. Reduction of heat redistribution by active prewarming, 5. Active intraoperative warming using the largest skin surface possible, as soon as possible and for as long as possible, 6. Infusion warming if larger infusion volumes need to be administered, and 7. Postoperative rewarming if intraoperative hypothermia has nevertheless occurred.

Einleitung

„Perioperative Hypothermie – definiert als ein Absinken der Körperkerntemperatur unter 36 °C – ist auch heute noch eine häufige Komplikation in der Anästhesie. Dieses Absinken der Körperkerntemperatur ist mit vielen klinisch relevanten Nebenwirkungen, wie vermehrtem Blutverlust, erhöhter Transfusionshäufigkeit, vermehrten Wundinfektionen sowie vermehrten Myokardischämien verbunden.“

So oder so ähnlich begannen in den letzten Jahren Übersichtsartikel zum Thema perioperative Hypothermie, belegt mit zahlreichen Literaturangaben. Nach dem Erscheinen der PROTECT-Studie [1] im April 2022 kann dies nicht mehr so einfach geschrieben werden.

PROTECT-Studie

Die PROTECT-Studie [1] hat viele der in den letzten Jahren sicher geglaubten Tatsachen in Frage gestellt. Viele Wissenschaftler, die sich intensiv mit dem Thema auseinandersetzen, bemühen sich noch, die Ergebnisse dieser Studie und die Ergebnisse vieler älterer Studien gemeinsam zu interpretieren.

Die PROTECT-Studie versuchte zu überprüfen, ob wahre **Normothermie mit einer Körperkerntemperatur von 37 °C** zu besseren Behandlungsergebnissen führt als eine sehr milde perioperative Hypothermie mit einer Körperkerntemperatur von 35,5 °C. Zu diesem Zweck wurden über 5.000 Patienten randomisiert und während der Operation auf die gewünschte Zieltemperatur gebracht und bei dieser Temperatur gehalten. Das Ergebnis war, dass es keinen Unterschied in den Behandlungsgruppen gab: keinen Unterschied in Bezug auf kardiovaskuläre Komplikationen, keinen Unterschied in Bezug auf die Transfusionshäufigkeit und auch keinen Unterschied in der Häufigkeit von relevanten Wundinfektionen. Die Autoren kamen daher zum Schluss, dass es ausreichend sei, die Körperkerntemperatur bei 35,5 °C zu halten.

Aus der PROTECT-Studie resultierende Grundsatzüberlegungen

Übersicht

Die PROTECT-Studie wirft viele Fragen auf:

- Was ist eine sinnvolle Definition von perioperativer Hypothermie?
- Was ist das Ziel bei der Vermeidung von perioperativer Hypothermie?
- Können wir unseren Aufwand zur Vermeidung von perioperativer Hypothermie reduzieren?
- Reicht eine große Studie aus, um die Ergebnisse von zahllosen kleineren Studien und großer retrospektiver Analysen für ungültig zu erklären?

Viele dieser Fragen sind grundsätzlicher Natur und werden möglicherweise auch von unterschiedlichen Wissenschaftlern unterschiedlich beantwortet werden.

Was ist eine sinnvolle Definition von perioperativer Hypothermie?

Die PROTECT-Studie kommt zum Schluss, dass klinisch relevante Nebenwirkungen von perioperativer Hypothermie erst bei Körperkerntemperaturen unter 35,5 °C zu erwarten sind. Dies könnte die **aktuell gültige Definition des Krankheitsbildes perioperative Hypothermie** (Absinken

der Körperkerntemperatur unter 36,0 °C) nachhaltig verändern [2]. Aber ist dies gerechtfertigt?

Grundsätzlich ist es extrem schwierig, ein Krankheitsbild klar und umfassend zu definieren [3]. Meist wird als Definition eines Krankheitsbildes die Gesamtheit aller für diese Krankheit charakteristischen Krankheitszeichen genommen. Dabei können die Symptome in mehr oder weniger starker Ausprägung beobachtet werden (<https://de.wikipedia.org/wiki/Krankheitsbild>).

Was sind nun die charakteristischen Krankheitszeichen von perioperativer Hypothermie? Charakteristisch sind sicher das **Absinken der Körperkerntemperatur** unter den normalen Wert, das damit verbundene **Kältegefühl** und das **postoperative Kältezittern**. Klar ist seit 1868, dass Körperkerntemperaturen <36 °C beim Gesunden praktisch nie beobachtet werden [4]. Bekannt ist auch, dass das unangenehme postoperative Kältegefühl erst bei Körperkerntemperaturen von über 35,5 °C verschwindet [5]. Und: Bekannt ist auch, dass die Schwelle für Kältezittern schon bei Körperkerntemperaturen unmittelbar unter 36 °C und von deutlich über 35,5 °C auftritt [6–9]. Ist der Nachweis weiterer klinisch relevanter Nebenwirkungen wirklich noch erforderlich für die Definition von perioperativer Hypothermie? Wenn ja, dann wäre z. B. eine gewöhnliche virale Rhinitis auch keine Erkrankung. Auch eine Hypokaliämie von 3,4 mmol/l wäre dann nicht pathologisch, denn keine prospektiv randomisierte Studie hat jemals gezeigt, dass eine Hypokaliämie von 3,4 mmol/l zu klinisch relevanten Nebenwirkungen führt. Aus diesen Gründen erscheint es weiter gerechtfertigt, perioperative Hypothermie als ein perioperatives Absinken der Körperkerntemperatur unter 36,0 °C zu definieren.

Was ist das Ziel bei der Vermeidung von perioperativer Hypothermie?

Ist das Ziel der Vermeidung von perioperativer Hypothermie nur die Vermeidung von klinisch wichtigen Neben-

wirkungen, die relevant die Morbidität der Patienten erhöhen? Oder ist die Vermeidung des wie oben definierten Krankheitsbildes von perioperativer Hypothermie ausreichend? Ist unzureichender Komfort der Patienten durch Frieren und Kältezittern eine ausreichende Begründung, um Normothermie als Ziel zu definieren? Falls dem nicht so sein sollte, müssten wir auch die perioperative Prophylaxe gegen Übelkeit und Erbrechen unterlassen, da auch die postoperative Übelkeit nicht mit einer relevanten Erhöhung von kardialen Ereignissen oder vermehrtem Transfusionsbedarf einhergeht, sondern in den allermeisten Fällen „nur“ den Komfort der Patienten erheblich verbessert.

Können wir nach den Ergebnissen der PROTECT Studie unseren Aufwand zur Vermeidung von perioperativer Hypothermie reduzieren?

Diese Frage wird durch das anzustrebende Ziel definiert. Selbst mit dem Aufwand, den wir aktuell betreiben, können wir nicht bei allen Patienten das Auftreten von perioperativer Hypothermie sicher vermeiden. Daraus folgt, dass wir unseren Aufwand nicht reduzieren können.

Reicht eine große Studie aus, um die Ergebnisse von zahllosen kleineren Studien und großer retrospektiven Analysen für ungültig zu erklären?

Zahlreiche Beispiele haben eindrucksvoll demonstriert, dass Folgestudien auch die Ergebnisse von großen prospektiven randomisierten Studien relativieren oder nicht erneut zeigen können. Ein weiterer wichtiger Punkt ist, dass sich die Ergebnisse von prospektiv randomisierten Studien auch im Alltag zeigen müssen, um wirklich klinische Relevanz zu besitzen. Ergebnisse, die sich nur bei Einhaltung eines strikten Studienprotokolls bei mehreren tausend Patienten zeigen lassen und im Alltag zu keiner sichtbaren Veränderung führen, führen auch nicht zu einer Verbesserung des

Behandlungsergebnisses. Andererseits können große, gut gemachte retrospektive Datenanalysen sehr gut die Assoziation von Risiko oder Intervention und Behandlungsergebnissen zeigen. So zeigten Scott et al. [10] 2015 in einer Analyse der Daten von über 44.000 Patienten, dass die Einhaltung der Surgical Care Improvement Project-Maßnahmen zur Vermeidung von Hypothermie nicht nur zu einer Vermeidung von Hypothermie führt, sondern auch, dass die Patienten, bei denen diese Maßnahmen nicht durchgeführt wurden, ein schlechteres Behandlungsergebnis hatten. Es konnten mehr infektiöse Komplikationen, mehr kardiovaskuläre Ereignisse und eine höhere Mortalität festgestellt werden. Interessanterweise lag die postoperative Körperkerntemperatur dieser Patienten genau bei $35,5 \pm 0,5$ °C.

Unerwünschte Wirkungen von perioperativer Hypothermie

Intraoperativ auftretende unerwünschte Wirkungen

Änderung der Pharmakokinetik

Perioperative Hypothermie verändert die **Pharmakokinetik** vieler Medikamente, da die Aktivität der metabolisierenden Enzyme in der Leber temperaturabhängig ist [11]. Veränderungen der Pharmakokinetik von volatilen Anästhetika, Propofol und Opioiden wurden beschrieben, allerdings ohne den Nachweis einer wirklichen klinischen Relevanz.

Eine klinische Relevanz hat die deutlich längere Wirkdauer von Muskelrelaxanzien wie Vecuronium [12], Rocuronium [13] und Atracurium [14], da auch eine geringe Restwirkung von Muskelrelaxanzien zu einer höheren Inzidenz an respiratorischen Komplikationen im Aufwachraum führt [15]. Allerdings kann dieser Effekt durch neuromuskuläres Monitoring adäquat erfasst und therapiert werden.

Störung der Blutgerinnung, Transfusionsbedarf

Die **Gerinnungsfähigkeit des Blutes** wird durch niedrige Temperaturen gehemmt, sowohl auf **thrombozytärer** [16,17] als auch auf **plasmatischer Ebene** [18,19]. Das Ergebnis davon ist, dass die Gerinnung später einsetzt und die Mikrostruktur des Gerinnsels unter Hypothermie instabiler ist. Wenn man sich die Pathophysiologie der hypothermiebedingten Gerinnungsstörung vor Augen führt, dann ist das Ausmaß der Hypothermie von Bedeutung, d. h. eine hypothermiebedingte Gerinnungsstörung wird dann relevant, wenn

- die **Bluttemperatur in der Wunde** sehr niedrig ist, da die Störung der Blutgerinnung bedeutsamer wird, je niedriger die Bluttemperatur ist und
- eine **Gerinnungsstörung** über einen längeren Zeitraum vorhanden ist.

Dies konnte auch sehr eindrucksvoll in einer großen retrospektiven Analyse gezeigt werden [20] und hat in mindestens 10 klinischen Studien dazu geführt, dass perioperative Hypothermie zu einem vermehrten Blutverlust und auch zu einer größeren Transfusionshäufigkeit geführt hat [20–22], auch wenn dies in der PROTECT-Studie [1] nicht gezeigt werden konnte.

Perioperative Hypothermie führt zu einer Störung der Gerinnung und hat in vielen Untersuchungen zu einem nachweisbaren erhöhten Blutverlust und zu einer erhöhten Transfusionspflichtigkeit der Patienten beigetragen. Diese Störung der plasmatischen Gerinnung ist weder durch laborchemische Globaltests (Quick, aktivierte partielle Thromboplastinzeit aPTT), noch durch Point-of-Care-Analysen (Thromboelastometrie) nachweisbar. Dies liegt daran, dass bei all diesen Verfahren die Blutproben vor der Analyse standardisiert auf 37 °C erwärmt werden. Führt man diese Analysen bei niedrigeren Temperaturen durch, zeigen sich pathologische Werte!

Unerwünschte Wirkungen in der postoperativen Phase

Kältegefühl und Zittern

Unmittelbar postoperativ klagen viele hypotherme Patienten, die eine Körperkerntemperatur unter 36 °C aufweisen, über ein intensives Kältegefühl [5]. Dieses gehört neben dem postoperativen Kältezittern, dem Schmerz und der Übelkeit zu den unangenehmsten Erfahrungen in der postoperativen Phase [23].

Dies wird auch dadurch verstärkt, dass durch die **operativ ausgelöste Inflammationsreaktion der Sollwert der Körperkerntemperatur** erhöht wird [24]. Der mit dem postoperativen Kältezittern verbundene Anstieg des Sauerstoffverbrauchs und des Herzzeitvolumens ist insbesondere bei älteren Patienten jedoch nicht so groß wie früher vermutet und führt nicht zu einer kardialen Gefährdung der Patienten [25]. Allerdings führt das postoperative Kältezittern häufig zu einer **Störung der postoperativen apparativen Überwachung**. So sind Störungen des EKG, der Pulsoxymetrie und der Blutdruckmessung bei intensivem Kältezittern häufig zu beobachten [26] und erschweren die Einschätzung des Zustandes des Patienten erheblich. Extremes Zittern kann in Einzelfällen zu einer Wundzerreißen führen, Blutungen auslösen, den intrazerebralen und intraokularen Druck erhöhen [27].

Störung der Lungenfunktion

Hypotherme Patienten weisen im Vergleich zu normothermen Patienten im Aufwachraum eine eingeschränkte Oxygenierung auf [28,29]. Dies kann an einer hypothermiebedingten Schwäche der Muskulatur [30] oder auch an einem vermehrten intrapulmonalen Shunt liegen [31].

Verlängerung der Aufenthaltsdauer im Aufwachraum

Diese Effekte können bei hypothermen Patienten zu einer verlängerten Liegedauer im Aufwachraum führen [22, 32,33].

Ungeplante Aufnahme auf die Intensivstation

Bei ausgeprägter Hypothermie werden häufig Patienten postoperativ **ungeplant auf die Intensivstation** aufgenommen [34]. Bei den aktuell besonders knappen Intensivressourcen, u. a. durch die COVID-Pandemie mit all ihren Folgen, ist dies besonders ungünstig und in der Regel vermeidbar.

Unerwünschte Wirkungen in der späten postoperativen Phase

Verstärkte postoperative Katabolie

Patienten, die eine perioperative Hypothermie erleiden, zeigen postoperativ eine vermehrte Katabolie mit **Abbau von Muskeleiweiß** [35]. Dieser Effekt kann die postoperative Mobilisation der Patienten beeinträchtigen.

Wundheilungsstörungen, Wundinfektionen und infektiöse Komplikationen

Postoperative Wundinfektionen sind trotz vielfältiger präventiver Maßnahmen häufig. In einer nationalen Prävalenzstudie aus dem Jahr 2017 zu nosokomialen Infektionen und Antibiotika-Anwendung stellen die postoperativen Wundinfektionen die **zweithäufigste nosokomiale Infektion** dar [36]. Postoperative Wundinfektionen sind extrem kostenintensiv [37] und können zu einer verlängerten Krankenhausverweildauer führen. Das Auftreten von perioperativer Hypothermie führt zu einer Störung der Granulozyten- und Lymphozytenfunktion und dadurch zu einer reduzierten Abwehr von bakteriellen Erregern. Durch eine reduzierte Freisetzung von Zytokinen kommt es zu einer reduzierten Angiogenese und einer verlangsamten primären Wundheilung i. S. e. geringeren Wundfestigkeit [38]. Nach Narkoseende kommt es dann zum Wiedereinsetzen der thermoregulatorischen Vasokonstriktion, die über eine Reduktion der peripheren Durchblutung zu einem niedrigeren Sauerstoffpartialdruck im Bereich der Operationswunde führt. Dieser wiederum ist ein relevanter Risikofaktor für die Entwicklung von Wundinfektionen [39].

Die konsequente Vermeidung von perioperativer Hypothermie hingegen kann nach älteren Studien die Rate an Wundinfektionen signifikant reduzieren [40, 41]. Dies konnte jedoch in der PROTECT-Studie bei Körperkerntemperaturen um 35,5 °C [1] und in retrospektiven Studien nicht gezeigt werden [10,42,43]. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass in der PROTECT-Studie nur tiefgreifende Infektionen gesucht wurden und die Erfassung dieser Infektionen über eine Telefonabfrage erfolgte. Allerdings zeigte sich in großen retrospektiven Analysen, dass perioperative Hypothermie mit anderen infektiösen Komplikationen wie **Pneumonie** [42] und **Sepsis** [10,42] assoziiert ist.

Hypotherme Patienten weisen in mehreren Studien postoperativ vermehrt infektiöse Komplikationen auf. Dies scheint jedoch nicht bei Körperkerntemperaturen über 35,5 °C aufzutreten.

Kardiale Komplikationen

Die Anzahl an **kardialen Risikopatienten**, die sich einer operativen Prozedur unterziehen müssen, nimmt kontinuierlich zu. Etwa 25 % aller Todesfälle, die in den ersten 30 Tagen nach einer Operation auftreten, sind kardiovaskulär bedingte Ereignisse [44]. Daher hat die Vermeidung dieser Ereignisse eine besonders hohe Bedeutung.

Schon 1993 konnten Frank et al. [28] beobachten, dass kardiale Risikopatienten nach Risikoeingriffen deutlich häufiger Zeichen einer **Myokardischämie** im Langzeit-EKG zeigten, wenn sie postoperativ eine Körperkerntemperatur unter 35 °C aufweisen. In einer weiteren Studie konnte gezeigt werden, dass Patienten mit einer Körperkerntemperatur unter 36 °C in den ersten postoperativen Tagen auch häufiger relevante **Herzrhythmusstörungen** und **kardiale Ereignisse** wie instabile Angina pectoris, Myokardinfarkt und Kreislaufstillstand hatten [45]. Eine höhere Inzidenz an **postoperativen Infarkten** konnte auch in einer retrospektiven Studie bei Patienten mit Körperkerntemperaturen unter 35 °C gefunden werden [42]. In einer

kleinen Serie an Patienten mit Ösophagusresektion zeigten Patienten mit perioperativer Hypothermie auch häufiger postoperativ eine **erhöhte Tropininfreisetzung** (Myocardial Injury after Non-Cardiac Surgery = MINS) und vermehrt **Herzrhythmusstörungen** [29]. In einer retrospektiven Analyse aus Indien gab es eine Assoziation zwischen dem Auftreten von MINS und einer Körperkerntemperatur $< 34^{\circ}\text{C}$ [46]. Allerdings konnte dies in der PROTECT-Studie bei Körperkerntemperaturen um $35,5^{\circ}\text{C}$ nicht gezeigt werden [1].

Hypotherme Patienten weisen in mehreren Studien postoperativ vermehrt kardiale Komplikationen auf. Diese scheinen jedoch nicht bei Körperkerntemperaturen über $35,5^{\circ}\text{C}$ aufzutreten.

Postoperative Schlaganfälle

In zwei großen retrospektiven Studien zeigten hypotherme Patienten eine größere Häufigkeit an postoperativen Schlaganfällen [10,42].

Letalität

In mehreren retrospektiven Analysen gab es eine Assoziation zwischen dem Auftreten von perioperativer Hypothermie und erhöhter Letalität [10,42,43,47–49]. Allerdings konnte dies in der PROTECT-Studie bei Körperkerntemperaturen um $35,5^{\circ}\text{C}$ ebenfalls nicht gezeigt werden [1].

Ob deutlich hypotherme Patienten eine erhöhte Mortalität haben, ist bisher nicht klar. Bei Körperkerntemperaturen über $35,5^{\circ}\text{C}$ ist die Mortalität jedenfalls nicht erhöht.

Häufigkeit von perioperativer Hypothermie

Trotz der Verfügbarkeit und Anwendung vieler Maßnahmen zur Vermeidung von perioperativer Hypothermie, stellt diese noch immer eine der **häufigsten Nebenwirkungen einer Allgemeinanästhesie und bei rückenmarksnahen Anästhesie-**

verfahren dar. Wenn man große retrospektive Studien mit mehreren tausend eingeschlossenen Patienten betrachtet, so liegt die Inzidenz von perioperativer Hypothermie mit einer Körperkerntemperatur unter 36°C noch immer zwischen 10 und 66 % [20,43,50].

Vermeidungsstrategie

Überblick

Zur Vermeidung von unbeabsichtigter perioperativer Hypothermie ist es sinnvoll, eine universell anwendbare Vermeidungsstrategie zu nutzen. Diese sollte zum einen die Pathophysiologie der perioperativen Hypothermie berücksichtigen, zum anderen aber auch die lokalen Gegebenheiten mit all ihren Möglichkeiten und Einschränkungen. Im Grundsatz besteht eine solche Vermeidungsstrategie aus mehreren Bausteinen. Dabei ist jeder dieser Bausteine von Bedeutung:

- **Messung der Körperkerntemperatur** im gesamten perioperativen Zeitraum
- Vermeidung von **medikamentöser Prämedikation**
- adäquate **Raumtemperatur**
- Reduktion der Wärmeumverteilung durch **aktive Vorwärmung**
- **aktive intraoperative Wärmezufuhr** über die größtmögliche, ansonsten luftexponierte Hautoberfläche sobald und so lange wie möglich
- **Infusionswärmung**, wenn größere Flüssigkeitsmengen und Blutprodukte gegeben werden müssen
- **postoperative Wiedererwärmung**, wenn dennoch eine intraoperative Hypothermie aufgetreten ist.

Messung der Körperkerntemperatur im gesamten perioperativen Zeitraum

Der erste Baustein eines adäquaten und effizienten Wärmemanagements ist die Messung der Körperkerntemperatur des Patienten [2,51]. Diese beginnt idealerweise schon vor Einleitung der Narkose und wird in den postoperativen Zeitraum fortgeführt. Diese Maßnahme ist essenziell, obwohl die Messung der Körperkerntemperatur als alleinige Maß-

nahme den Patienten nicht im Geringsten warmhält. Die Messung der Körperkerntemperatur ermöglicht jedoch Folgendes:

- Erkennung von Patienten, die schon **präoperativ eine niedrige Körperkerntemperatur** haben. Dazu muss man wissen, dass 3 bis 20 % der Patienten schon vor Narkoseeinleitung hypotherm sind [24,52,53]! Diese Patienten fallen im klinischen Alltag jedoch nicht auf, wenn nicht vor Narkoseeinleitung die Körperkerntemperatur gemessen wird. Dabei können genau diese Patienten bei rechtzeitiger Detektion von einer verlängerten Vorwärmung profitieren.
- Erkennung von **intraoperativ auftretender Hypothermie**.
- Einschätzung, ob die bisher ergriffenen Maßnahmen bei dem Patienten **sinnvoll und ausreichend** sind.
- **Ausweitung der Maßnahmen** zur Wärmeprotektion, wenn Hypothermie droht, z. B. durch Anpassung der OP-Saaltemperatur, Verbesserung der Isolation des Patienten oder Hinzunahme von Infusionswärmung.
- Erkennung der **Inzidenz von Hypothermie** im klinischen Alltag.
- **Erkennung von Hyperthermie**. Diese kann im Verlauf bei effizienter Wärmetherapie auftreten und ist unerwünscht, sodass dann die Intensität der Wärmemaßnahmen reduziert werden muss. Aber auch die – zugegebenermaßen seltene – maligne Hyperthermie kann durch eine kontinuierliche Messung der Körperkerntemperatur früher erkannt werden, obwohl der Anstieg der Körperkerntemperatur zu den Spätzeichen zählt. Das relative Risiko, an einer malignen Hyperthermie zu versterben, ist ohne das Monitoring der Körperkerntemperatur über 13-mal so hoch [54].

Um hypotherme Patienten bereits vor Narkoseeinleitung zu identifizieren, sollte die erste Messung der Körperkerntemperatur schon vor Beginn der Narkose durchgeführt werden [2,51].

Während der Narkose sollte bei jedem Patienten die Körperkerntemperatur überwacht werden, bei dem perioperativ klinisch signifikante Änderungen der Körperkerntemperatur angestrebt oder vermutet werden. Dies gilt sowohl für die Allgemeinanästhesie als auch für die rückenmarksnahe Regionalanästhesie [55]. Dies ist praktisch bei jeder Narkose mit einer Dauer von mehr als 30 Minuten der Fall.

Als **sehr genaue Messverfahren zur Erfassung der Körperkerntemperatur** gelten:

- die Messung der Bluttemperatur in der Pulmonalarterie oder A. iliaca
- die Messung der Temperatur im distalen Ösophagus
- die Tympanonkontaktmessung.

Das Problem daran ist, dass die Bluttemperatur nur bei einem sehr kleinen Teil der Patienten zur Verfügung steht, sodass diese Methode in der Routine praktisch keine Rolle spielt [56]. Die **Tympanonkontakttemperaturmessung** erfordert eine aufwändige Sondenplatzierung und weist ein Verletzungsrisiko für das Trommelfell auf, sodass auch dieses Verfahren im klinischen Alltag keine Rolle spielt. Die Temperaturmessung im distalen Viertel des Ösophagus ist häufig möglich und klinisch sehr genau, da dann die Messsonde genau zwischen dem linken Vorhof des Herzens und der distalen Aorta thoracalis liegt [57].

Neben diesen sehr genauen Messorten gibt es auch mehrere Messorte mit einer klinisch ausreichenden Genauigkeit. Das ist z. B. der Nasopharynx in einer Tiefe von mehr als 10 cm [58]. Dieser Messort ist intraoperativ meist gut zugänglich, jedoch muss bei der Sondenplatzierung darauf geachtet werden, dass die Sonde die Nasenschleimhaut nicht verletzt. Trotz dieses Risikos ist die Messung der Körperkerntemperatur im Nasopharynx die wahrscheinlich am häufigsten genutzte Methode in Deutschland [56]. Auch die **sublinguale Messung** der Körperkerntemperatur gilt ebenfalls als ausreichend genau [59]. Allerdings bietet sie das Problem, dass die Sonde nur sehr schwer fixiert werden kann und deshalb häufig disloziert. Daher wird

die Messsonde häufig in einem Guedeltubus fixiert. Wird diese nicht ausreichend tief eingeführt, verlässt sie den Guedeltubus nicht und misst nur die Temperatur des Sekretes im Guedeltubus (Abb. 1).

Neue Temperaturmessverfahren, die auf **Wärmeflussmesstechnologie** beruhen, bieten ebenfalls eine ausreichende Genauigkeit und sind komplett nicht-invasiv [60-63]. Allerdings sind diese Messverfahren noch relativ teuer (Abb. 2).

Die Messung der Körperkerntemperatur in der **Harnblase** ist nur dann sinnvoll und möglich, wenn ein Blasenkatheter benötigt wird. Die Messgenauigkeit ist in der Regel ausreichend, in manchen Situationen, wie z. B. schnellen Temperaturänderungen an der Herz-Lungen-Maschine [64] oder bei Unterbaucheingriffen [65], kommt es bei einer geringen

Diurese zu einer Beeinträchtigung der Genauigkeit. Die dauerhaft sichere Platzierung der Sonde ist auch von Vorteil, wenn der Patient postoperativ einer weiteren intensivmedizinischen Behandlung bedarf.

Die intermittierende **Infrarot-Temperaturmessung im Gehörgang** liefert häufig auch bei korrekter Handhabung keine ausreichend genauen Ergebnisse und wird nicht empfohlen [2]. Auch die Messung der Körperkerntemperatur im **Rektum** wird nicht empfohlen [2], da sie relativ ungenau und träge ist. Zudem ist sie unhygienisch und für wache Patienten unangenehm.

Intraoperativ sollte bei jeder Allgemeinanästhesie oder rückenmarksnahen Regionalanästhesie mit einer Dauer von mehr als 30 Minuten die

Abbildung 1



Radiologische Aufnahme einer im Guedeltubus platzierten Temperaturmesssonde. Man erkennt deutlich, dass die Sondenspitze den Guedeltubus nicht verlässt und somit keinen Kontakt zur Schleimhaut des Mundes oder des Rachens hat. Daher kann die Körperkerntemperatur nicht korrekt erhoben werden.

Abbildung 2



Verschiedene nicht-invasive Temperaturmessverfahren, die auf der Wärmeflussmesstechnologie beruhen.

Körperkerntemperatur gemessen werden. Die Platzierung der Temperatursonde sollte weit vom operativen Eingriffsbereich entfernt erfolgen.

Vermeidung von medikamentöser Prämedikation

Auch wenn die Gabe von **Benzodiazepinen** bei gesunden Probanden keine großen Effekte auf den Wärmehaushalt zu haben scheint [9], so zeigt sich doch bei älteren Patienten ein Absinken der Körperkerntemperatur nach der oralen Gabe von Benzodiazepinen. Dabei steigt das Risiko für die Entwicklung einer Hypothermie vor Narkoseeinleitung deutlich an [53]. Daher erscheint – neben vielen anderen Gründen – auch unter dem Aspekt der Vermeidung von perioperativer Hypothermie der Verzicht auf eine routinemäßige Gabe von Benzodiazepinen zur präoperativen Anxiolyse sinnvoll.

Adäquate Raumtemperatur

Eine adäquate Raumtemperatur ist ein weiterer Baustein im perioperativen Wärmemanagement. Im Grundsatz kommt es pro 1 °C Erhöhung der Raumtemperatur zu einer Reduktion des Wärmeverlustes über die luftexponierte Haut um ca. 10 %. Die Tatsache, dass die Datenlage bei Erwachsenen zur Hypothermieprävention durch erhöhte Raumtemperaturen unzureichend ist, kann nicht von diesen physikalischen Gesetzmäßigkeiten ablenken. Daher wird in Leitlinien eine **Raumtemperatur um die 21 °C** empfohlen [2,51]. Diese wird jedoch in vielen Operationssälen deutlich unterschritten (Abb. 3). Unter einer effektiven aktiven Wärmetherapie kann die Raumtemperatur auch niedriger sein [51,66].

Reduktion der Wärmeumverteilung durch aktive Vorwärmung

Im Allgemeinen ist die Körperperipherie kühler als der Körperkern. Durch die Kälteexposition der Patienten im OP ist die **autonome thermoregulatorische Vasokonstriktion** vor Narkoseeinleitung aktiviert. Dadurch sind Körperkern und Körperperipherie funktionell getrennt.

Abbildung 3



Typische, aber falsche Einstellung einer Klimaanlage im Operationssaal.

Die Temperatur im Körperkern wird durch die thermoregulatorische Vasokonstriktion konstant gehalten, während die Temperatur der Körperperipherie durch die Kälteexposition weiter absinkt. Während der Narkoseeinleitung kommt es durch die Wirkung der Anästhetika wie z. B. Propofol zu einer **Vasodilatation**. Zudem verschieben die Anästhetika den Schwellenwert für die Auslösung bzw. Aufrechterhaltung thermoregulatorischer Vasokonstriktion unter die aktuelle Körperkerntemperatur, sodass die Vasokonstriktion aufgegeben wird [67]. Dadurch kommt es zum **Abstrom von Wärme** aus dem Körperkern in die Arme und Beine, während der Wärmegehalt von Rumpf und Kopf deutlich abnimmt. Der entscheidende Faktor, der das Ausmaß der Wärmeumverteilung bestimmt, ist die **Temperatur der Körperperipherie**. Ist die Körperperipherie sehr kalt, wie z. B. nach längerer Kälteexposition, so ist die Wärmeumverteilung sehr viel ausgeprägter, als wenn die Körperperipherie

vor Narkoseeinleitung warm ist. **Aktive Vorwärmung** vor Narkoseeinleitung zielt auf die Erhöhung des Wärmegehaltes in der Körperperipherie ab, also in den Armen und den Beinen. Damit wird die Wärmeumverteilung aus dem Körperkern in die Körperperipherie nach Narkoseeinleitung reduziert und der Körperkern bleibt wärmer [68].

Vorwärmung kann prinzipiell mit **konduktiven Verfahren** oder mittels **konvektiver Luftwärmung** durchgeführt werden. Wichtig ist nur, dass es ein **effektives aktives Verfahren** ist. Eine passive Isolation des Patienten ist nicht ausreichend, um den erwünschten Effekt zu erzielen. Vorwärmung kann prinzipiell auf der Normalstation, in der Wartezone, in der Narkoseeinleitung oder im OP durchgeführt werden. Wird perioperativ konvektive Luftwärmung verwendet, dann kann die Kosteneffektivität durch den kombinierten präoperativen und intraoperativen Einsatz erhöht werden, z. B. mit einer längs über den Körper gelegten Oberkörperdecke, die dann intraoperativ weiterverwendet wird (Abb. 4). 10 bis 20 Minuten aktive Vorwärmung mit konvektiver Luftwärmung sind hocheffektiv [2,68]. Im Alltag kann dies jedoch nur realisiert werden, wenn in jedem Narkoseeinleitungsraum ein konvektiver Luftwärmer vorhanden ist. Wenn der Patient im Narkoseeinleitungsraum eintrifft, wird unmittelbar die Vorwärmung gestartet. Erst danach beginnen die weiteren üblichen Vorbereitungen (Überprüfung der Identität des Patienten, der schriftlichen Einwilligungen für Operation und Narkose, Vorhandensein einer Markierung der zu operierenden Seite, Abfrage von Nüchternheit und Allergien, Etablierung von Routinemonitoring und intravenösem Zugang, Präoxygenierung). Dies ist die Zeit, die zur aktiven Vorwärmung zur Verfügung steht, ohne den Routineablauf zu verzögern. In der Regel sind das um die 10 bis 15 Minuten. Dieses Konzept ist praktikabel und wird auch von den meisten Anästhesisten, die Vorwärmung einsetzen, genutzt [56]. Im Anschluss wird auch während der gesamten Narkosedauer weiter aktiv gewärmt. Dies ist auch während der Anlage eines Epiduralkatheters gut möglich.

Abbildung 4



Aktive Vorwärmung mit einer längs über den Körper gelegten konvektiven Oberkörperwärmedecke.

Die konsequente Durchführung von Vorwärmung ist von enormer Bedeutung für das perioperative Wärme-konzept. Eine adäquate Vorwärmung trägt maßgeblich dazu bei, dass der initiale Abfall der Körperkerntemperatur nach Narkoseeinleitung geringer ist. Gleichzeitig sorgt sie dafür, dass während der gesamten Operationsdauer die Körperkerntemperaturen höher sind [69].

Aktive intraoperative Wärmezufuhr sobald wie möglich

Intraoperativ sollte nach Möglichkeit eine großflächige, aktive Wärmung der Körperoberfläche erfolgen. Dies kann entweder konvektiv oder konduktiv passieren. Dabei sind zwei Dinge wichtig:

- Die Unterbrechung zwischen der aktiven Wärmetherapie im Narkoseeinleitungsraum und der aktiven Wärmetherapie im Operationssaal sollte **so kurz wie möglich** sein. Jede Zeitverzögerung erhöht die Inzidenz von intraoperativer Hypothermie [70].
- Die aktive Wärmetherapie sollte **so großflächig wie möglich** erfolgen. Die Änderung der Wärmebilanz durch konvektive Luftwärmer ist direkt von der Fläche abhängig, die von der Wärmedecke aktiv gewärmt wird [71].

Die Körperoberfläche, die nicht aktiv gewärmt werden kann, sollte nach Möglichkeit **isoliert** werden. Der Einsatz von Atemgasklimatisierung oder Heizmatten auf dem OP-Tisch ist nur begrenzt effektiv, kann aber zusätzlich angewandt werden. Intraoperativ eingesetzte Spüllösungen sollten auf 38–40 °C vorgewärmt werden [2].

Die aktive intraoperative Wärmetherapie sollte so früh wie möglich und so großflächig wie möglich erfolgen.

Infusionswärmung

Infusionswärmung ist ein beim gezielten Einsatz effektives ergänzendes Wärmeprotektionsverfahren. Durch die Zufuhr größerer Mengen (mehr als 500–1.000 ml/h) ungewärmter Infusionslösungen oder Blutprodukte kommt es zu einem relevanten Abfall der Körpertemperatur. Leistungsfähige Infusionswärmer können diese Wärmeverluste minimieren [2,51]. Man muss jedoch betonen, dass Infusionswärmung nur die **Vermeidung von Wärmeverlusten** ermöglicht, eine relevante Wärmezufuhr zum Patienten ist damit jedoch nicht möglich. Daher sind Infusionswärmer bei niedrigen Flüssigkeitsumsätzen (<500 ml/h) wenig effektiv. Infusionswärmung sollte daher immer, neben der aktiven

Wärmetherapie über die Körperoberfläche, nur als **zusätzliche Maßnahme** angewandt werden.

Postoperative Wiedererwärmung

Falls eine schwere Hypothermie intraoperativ nicht verhindert werden konnte, sollte die Narkose fortgeführt werden und der Patient auf der **Intensivstation** aktiv gewärmt werden. Erst nach Erreichen der Normothermie sollte dann die Sedierung beendet und der Patient extubiert werden. Dies entspricht auch dem üblichen Vorgehen [34]. Ab welcher Körperkerntemperatur ein solches Vorgehen erforderlich ist, ist nicht geklärt. Falls eine milde Hypothermie intraoperativ nicht verhindert werden konnte, sollte der Patient im **Aufwachraum** aktiv wiedererwärmt werden.

Behandlung von Kältezittern

Wenn Patienten postoperativ deutlich hypotherm sind, weisen sie häufig thermoregulatorisches Kältezittern auf [5, 26]. Dieses erfordert neben der postoperativen Wärmetherapie auch eine medikamentöse Therapie mit Clonidin (0,15–0,3 µg/kg i.v.) oder Pethidin (0,35–0,73 mg/kg i.v.). Eine solche medikamentöse Therapie ist zwar ein **Off-Label-Use** dieser Substanzen, aber in vielen Studien als hoch effektiv und nebenwirkungsarm beschrieben. Im Gegensatz zu früheren Vermutungen ist der mit dem postoperativen Kältezittern verbundene Anstieg des Sauerstoffverbrauchs insbesondere bei älteren Patienten überschaubar und führt nicht zu einer erhöhten kardialen Gefährdung der Patienten [25].

Ökologische Schlussbetrachtung

Das perioperative Wärmemanagement führt auch zu **ökologischen Folgen**. So wird hier häufig **Einwegmaterial** verwendet, welches als Klinikabfall behandelt wird. Des Weiteren führt insbesondere konvektive Luftwärmung durch den hohen Stromverbrauch zu einer nicht unerheblichen ökologischen Belastung. In einer Life Cycle Analysis von McGain et al. [72] aus dem Jahr 2021 war die

konvektive Luftwärmung für ca. 20 % des CO₂-Fußabdrucks einer Narkose für einen Kniegelenkersatz verantwortlich. Dies entsprach ca. 2,5 kg CO₂ und damit ungefähr dem CO₂-Ausstoß einer Autofahrt von 12,5 km bei einem Verbrauch von 8 l/100 km.

Ökonomische Schlussbetrachtung

Ein konsequent durchgeführtes perioperatives Wärmemanagement mit Vorwärmung, intraoperativer Wärmetherapie, Infusionswärmung und Messung der Körperkerntemperatur führt zwangsläufig zu Kosten. Dabei stehen insbesondere **Materialkosten** im Vordergrund. Andererseits führt die Vermeidung von hypothermieassoziierten Komplikationen zu einer nachweisbaren Kostenreduktion, sowohl in der Klinik als auch insbesondere für das Gesundheitswesen [73]. Das britische NICE-Institut hat 2016 [51] die Kosten-Nutzen-Relation von perioperativem Wärmemanagement errechnet und kam zum Schluss, dass die Kosten der Wärmetherapie auch bei jungen, gesunden Patienten, die sich einem kurzen Eingriff unterziehen müssen, durch den Nutzen mehr als aufgewogen werden. Je älter und kränker die Patienten sind, desto größer war der finanzielle Nutzen.

Die Kosten des perioperativen Wärmemanagements werden durch den Nutzen mehr als ausgeglichen. Aktive Wärmetherapie ist kosteneffizient [51,73]!

Literatur

- Sessler DI, Pei L, Li K, Cui S, Chan MTV, Huang Y, et al: Aggressive intraoperative warming versus routine thermal management during non-cardiac surgery (PROTECT): a multicentre, parallel group, superiority trial. *Lancet* 2022;399: 1799–1808
- S3-Leitlinie „Vermeidung von perioperativer Hypothermie“ – Aktualisierung 2019. https://register.awmf.org/assets/guidelines/001-0181_S3_Vermeidung_perioperativer_Hypothermie_2019-08.pdf
- Scully JL: What is a disease? *EMBO Rep* 2004;5:650–653
- Wunderlich CA: Das Verhalten der Eigenwärme in Krankheiten. Leipzig: Verlag von Otto Wigand 1868
- Kurz A, Sessler DI, Narzt E, Bekar A, Lenhardt R, Huemer G, et al: Postoperative hemodynamic and thermoregulatory consequences of intraoperative core hypothermia. *J Clin Anesth* 1995;7:359–366
- De Witte JL, Kim JS, Sessler DI, Bastanmehr H, Bjorksten AR: Tramadol reduces the sweating, vasoconstriction, and shivering thresholds. *Anesth Analg* 1998;87:173–179
- Kurz A, Ikeda T, Sessler DI, Larson MD, Bjorksten AR, Dechert M, et al: Meperidine decreases the shivering threshold twice as much as the vasoconstriction threshold. *Anesthesiology* 1997;86:1046–1054
- Kurz A, Go JC, Sessler DI, Kaer K, Larson MD, Bjorksten AR: Alfentanil slightly increases the sweating threshold and markedly reduces the vasoconstriction and shivering thresholds. *Anesthesiology* 1995;83:293–299
- Kurz A, Sessler DI, Annadata R, Dechert M, Christensen R, Bjorksten AR: Midazolam minimally impairs thermoregulatory control. *Anesth Analg* 1995;81:393–398
- Scott AV, Stonemetz JL, Wasey JO, Johnson DJ, Rivers RJ, Koch CG, et al: Compliance with Surgical Care Improvement Project for Body Temperature Management (SCIP Inf-10) Is Associated with Improved Clinical Outcomes. *Anesthesiology* 2015;123:116–125
- Tortorici MA, Kochanek PM, Poloyac SM: Effects of hypothermia on drug disposition, metabolism, and response: A focus of hypothermia-mediated alterations on the cytochrome P450 enzyme system. *Crit Care Med* 2007;35:2196–2204
- Heier T, Caldwell JE: Impact of hypothermia on the response to neuromuscular blocking drugs. *Anesthesiology* 2006;104:1070–1080
- Beaufort AM, Wierda JM, Belopavlovic M, Nederveen PJ, Kleef UW, Agoston S: The influence of hypothermia (surface cooling) on the time-course of action and on the pharmacokinetics of rocuronium in humans. *Eur J Anaesthesiol Suppl* 1995;11:95–106
- Leslie K, Sessler DI, Bjorksten AR, Moayeri A: Mild hypothermia alters propofol pharmacokinetics and increases the duration of action of atracurium. *Anesth Analg* 1995;80:1007–1014
- Murphy GS: Residual neuromuscular blockade: incidence, assessment, and relevance in the postoperative period. *Minerva Anesthesiol* 2006;72:97–109
- Valeri CR, Feingold H, Cassidy G, Ragno G, Khuri S, Altschule MD: Hypothermia-induced reversible platelet dysfunction. *Ann Surg* 1987;205:175–181
- Wallner B, Schenk B, Paal P, Falk M, Strapazzon G, Martini WZ, et al: Hypothermia Induced Impairment of Platelets: Assessment With Multiplate vs. ROTEM – An In Vitro Study. *Front Physiol* 2022;13:852182
- Rohrer MJ, Natale AM: Effect of hypothermia on the coagulation cascade. *Crit Care Med* 1992;20:1402–1405
- Mitrophanov AY, Rosendaal FR, Reifman J: Computational analysis of the effects of reduced temperature on thrombin generation: the contributions of hypothermia to coagulopathy. *Anesth Analg* 2013;117:565–574
- Sun Z, Honar H, Sessler DI, Dalton JE, Yang D, Panjasawatwong K, et al: Intraoperative core temperature patterns, transfusion requirement, and hospital duration in patients warmed with forced air. *Anesthesiology* 2015;122:276–285
- Rajagopalan S, Mascha E, Na J, Sessler DI: The effects of mild perioperative hypothermia on blood loss and transfusion requirement. *Anesthesiology* 2008;108: 71–77
- Bock M, Müller J, Bach A, Böhrer H, Martin E, Motsch J: Effects of pre-induction and intraoperative warming during major laparotomy. *Br J Anaesth* 1998;80:159–163
- Buggy D, Hughes N: Pre-emptive use of the space blanket reduces shivering after general anaesthesia. *Br J Anaesth* 1994;72:393–396
- Frank SM, Kluger MJ, Kunkel SL: Elevated thermodynamic setpoint in postoperative patients. *Anesthesiology* 2000;93: 1426–1431
- Frank SM, Fleisher LA, Olson KF, Gorman RB, Higgins MS, Breslow MJ, et al: Multivariate determinants of early postoperative oxygen consumption in elderly patients. Effects of shivering, body temperature, and gender. *Anesthesiology* 1995;83:241–249
- Schäfer M, Kunitz O: Postoperatives Shivering. *Anaesthesist* 2002;51:768–781
- Sladen RN: Thermal Regulation in Anesthesia and Surgery. In: Barash PG (Hrsg.): ASA Refresher Course. Volume 19, Philadelphia: J.B. Lippincott Company 1991;165–187
- Frank SM, Beattie C, Christopherson R, Norris EJ, Perler BA, Williams GM, et al:

Review Articles

Medical Education

- Unintentional hypothermia is associated with postoperative myocardial ischemia. The Perioperative Ischemia Randomized Anesthesia Trial Study Group. *Anesthesiology* 1993;78:468–476
29. Zhang Z, Xu M, Wu D, Zhang X, Wu J: Postoperative Myocardial Injury in Middle-Aged and Elderly Patients Following Curative Resection of Esophageal Cancer With Aggressive or Standard Body Temperature Management: A Randomized Controlled Trial. *Anesth Analg* 2019;129:352–359
 30. Heier T, Caldwell JE, Sessler DI, Kitts JB, Miller RD: The relationship between adductor pollicis twitch tension and core, skin, and muscle temperature during nitrous oxide – isoflurane anesthesia in humans. *Anesthesiology* 1989;71:381–384
 31. Hansen D, Syben R, Vargas O, Spies C, Welte M: The alveolar-arterial difference in oxygen tension increases with temperature-corrected determination during moderate hypothermia. *Anesth Analg* 1999;88:538–542
 32. Lenhardt R, Marker E, Goll V, Tschernich H, Kurz A, Sessler DI, et al: Mild intraoperative hypothermia prolongs postanesthetic recovery. *Anesthesiology* 1997;87:1318–1323
 33. Yi J, Lei Y, Xu S, Si Y, Li S, Xia Z, et al: Intraoperative hypothermia and its clinical outcomes in patients undergoing general anesthesia: National study in China. *PLoS One* 2017;12:e0177221
 34. Bauer M, Bock M, Martin J, Schaper C, Chamaly M, Mahla E et al: Ungeplante postoperative Aufnahme elektiver Patienten auf Intensivstation: Eine prospektive Multi-Center-Analyse von Inzidenz, Kausalität und Vermeidbarkeit. *Anästh Intensivmed* 2007;48:542–550
 35. Carli F, Emery PW, Freemantle CA: Effect of peroperative normothermia on postoperative protein metabolism in elderly patients undergoing hip arthroplasty. *Br J Anaesth* 1989;63:276–282
 36. Behnke M, Aghdassi SJ, Hansen S, Diaz LAP, Gastmeier P, Piening B: The Prevalence of Nosocomial Infection and Antibiotic Use in German Hospitals. *Dtsch Arztebl Int* 2017;114:851–857
 37. Schweizer ML, Cullen JJ, Perencevich EN, Vaughan Sarrazin MS: Costs Associated With Surgical Site Infections in Veterans Affairs Hospitals. *JAMA Surg* 2014;149:575–581
 38. Bräuer A, Scheithauer S: Prävention der unbeabsichtigten perioperativen Hypothermie. *Krankenhaushygiene Up2date* 2016;11:291–303
 39. Hopf HW, Hunt TK, West JM, Blomquist P, Goodson WH 3rd, Jensen JA, et al: Wound tissue oxygen tension predicts the risk of wound infection in surgical patients. *Arch Surg* 1997;132:997–1004
 40. Melling AC, Ali B, Scott EM, Leaper DJ: Effects of preoperative warming on the incidence of wound infection after clean surgery: a randomised controlled trial. *Lancet* 2001;358:876–880
 41. Kurz A, Sessler DI, Lenhardt R: Perioperative normothermia to reduce the incidence of surgical-wound infection and shorten hospitalization. Study of Wound Infection and Temperature Group. *N Engl J Med* 1996;334:1209–1215
 42. Billeter AT, Hohmann SF, Druen D, Cannon R, Polk HC Jr.: Unintentional perioperative hypothermia is associated with severe complications and high mortality in elective operations. *Surgery* 2014;156:1245–1252
 43. Yamada K, Nakajima K, Nakamoto H, Kohata K, Shinozaki T, Oka H, et al: Association Between Normothermia at the End of Surgery and Postoperative Complications Following Orthopedic Surgery. *Clin Infect Dis* 2020;70:474–482
 44. Devereaux PJ, Chan MT, Alonso-Coello P, Walsh M, Berwanger O, Villar JC, et al: Association between postoperative troponin levels and 30-day mortality among patients undergoing noncardiac surgery. *JAMA* 2012;307:2295–2304
 45. Frank SM, Fleisher LA, Breslow MJ, Higgins MS, Olson KF, Kelly S, et al: Perioperative maintenance of normothermia reduces the incidence of morbid cardiac events. A randomized clinical trial. *JAMA* 1997;277:1127–1134
 46. Gopan G, Kumar L, Babu AR, Sudhakar A, George R, Menon VP: Intraoperative factors contributory to myocardial injury in high-risk patients undergoing abdominal surgery in a South Indian population. *Indian J Anaesth* 2020;64:743–749
 47. Bush HL Jr., Hydo LJ, Fischer E, Fantini GA, Silane MF, Barie PS: Hypothermia during elective abdominal aortic aneurysm repair: the high price of avoidable morbidity. *J Vasc Surg* 1995;21:392–400
 48. Quiroga E, Tran NT, Hatsukami T, Starnes BW: Hypothermia is associated with increased mortality in patients undergoing repair of ruptured abdominal aortic aneurysm. *J Endovasc Ther* 2010;17:434–438
 49. Karalapillai D, Story DA, Calzavacca P, Licari E, Liu YL, Hart GK: Inadvertent hypothermia and mortality in postoperative intensive care patients: retrospective audit of 5050 patients. *Anaesthesia* 2009;64:968–972
 50. Karalapillai D, Story D, Hart GK, Bailey M, Pilcher D, Schneider A, et al: Postoperative hypothermia and patient outcomes after major elective non-cardiac surgery. *Anaesthesia* 2013;68:605–611
 51. Addendum to Clinical Guideline 65, Inadvertant Perioperative Hypothermia. <https://www.nice.org.uk/guidance/cg65/update/cg65-update-1/documents/addendum>
 52. Wetz AJ, Perl T, Brandes IF, Harden M, Bauer M, Bräuer A: Unexpectedly high incidence of hypothermia before induction of anesthesia in elective surgical patients. *J Clin Anesth* 2016;34:282–289
 53. Bräuer A, Müller MM, Wetz AJ, Quintel M, Brandes IF: Influence of oral premedication and prewarming on core temperature of cardiac surgical patients: a prospective, randomized, controlled trial. *BMC Anesthesiol* 2019;19:55
 54. 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
 55. Sessler DI: Temperature monitoring and management during neuraxial anesthesia. *Anesth Analg* 1999;88:243–245
 56. Bräuer A, Russo M, Nickel EA, Bauer M, Russo SG: Anwendungsrealität des perioperativen Wärmemanagements in Deutschland. Ergebnisse einer Online-Umfrage. *Anästhesiologie & Intensivmedizin* 2015;56:287–297
 57. Bräuer A: Perioperative Temperature Management. Cambridge: Cambridge University Press 2017
 58. Wang M, Singh A, Qureshi H, Leone A, Mascha EJ, Sessler DI: Optimal Depth for Nasopharyngeal Temperature Probe Positioning. *Anesth Analg* 2016;122:1434–1438
 59. Höcker J, Bein B, Böhm R, Steinfath M, Scholz J, Horn EP: Correlation, accuracy, precision and practicability of perioperative measurement of sublingual temperature in comparison with tympanic membrane temperature in awake and anaesthetised patients. *Eur J Anaesthesiol* 2012;29:70–74
 60. Bräuer A, Fazliu A, Brandes IF, Vollnhals F, Grote R, Menzel M: Evaluation of the Temple Touch Pro noninvasive core-

- temperature monitoring system in 100 adults under general anesthesia: a prospective comparison with esophageal temperature. *J Clin Monit Comput* 2022; Apr 4. DOI: 10.1007/s10877-022-00851-z. Online ahead of print
61. Soehle M, Dehne H, Hoeft A, Zenker S: Accuracy of the non-invasive Tcore™ temperature monitoring system to measure body core temperature in abdominal surgery. *J Clin Monit Comput* 2020;34:1361–1367
 62. Boisson M, Alaux A, Kerforne T, Mimos O, Debaene B, Dahyot-Fizelier C, et al: Intra-operative cutaneous temperature monitoring with zero-heat-flux technique (3M SpotOn) in comparison with oesophageal and arterial temperature: A prospective observational study. *Eur J Anaesthesiol* 2018;35:825–830
 63. 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
 64. Horrow JC, Rosenberg H: Does urinary catheter temperature reflect core temperature during cardiac surgery? *Anesthesiology* 1988;69:986–989
 65. Bräuer A, Martin JD, Schuhmann MU, Braun U, Weyland W: Genauigkeit der Blasentemperaturmessung bei intraabdominellen Eingriffen. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 2000;35:435–439
 66. Pei L, Huang Y, Xu Y, Zheng Y, Sang X, Zhou X, et al: Effects of Ambient Temperature and Forced-air Warming on Intraoperative Core Temperature: A Factorial Randomized Trial. *Anesthesiology* 2018;128:903–911
 67. Sessler DI: Mild perioperative hypothermia. *N Engl J Med* 1997;336:1730–1737
 68. Horn EP, Bein B, Böhm R, Steinfath M, Sahili N, Höcker J: The effect of short time periods of pre-operative warming in the prevention of peri-operative hypothermia. *Anaesthesia* 2012;67:612–617
 69. Lau A, Lowlaavar N, Cooke EM, West N, German A, Morse DJ, et al: Effect of preoperative warming on intraoperative hypothermia: a randomized-controlled trial. *Can J Anaesth* 2018;65:1029–1040
 70. 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
 71. Bräuer A, Quintel M: Forced-air warming: technology, physical background and practical aspects. *Curr Opin Anaesthesiol* 2009;22:769–774
 72. McGain F, Sheridan N, Wickramarachchi K, Yates S, Chan B, McAlister S: Carbon Footprint of General, Regional, and Combined Anesthesia for Total Knee Replacements. *Anesthesiology* 2021;135:976–991
 73. Ralph N, Gow J, Conway A, Duff J, Edward K-L, Alexander K, Bräuer A: Costs of inadvertent perioperative hypothermia in Australia: A cost-of-illness study. *Collegian* 2020;27:345–351.

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