

CliniCum

Das Magazin für die Führungskräfte im Krankenhaus

Thermoregulation in der Anästhesie



Experten-Meeting am 26. Juni 2003

Prim. Dr. Gernot Ammann, Prim. Univ.-Prof. Dr. Hartwig Draxler, Prim. Dr. Jörg Engler, Univ.-Prof. Dr. Peter Stefan Germann, Prim. Univ.-Doz. Dr. Reinhard Germann, Prim. Univ.-Prof. Dr. Florian Gottsauner-Wolf, Univ.-Doz. Dr. Robert Greif, Mag. Walter Hiebl, Prim. Univ.-Prof. Dr. Günter Huemer, Univ.-Prof. Dr. Udo Illievich, Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Kröll, Univ.-Prof. Dr. Rainer Lenhardt, O. Univ.-Prof. Dr. Karl Heinz Lindner, Univ.-Prof. Dr. Helfried Metzler, Prim. Univ.-Prof. Dr. Gernot Pauser, Univ.-Prof. Dr. Maria Angela Rajek, Prim. Dr. Albert Reiter, Ing. Manfred Rödiger, OA Dr. Harald Schmied, Univ.-Prof. Dr. Christian Spiss, Prim. Dr. Helmut Trimmel

Vorsitz: O. Univ.-Prof. Dr. Andrea Kurz, O. Univ.-Prof. Dr. Michael Zimpfer

Vorwort



O. Univ.-Prof. Dr.
Andrea Kurz
Klinik und Poliklinik für
Anästhesiologie, Bern



O. Univ.-Prof. Dr.
Michael Zimpfer
Univ.-Klinik für Anästhesie
und Allgemeine Intensiv-
medizin, Wien

Perioperative Hypothermie ist eine häufige und ernst zu nehmende Komplikation der Anästhesie und Chirurgie. Sie entsteht dadurch, dass alle Anästhetika eine Inhibition der zentralen und peripheren thermoregulatorischen Kontrolle hervorrufen und zusätzlich der Patient einer gewissen Kälteexposition während der Operation ausgesetzt ist. Beides führt dazu, dass die Körpertemperatur der Patienten während der Operation absinkt. Selbst milde perioperative Hypothermie verursacht zahlreiche Komplikationen wie z.B. eine erhöhte Inzidenz postoperativer Wundinfektionen, vermehrten perioperativen Blutverlust, verlängerten Metabolismus verschiedener Medikamente und eine verlängerte Aufenthaltsdauer im Aufwachraum.

Die Forschung auf dem Gebiet der Thermoregulation in der Anästhesie hat innerhalb des letzten Jahrzehnts dazu geführt, dass das Problem der perioperativen Hypothermie erkannt und auch verschiedenste Behandlungs- und Präventionsmethoden untersucht wurden. Daher ist heutzutage akzidentielle, perioperative Hypothermie weit gehend vermeidbar, und Hypothermie wird nur angewandt, wenn es therapeutisch indiziert ist.

Eine hochrangige Expertenrunde hat sich zu einem persönlichen Meeting getroffen und dabei die wesentlichen Fragen zur Thermoregulation in der Anästhesie diskutiert. Im Folgenden freuen wir uns, Ihnen die Ergebnisse dieses Konsensus-Meetings, betreffend Physiologie der perioperativen Hypothermie, die Konsequenzen derselben und auch die Verfahren zur Vermeidung der perioperativen Hypothermie, vorzustellen.

O. Univ.-Prof. Dr. Andrea Kurz

O. Univ.-Prof. Dr. Michael Zimpfer

Mag. Andrea Budin, Medizin Akademie

Karl E. Buresch, Medizin Akademie

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Verleger: Medizin Medien Austria GmbH DVR Nr.: 1042475 **Verlags- und Redaktionsadresse:** Wiedner Hauptstraße 120-124, 1050 Wien, Tel.: 01/546 00-0, Fax: DW 730, E-Mail: medizin@medizin-medien.at **Geschäftsführung:** Thomas Zembacher DW 110 **Für den Inhalt verantwortlich:** Prim. Dr. Gernot Ammann, Prim. Univ.-Prof. Dr. Hartwig Draxler, Prim. Dr. Jörg Engler, Univ.-Prof. Dr. Peter Stefan Germann, Prim. Univ.-Doz. Dr. Reinhard Germann, Prim. Univ.-Prof. Dr. Florian Gottsauner-Wolf, Univ.-Doz. Dr. Robert Greif, Mag. Walter Hiebl, Prim. Univ.-Prof. Dr. Günter Huemer, Univ.-Prof. Dr. Udo Illievich, Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Kröll, Univ.-Prof. Dr. Rainer Lenhardt, O. Univ.-Prof. Dr. Karl Heinz Lindner, Univ.-Prof. Dr. Helfried Metzler, Prim. Univ.-Prof. Dr. Gernot Pauser, Univ.-Prof. Dr. Maria Angela Rajek, Prim. Dr. Albert Reiter, Ing. Manfred Rödiger, OA Dr. Harald Schmied, Univ.-Prof. Dr. Christian Spiss, Prim. Dr. Helmut Trimmel **Vorsitz:** Univ.-Prof. Dr. Andrea Kurz, O. Univ.-Prof. Dr. Michael Zimpfer **Titelbild:** Barbara Krobath **Lektorat:** Karl Heinz Javorsky **Art Direction:** Karl J. Kuba **Layout und DTP:** Judit Mihályi **Litho:** Bernhard Computertext **Druck:** Friedrich VDV, 4020 Linz **Auflage:** 11.500 Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit ausdrücklicher, schriftlicher Genehmigung von Medizin Medien Austria GmbH.

Mit freundlicher Unterstützung der Firmen Augustin Medical und Gepa-Med.

Thermoregulation

Einleitung

Die Forschung auf dem Gebiet der Thermoregulation in der Anästhesie hat innerhalb des letzten Jahrzehnts große Fortschritte gemacht. Erst in diesem Zeitraum entwickelte sich ein verstärktes Bewusstsein für die Bedeutung der Thermoregulation während Regional- und Allgemeinanästhesien sowie auch im Bereich der Notfallmedizin, besonders bei neurologischen Schädigungen.

I. Pathophysiologie

Die normale Kerntemperatur beträgt ca. 37,0°C. Beim normalen, nicht anästhesierten Menschen wird die Kerntemperatur in einem relativ schmalen Bereich von 0,2 bis 0,3°C konstant gehalten. Kommt es zum Temperaturanstieg, wird Schwitzen ausgelöst; beim Temperaturabfall kommt es zunächst zur Vasokonstriktion in arteriovenösen Shunts (die vor allem in den Extremitäten zu finden sind), dann zum Kältezittern. Beim anästhesierten Patienten sind diese Schwellen nach oben bzw. unten verschoben – es kommt erst oberhalb von etwa 37,5°C zum Schwitzen und erst deutlich unterhalb von 36°C zur Vasokonstriktion (siehe Abbildung 1). Das liegt vor allem daran, dass die meisten Anästhetika eine vasodilatierende Wirkung aufweisen.

Sowohl Inhalationsnarkotika als auch Opioide und andere in der Anästhesie verwendete Substanzen senken dosisabhängig die Vasokonstriktionsschwelle (in geringerem Ausmaß wird auch die Schwelle der Schweißproduktion angehoben) und führen somit direkt zu Hypothermie. Dabei

verändert sich nicht nur die Vasokonstriktionsschwelle, sondern auch die Geschwindigkeit der Vasokonstriktion; auch diese ist unter Anästhetika verlangsamt, was zu einer Verstärkung der Hypothermie führt. Zu beachten ist, dass die Vasokonstriktionsschwelle bei älteren Menschen physiologischerweise sinkt – bei Kindern hingegen entspricht sie etwa jenem Wert, der auch bei jüngeren Erwachsenen zu finden ist.

Der typische Temperaturverlauf während einer Allgemein-narkose besteht in einem raschen Kerntemperaturabfall während der ersten ein bis eineinhalb Stunden nach Narkoseeinleitung, da zunächst einmal die zumeist vor Narkosebeginn bestehende Vasokonstriktion durch die verwendeten Narkotika aufgehoben wird; gleichzeitig verschiebt sich die Vasokonstriktionsschwelle nach unten (siehe Abbildung 2). In dieser Phase kommt es zunächst zu einer Umverteilung von Wärme aus dem Körperkern in die Körperperipherie und noch nicht so sehr zu einem Wärmeverlust an die Umgebung.

Danach setzt sich der Temperaturabfall durch weitere zwei bis zweieinhalb Stunden relativ konstant fort, da der Wärmeverlust (nunmehr auch auf den Gesamtorganismus bezogen) während der Narkose größer ist als jenes Maß an Wärme, das der narkotisierte Patient metabolisch erzeugen kann. Nach etwa vier Stunden Narkosedauer ist zumeist die Vasokonstriktionsschwelle überschritten, und die Kerntemperatur stabilisiert sich. Es kommt in dieser Phase zu einer Art Entkoppelung der Temperaturregelung von Körperkern und Peripherie.

Die verschiedenen Arten der Wärmeabgabe während der Allgemeinnarkose – Konvektion, Konduktion, Strahlung

Abbildung 1:
Kerntemperaturregelung im Normalfall und unter Anästhesie

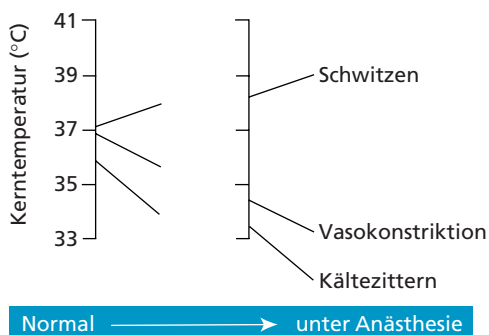


Abbildung 2:
Typischer Temperaturverlauf während mehrstündiger Allgemeinanästhesie

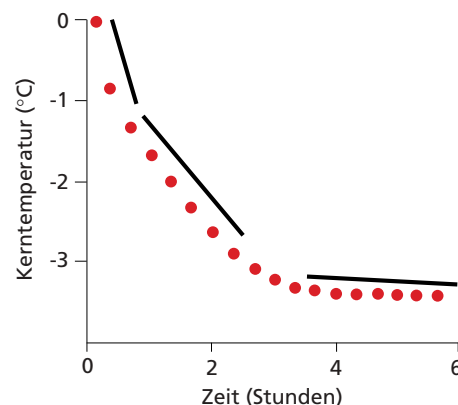
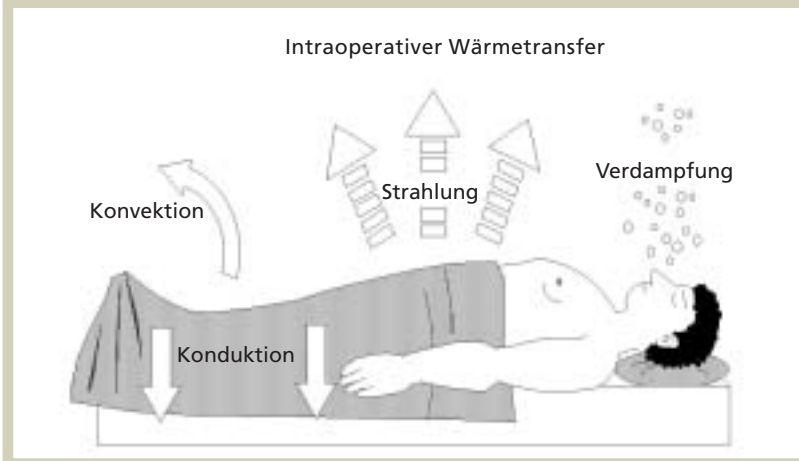


Abbildung 3:
Verschiedene Formen der Wärmeabgabe während der Anästhesie



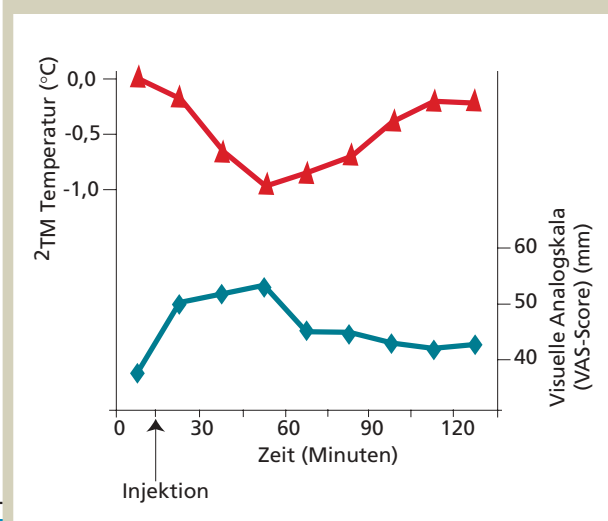
und Verdampfung – zeigt das Schema in Abbildung 3. Für den größten Anteil des Wärmeverlustes ist die Wärmeabstrahlung und die Konvektion verantwortlich, während die Wärmeabgabe über das Atemwegssystem weniger als 10% des Wärmeverlustes ausmacht.

Regionalanästhesie

In der Spinalanästhesie sind die Verhältnisse prinzipiell sehr ähnlich wie in Allgemeinanästhesie – wobei die Absolutwerte der Schwellenverlagerung etwas geringer sind. Auch hier ist die Zeit bis zum Erreichen der maximalen Intensität des Kältezitterns verlängert und das Maximum des Kältezitterns durch die sympathische und motorische Blockade verringert.

Während es in Spinalanästhesie objektiv zu einem Temperaturabfall kommt, wird dieser subjektiv von den Patienten nicht empfunden, im Gegenteil: Misst man die Tempe-

Abbildung 4:
Diskrepanz zwischen objektivem Temperaturabfall und subjektivem Temperaturempfinden (VAS-Score)



aturempfindung während der Spinalanästhesie mit einer VA-Skala (visuelle Analogskala), so zeigt sich, dass es parallel zum Temperaturabfall zunächst zu einem Anstieg des Wärmeempfindens kommt, was auch der täglichen Erfahrung im Operationsaal entspricht (siehe Abbildung 4).

Im Gegensatz zur Allgemeinnarkose tritt unter Spinalanästhesie das Temperaturplateau, auf dem der Patient sich stabilisiert, nicht oder deutlich verspätet auf, was mit der anästhesiebedingten Ausschaltung des Sympathikus zusammenhängt.

2. Folgen perioperativer Hypothermie

Zu den Folgen intraoperativer Hypothermie wurden eine Reihe von Studien durchgeführt, davon einige in Österreich. Die möglichen negativen Folgen einer perioperativen Hypothermie können intraoperativ, unmittelbar postoperativ, aber auch noch Tage nach dem operativen Eingriff auftreten. Allerdings kann Hypothermie bei gewissen Patientengruppen und bei spezifischen Indikationen auch als therapeutisch angesehen werden.

2.1. Komplikationen

Herabgesetzter Medikamentenmetabolismus

Wir legen heutzutage in der Anästhesie großen Wert darauf, Anästhetika mit kurzer Halbwertszeit zu verwenden, um ein rasches Erwachen aus der Narkose zu ermöglichen. Dies verringert Aufwachraumzeiten und minimiert Risiken wie Hypoventilation, Atemwegobstruktion und Aspiration. Die meisten Enzyme, inklusive derer, die den Metabolismus der Anästhetika beeinflussen, sind temperatursensibel. Daher hat bereits milde Hypothermie einen großen Effekt auf den Metabolismus verschiedenster Medikamente.

Die minimale Alveolarkonzentration (MAC) von Halothan und Isofluran verringert sich um etwa 5% pro °C Reduktion der Körpertemperatur. Zum Zeitpunkt, an dem die Gehirntemperatur 20°C erreicht, wird daher Anästhesie nicht länger benötigt (MAC = 0).

2°C Kernhypothermie verdoppeln die Halbwertszeit von Vecuronium. Diese Verlängerung ist ein pharmakokinetischer und nicht pharmakodynamischer Prozess. Die Verlängerung der Halbwertszeit von Atracurium ist nicht ganz so dramatisch: Eine Reduzierung der Körpertemperatur um 3°C verlängert die Wirkphase nur um 60%. Während kontinuierlicher Propofolinfusion findet man 30% höhere Plasmakonzentrationen bei Patienten, die 3°C hypotherm sind. Dieser Anstieg resultiert aus verringerter Clearance

zwischen oberflächlichen und tiefen Kompartimenten.

Kardiale Konsequenzen

Eine Studie von Frank et al. [1] zeigte, dass – allerdings in einem älteren, nicht gesunden Patientenkollektiv – postoperativ sowohl koronare Ereignisse (Ischämien) als auch Herzrhythmusstörungen signifikant und bis zu dreimal häufiger unter perioperativer Hypothermie auftraten als unter Normothermie. Der Unterschied in der Durchschnittskerntemperatur zwischen den beiden Gruppen betrug hier 1,4°C (35,3°C versus 36,7°C).

Konsequenzen für die Hämostase

Schmied et al. [2] zeigten in der ersten derartigen prospektiven, randomisierten Studie an 60 Patienten, die sich einer totalen Hüftendoprothesen-Implantation unterziehen mussten, dass bei Hypothermie im Vergleich zu Normothermie (Unterschied durchschnittlich 1,6°C) sowohl der Blutverlust mit 2,2 versus 1,7 Liter pro Patient wesentlich höher war als auch der Bedarf an allogenen Blut, der bei Hypothermie statistisch 80ml/Patient, bei Normothermie jedoch nur 10ml/Patient betrug. Einer der Gründe liegt in einer Beeinträchtigung der Plättchenfunktion durch Hypothermie – wobei sich in der vorliegenden Studie beide Differenzen vor allem aus Unterschieden in der Wiedererwärmungsphase der hypothermen Patienten gegenüber der normothermen Gruppe ergaben.

Bemerkenswert ist dabei auch, dass in derselben Studie eine Reihe von anderen Parametern wie Unterschiede bei Drainagen, prä- und postoperativer Antikoagulation, Verwendung von Fibrinklebern, Blutstillung oder Druckverbänden keinerlei Unterschied im Hinblick auf den Blutverlust und den Bedarf an Bluttransfusionen ergaben.

Wundinfektionen

Eine von Kurz et al. publizierte Studie [3] an 200 Patienten mit Kolonoperationen konnte zeigen, dass die Rate der postoperativen Wundinfektionen bei normothermen Patienten mit 6% signifikant geringer war als bei hypothermen Patienten (19%). Auch die durchschnittliche Zahl der Spitalsaufenthalts-tage lag bei normothermen Patienten mit 12,1 signifikant niedriger als bei hypothermen Patienten (14,7 Tage). Die mittlere Temperaturdifferenz lag hier bei 1,9°C.

Erholungszeit im Aufwachraum

Lenhardt et al. [4] zeigten schließlich an 150 Patienten auch, dass sich die Aufenthaltszeit im Aufwachraum bei



Prim. Dr. Gernot Ammann
Anästhesieabteilung, Hanusch-Krankenhaus, Wien



Prim. Univ.-Prof. Dr. Hartwig Draxler
Abteilung für Anästhesie, LKH Steyr



Prim. Dr. Jörg Engler
Abteilung für Anästhesiologie und Intensivmedizin, LKH Leoben



Univ.-Prof. Dr. Peter Stefan Germann
Univ.-Klinik für Anästhesie und Allg. Intensivmedizin, Wien



Prim. Univ.-Doz. Dr. Reinhard Germann
Anästhesiologie und Intensivmedizin, LKH Feldkirch

perioperativer Hypothermie signifikant verlängert. Auch hier betrug die Temperaturdifferenz im Mittel 1,9°C. Die Gründe für diesen Unterschied liegen unter anderem in einer Verlängerung der Wirkdauer verschiedener Medikamente (wie Muskelrelaxanzien, Propofol, Inhalationsanästhetika) durch Hypothermie. Die hypotherme Gruppe benötigte im Durchschnitt 40 Minuten mehr, um in einen Zustand zu kommen, der es ihnen erlaubte, aus dem Aufwachraum auf die Normalstation transferiert zu werden.

Weitere Folgen

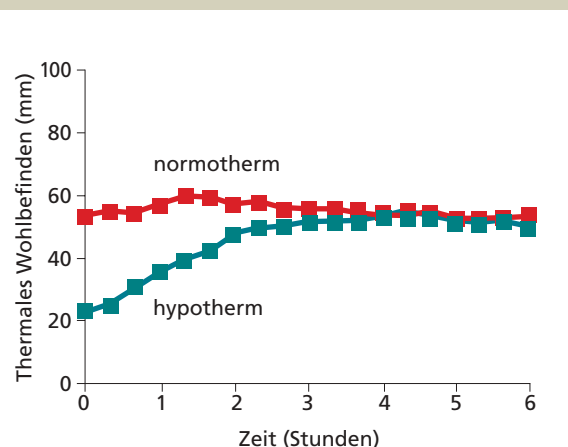
Zwei weitere Phänomene sind als Folgen der perioperativen Hypothermie noch zu erwähnen: das thermoregulatorische Kältezittern und der thermale Dyskomfort. Beide führen zwar nicht unbedingt zu erhöhter Morbidität, sind aber subjektiv dennoch sehr unangenehm. Das thermoregulatorische Kältezittern wird durch Körperkernhypothermie ausgelöst und folgt der arteriovenösen Shuntkonstriktion in den Akren der Extremitäten.

Die Häufigkeit wird bei nicht aktiv gewärmten Patienten zumeist mit

etwa 40% angegeben, die Literaturangaben schwanken jedoch zwischen 20 und 70%. Das Kältezittern kann bis zu mehreren Stunden postoperativ anhalten, wobei junge Patienten aufgrund größerer Muskelmasse stärkeres Kältezittern erleben als ältere [5].

Der thermale Dyskomfort kann mittels visueller Analog-

Abbildung 5:
Thermaler Dyskomfort anhand einer VAS
(Wert des maximalen Wohlbefindens = 50)



skalen gemessen werden (siehe Abbildung 5) und ebenso wie das Kältezittern durchaus einige Stunden anhalten.

2.2. Benefits

Milde Hypothermie bei zerebraler Ischämie

Aus all dem bisher Gesagten scheint zweifelsfrei hervorzugehen, dass eine perioperative Hypothermie unter allen Umständen zu vermeiden ist. Dies gilt jedoch nicht in allen Fällen. Vor allem dann, wenn eine zerebrale Ischämie welcher Ursache auch immer besteht, ist eine milde Hypothermie sogar anstrebenswert, da sie das Ausmaß des Gewebsuntergangs über eine Vielzahl von Mechanismen gegenüber Normothermie – und besonders auch gegenüber Hyperthermie – signifikant reduziert. Bisher sind 21 Angriffspunkte in der Ischämiekaskade dargestellt worden, die durch eine Absenkung der Kerntemperatur um 2 bis 3°C positiv beeinflusst werden. Auch der intrakranielle Druck kann durch Hypothermie signifikant gesenkt werden [7].

Unabhängig von der Frage, ob eine therapeutische Hypothermie angestrebt wird oder nicht, ist jedoch zu beachten, dass die intrakranielle Temperatur bis zu 1,2°C über Kerntemperatur liegt, so dass eine zerebrale Normothermie dann vorliegt, wenn die Kerntemperatur zwischen 35 und 36°C liegt. Eine zerebrale Hyperthermie – zu der gerade neurologische Patienten trotz Therapie neigen – verschlechtert nachweislich das neurologische Ergebnis und erhöht die Mortalität.

Pharmakologisch ist schon das Verhindern der Hyperthermie de facto kaum möglich, so dass sich zu diesem Zweck, so wie auch zum Erreichen einer therapeutischen Hypothermie neuerdings intravaskuläre Katheter anbieten.

Schädel-Hirn-Trauma

In einer randomisierten, prospektiven Multicenterstudie [6] an 392 Komapatienten mit Schädel-Hirn-Trauma, in der eine Hypothermiegruppe (33°C) mit einer Normothermiegruppe verglichen wurde, konnte zwar weder in der Mortalität noch im neurologischen Ergebnis ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen erhoben werden. Aller-



Prim. Univ.-Prof. Dr. Florian Gottsauner-Wolf
Abteilung für Orthopädie, Krankenhaus Krems



Univ.-Doz. Dr. Robert Greif
Abteilung für Anästhesiologie, Donauespital im SMZ Ost, Wien



Prim. Univ.-Prof. Dr. Günter Huemer
Abt. für Anästhesiologie, KH der Barmherzigen Schwestern, Wels



Univ.-Prof. Dr. Udo Illievich
Univ.-Klinik für Anästhesie und Allg. Intensivmedizin, Wien



Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Kröll
Univ.-Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Graz

dings – so die Kritikpunkte an dieser Studie – bestand in den Ergebnissen eine beträchtliche Varianz zwischen einzelnen Zentren, und es gab auch kein standardisiertes Behandlungsprotokoll bezüglich wesentlicher Parameter (mittlerer arterieller Druck, Perfusionsdruck und Flüssigkeitstherapie). Aus diesem Grund wird eine gleichartige Studie nun mit besserer Methodik wiederholt.

Eine andere Studie [7] zeigte hingegen deutlich, dass bei entsprechender Methodik und richtiger Indikationsstellung zumindest Patienten mit nicht allzu schwerer neuronaler Schädigung (Glasgow-Coma-Scale 5 bis 7) von einer milden Hypothermie (in dieser Studie bis zu 32,8°C) sehr wohl profitieren, sowohl bezüglich Mortalität als auch bezüglich neurologischem Outcome. Eine der Voraussetzungen für dieses Ergebnis ist die konsequente Therapie der Nebenwirkungen einer Hypothermie: Elektrolytverluste, Arrhythmien, Hypovolämie und hypotensive Episoden. Ein Wiedererwärmen wurde in dieser Studie erst dann begonnen, wenn der intrakranielle Druck über mindestens 24 Stunden unter 20mm-Hg gelegen war.

Schlaganfall

Auch bei Schlaganfallpatienten konnte in Beobachtungs- und Pilotstudien ein besseres Ergebnis unter Hypothermie als unter Normothermie gezeigt werden. Sowohl die Größe des Infarktareals als auch der klinische Schweregrad und die Mortalität waren unter Hypothermie geringer als unter Normothermie. Große randomisierte kontrollierte Studien fehlen hier allerdings und sind in absehbarer Zeit auch nicht zu erwarten.

Aneurysmachirurgie und Reanimation

Auch bei Aneurysmaoperationen zeigte sich ein positiver Einfluss der milden Hypothermie. Die Häufigkeit neurologischer Defizite konnte gesenkt, das klinisch-neurologische Ergebnis verbessert werden (die endgültigen Outcome-Ergebnisse einer großen multizentrischen Studie dazu sollten im Frühjahr 2004 vorliegen).

Ein ähnliches Ergebnis zeigte die von der Wiener Universitätsklinik für Notfallmedizin unter der Leitung von Univ.-Prof. Dr. Fritz Sterz geleitete Studie [8] über Hypothermie nach Reanimation aufgrund von Herzstillstand: Hypothermie zwischen 32 und 34°C über 24 Stunden brachte eine verringerte Mortalität und ein verbessertes neurologisches Ergebnis.

3. Diagnostik und Messmethoden

Die derzeit gültigen Empfehlungen zum perioperativen Temperaturmonitoring geben folgende Indikationen an: jeder Eingriff in Narkose oder rückenmarksnahem Regionalanästhesieverfahren, der voraussichtlich länger als 30 Minuten dauert; Anästhesie bei Kindern und geriatrischen Patienten; Eingriffe mit erhöhtem Wärmeverlust oder perioperativen Techniken aktiven Wärmens oder Kühlens des Patienten sowie Risikopatienten für maligne Hyperthermie. Anforderungen an die Technik der Temperaturmessung sind: Sie soll die Kerntemperatur widerspiegeln, wenig invasiv und gut praktikabel sein, möglichst unbeeinflusst von der Gewebsperfusion und der Umgebungstemperatur funktionieren und eventuelle rasche Änderungen der Kerntemperatur möglichst verzögerungsfrei wiedergeben. Dabei versteht man unter Kerntemperatur die Temperatur von homogen und gut perfundierten Kernarealen, die der Hypothalamustemperatur entspricht. In der Praxis misst man die Kerntemperatur in gut perfundiertem Gewebe mit arterieller Versorgung unmittelbar aus zentralen Gefäßen, wie dem Aortenbogen oder der Pulmonalarterie. Als Messorte kommen primär die Pulmonalarterie, der distale Ösophagus, der Nasopharynx oder das Trommelfell in Frage.

Messmethoden

Temperaturmessung erfolgt über die Änderung der physikalischen Eigenschaft einer Substanz bei Temperaturänderung (Volumen, Widerstand, Leitfähigkeit, Lichtabsorption). Man unterscheidet nicht elektrische Systeme (Ausdehnungsthermometer mit Quecksilber oder Alkohol, Flüssigkeitskristallthermometer oder Infrarotthermometer) von elektrischen Systemen mit Thermoelementen (Messung der temperaturabhängigen Kontaktspannung zwischen zwei verschiedenen Metallen) oder Thermistoren (Halbleiterelemente; sind klein und billig in der Herstellung, haben jedoch eine kurze Lebensdauer und müssen häufig kalibriert werden).

Messorte

• **Messort distaler Ösophagus:** Gemessen wird aortennah im distalen Ösophagusdrittel, distal der maximalen Auskultation der Herzaktion. Vorteile: kostengünstig, einfach, komplikationslos; ist ein Standardverfahren zur Messung der Kerntemperatur. Nachteile: bei zu proximaler Lage Messungengenauigkeit durch Kühlung über die benachbarten Luftwege.



Univ.-Prof. Dr. Rainer Lenhardt
Univ.-Klinik für Anästhesie und Allg. Intensivmedizin, Wien



O. Univ.-Prof. Dr. Karl Heinz Lindner
Univ.-Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Innsbruck



Univ.-Prof. Dr. Helfried Metzler
Univ.-Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Graz



Prim. Univ.-Prof. Dr. Gernot Pauser
Landesklinik für Anästhesiologie, St.-Johanns-Spital - LKH Salzburg



Univ.-Prof. Dr. Maria Angela Rajek
Univ.-Klinik für Anästhesie und Allg. Intensivmedizin, Wien

• **Messort Nasopharynx:** Die Lage der Sondenspitze im Nasopharynx entspricht dem Abstand vom Naseneingang zum äußeren Gehörgang. Vorteile: kostengünstig, einfach, komplikationslos; folgt auch raschen Änderungen der Kerntemperatur. Nachteile: Messfehler bei Spontanatmung durch die Nase und bei undichtigem Cuff; die Messwerte liegen generell $\sim 0,2^{\circ}\text{C}$ unter der Ösophagusmessung.

• **Messort Trommelfell:** Gemessen wird die Trommelfelltemperatur über den äußeren Gehörgang. Vorteil: gute Korrelation mit der hypothalamischen Temperatur auch bei rascher Kerntemperaturänderung. Nachteile: Risiko der Trommelfellläsion, mögliche Messfehler bei hochgradiger Carotisstenose oder hoher Umgebungstemperatur.

• **Messort Pulmonalarterie:** Gemessen wird mittels Pulmonalkatheter intravasal. Vorteile: exakte und rasche Wiedergabe von Temperaturänderungen. Nachteile: invasiv, teuer, Komplikationen des zentralen Zugangs und des Pulmonalkatheters.

Neben diesen vier Messorten sind für Routineeingriffe auch andere Messorte mit ausreichender Messgenauigkeit geeignet: Rektum, Harnblase und eventuell die Haut.

• **Messort Rektum:** Gemessen wird in einer Tiefe von 6 bis 15cm. Vorteile: semiinvasiv, gut praktikabel, weit verbreitet, weit gehend unabhängig von der Umgebungstemperatur. Nachteile: Messfehler durch Blutbeimengung aus glutealen und femoralen Regionen, örtliche Distanz zum Kernareal, zeitliche Latenz bei Temperaturänderung, weitere Messungengenauigkeit durch bakterielle Aktivität und Isolation des Thermometers durch Stuhl. Wenig praktikabel bei Operationen im Urogenital- und Rektalbereich.

• **Messort Harnblase:** Gemessen wird mittels eines Harnblasenkatheters mit integrierter Temperatursonde. Vorteile: semiinvasiv, gut praktikabel, komplikationsarm auch bei Langzeitmonitoring. Nachteile: Differenz zur Kerntemperatur abhängig vom Harnfluss, Latenz bei rascher Änderung der Kerntemperatur; Messungengenauigkeit bei Oligoanurie oder akutem Infekt im Bereich des kleinen Beckens.

• **Messort Haut:** Typische Messorte sind Axilla, Stirn oder Nacken. Vorteile: nicht invasiv und frei von Komplikationen. Nachteile: variable Differenz zur Kerntemperatur, hohe Beeinflussung durch Umgebungstemperatur, Hautperfusion oder Aktivitätszustand der thermoregulatorischen Shunts.

4. Wärmemethoden

Da perioperative Hypothermie mit ernsthaften Komplikationen verbunden ist, sollte sie wenn möglich vermieden werden. Inzwischen stehen uns zahlreiche Wärmemethoden zur Verhinderung perioperativer Hypothermie zur Verfügung.

Risikofaktoren

Besonders gefährdet, einen perioperativen Wärmeverlust zu erleiden, sind alte Patienten, sehr schlanke Patienten, Kinder, sowie Patienten, die sich großen Eingriffen oder kombinierten Anästhesieverfahren unterziehen müssen.

Passives Wärmen

Der Großteil des intraoperativen Wärmeverlustes erfolgt über die Haut (etwa 90%). Daher ist Wärmen über die Haut die effektivste Wärmemethode. Die passive Wärmemethode durch Regulierung der Raumtemperatur im Operationssaal auf etwa 25 bis 26°C erschwert das Arbeitsklima für das OP-Personal massiv und ist daher nicht zu realisieren. Eine wesentlich bessere Methode beschränkt die thermalen Manipulationen auf den Patienten. Eine Vielfalt von passiven Isolatoren oder Decken sind derzeit in Verwendung. Alle reduzieren den peripheren Wärmeverlust um ca. 30%, führen dabei aber keine Wärme aktiv zu. Durch diese Maßnahmen kann die Raumtemperatur auf die Ar-



Prim. Dr. Albert Reiter
Abteilung für Anästhesiologie, Klinikum Mostviertel-Amstetten



Ing. Manfred Rödiger
Medizintechnik, Universitätskliniken Wien



OA Dr. Harald Schmied
Abteilung für Anästhesiologie, Klinikum Mostviertel-Amstetten



Univ.-Prof. Dr. Christian Spiss
Univ.-Klinik für Anästhesie und Allg. Intensivmedizin, Wien



Prim. Dr. Helmut Trimmel
Abteilung für Anästhesiologie, KH Wiener Neustadt

beitsbedingungen des Personals abgestimmt werden, ohne zu nachteiligen Wärmeverlusten für den Patienten zu führen.

Aktives Wärmen

Aus diesem Grund kommt den aktiven Wärmemethoden mittels verschiedener technischer Wärmegeräte in der anästhesiologischen Praxis heute eine große Bedeutung zu.

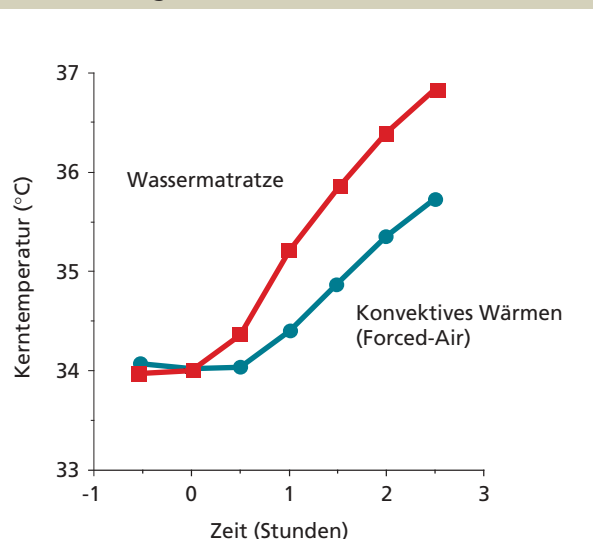
Atemgasanwärmung: Maßnahmen wie Atemgasanfeuchtung und Anwärmung transferieren nur geringe Wärmemengen und tragen daher nicht wesentlich zur Aufrechterhaltung der Körpertemperatur bei, denn weniger als 10% der metabolischen Wärme werden über den Respirationstrakt verloren. Daher können auch nur relativ geringe Wärmemengen über den Respirationstrakt zum Körperkern transferiert werden.

Konvektives Wärmen (Forced-Air Warming): Konvektives Wärmen (Applikation gewärmter Luft über den Körper der Patienten mit eigens dafür entwickelten Wärmegeräten und Patientenabdeckungen) findet derzeit weite Verbrei-

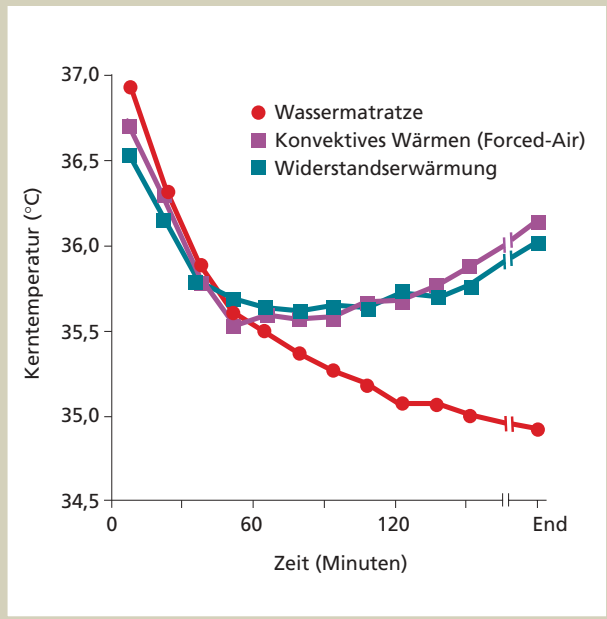
terung. Es ist ein effektives System zur Erhöhung der Gesamtkörperwärme und Kerntemperatur unter fast allen operativen Konditionen und transferiert aktiv etwa 50 Watt über die Hautoberfläche zum Patienten. Geräte und Decken, die gemeinsam als System angeboten werden (Produkte der Klasse II b), ermöglichen den bestmöglichen Wärmetransfer und verringern das Risiko von Verbrennungen. Die Mischung von unterschiedlichen Wärmegeräten und Decken ist zu vermeiden, da sie ein unkalkulierbares Sicherheitsrisiko darstellen. Der Einsatz der Wärmegeräte ohne Decken (Hosing) kann zu signifikanten Risiken wie z.B. Verbrennungen führen und ist daher absolut zu vermeiden.

Wassergefüllte Systeme: Wassermatratzen werden bereits seit vielen Jahren verwendet. Ältere Wassermatratzen haben den Nachteil, dass sie während der Operation unter dem Patienten platziert werden und nur wenig Wärme über die Auflagefläche des Patienten transferiert wird. Deshalb ist die Effizienz dieser Geräte minimal (siehe Abbildung 8). Werden die Wassermatratzen auf dem Patienten platziert, ist dies mit wesentlich höherem Wärmetransfer verbunden. Neuere wassergefüllte Systeme (Abbildung 6), die es ermöglichen, den Patienten „einzupacken“, also einzelne Extremitäten oder auch große Teile des Körpers zu umhüllen, sind hingegen sehr effektiv. Der Nachteil besteht in den höheren Kosten – es handelt sich derzeit auch um Einwegmaterialien.

**Abbildung 6:
Erwärmung durch Konduktion**



**Abbildung 7:
Effektivität von Wasser-, Luft- und Resistive-Heating-Systemen [9]**

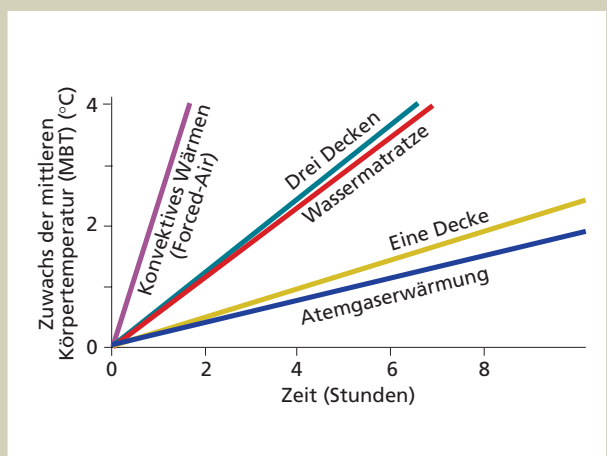


In Österreich bestehen mit diesen Systemen noch relativ wenig Erfahrungen, zumal Wasserbadtechnologie zu einer höheren Verkeimung der Systeme führt.

Resistive Heating: Dieses neuere System besteht aus einer Kohlefaserdecke, mit wiederverwendbarer, waschbarer Hülle. Es wird elektrisch betrieben, wobei auch ein Batteriebetrieb und somit die Verwendung während des Patiententransportes möglich ist. Einige Studien haben gezeigt, dass die Effektivität dieser Systeme sowie der Heat Transfer annähernd dem Forced-Air Warming gleichzusetzen ist (siehe Abbildung 7).

Wärmelampen: Wärmelampen kommen vor allem in der Neonatologie und Kinderanästhesie zum Einsatz. Hier er-

**Abbildung 8:
Effizienzvergleich verschiedener Wärmemethoden (Temperaturzuwachs pro Zeiteinheit)**



folgt die Wärmung ohne direkten Körperkontakt. In der Erwachsenen-anästhesie sind solche Systeme wenig brauchbar.

Erwärmung von Infusionsflüssigkeiten

Die Verabreichung von gewärmten Infusionsflüssigkeiten – Blut oder kristalloide bzw. kolloide Lösungen – stellt keine aktive Wärmemethode dar. Wenn die Notwendigkeit eines Flüssigkeitsersatzes in größerem Umfang besteht, kann man jedoch mittels vorgewärmter Infusionen dem Patienten zumindest einen zusätzlichen Wärmeverlust (Absinken der mittleren Körpertemperatur um 0,25°C pro Liter nicht gewärmter Lösung) ersparen.

Bei der Verwendung von Infusionswärmern ist Folgendes zu beachten:

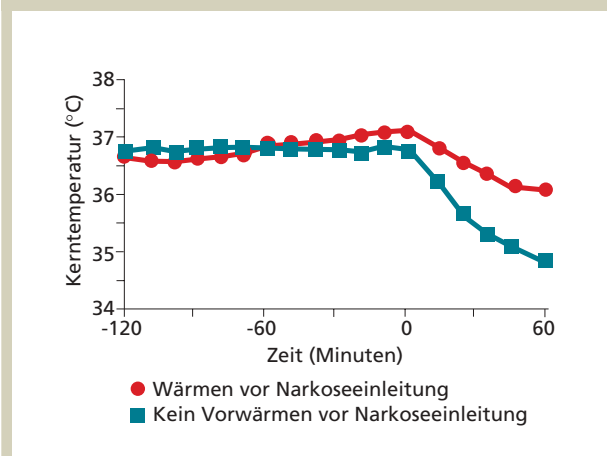
- Erwärmung mit Dry-Heat ist der Wasserbadtechnologie vorzuziehen, da dies zu einer geringeren Verkeimung der Systeme führt und auch die Reinigung der Geräte erleichtert.
- Erwärmung der Flüssigkeiten über 42°C (maximal 46°C) länger als fünf Minuten muss ausgeschlossen sein.
- Hämolyse darf nicht herbeigeführt werden.

Eine Übersicht über die Effektivität verschiedener Wärmemethoden zeigt die Abbildung 8.

Pre-Warming

Bereits 1993 wurden die ersten Arbeiten über das „Pre-Warming“ publiziert, dessen Bedeutung vor allem in der Verhinderung von Hypothermie in den ersten 60 bis 90 Minuten eines operativen Eingriffs liegt. Das Prinzip des Pre-Warming beruht auf der Überlegung, dass es von Vorteil ist, den Gradienten zwischen Kerntemperatur und peripherer Temperatur so gering wie möglich zu halten. Üblicherweise erfolgt Pre-Warming mittels Forced-Air Warming, also Zufuhr gewärmter Luft, durch etwa 30 bis 40 Minuten vor Narkoseeinleitung. So wird der Gradient zwischen Peripherie und Kern auf ein Minimum reduziert, was dann zu einer weitgehenden Verhinderung der Umverteilung von Wärme aus dem Kern in die Peripherie führt (siehe Abbildung 9).

**Abbildung 9:
Unterschied im Temperaturabfall zwischen vorgewärmten und nicht vorgewärmten Patienten [10]**



Gegen eine Kombination mehrerer Wärmemethoden ist nichts einzuwenden. Es gilt der Grundsatz: Je früher wärmen, desto besser. Es ist leichter und schonender, die Patienten prä- und intraoperativ zu wärmen, als postoperative Komplikationen der Wiederaufwärmphase sowie Zittern und thermalen Dyskomfort zu behandeln.

5. Ökonomische Aspekte

Perioperatives Temperaturmanagement ist medizinisch, aber auch ökonomisch vertretbar. Die folgende Aufstellung zeigt die ungefähren Kosten des Temperaturmanagements, wobei bauliche Maßnahme (Heizung, Klimaanlage), die Primärausstattung (Kühlschrank, Wärmeschrank) oder die Betriebskosten (Strom, Wartung, Reparatur) nicht gerechnet sind.

• Monitoring	
Messmodul	ab € 150,-
einmal ösophageale Sonde	ab € 8,-
Blasenkatheter	ab € 10,-
wieder verwendbare Sonden	ab € 100,-
• Infusions-/Transfusionswärmer	
Set (Einschub)	ab € 2.000,- ab € 12,-
• Oberflächenwärmer	
Gebläsegerät (nur wärmen)	€ 2.000–2.500,-
Gebläsegerät (wärmen und kühlen)	ab € 15.000,-
Einmaldecken	€ 10,- bis € 15,-
wieder verwendbare Decken	ab € 8,-
Wärme- und Kühlgerät (Wasser)	ab € 12.000,-
Mehrfachmatten	ab € 500,-
Einmaldecken	€ 30,- bis € 65,-
• Intravasale Sonden	
Gerät	ab € 25.000,-
Katheter	ab € 900,-

Es stehen die Kosten des Temperaturmanagements denen der unerwünschten Ereignisse durch ungeplante perioperative Hypothermie gegenüber.

So müssen acht Patienten normotherm gehalten werden, um eine Wundinfektion zu vermeiden. Patienten mit chirurgischen Wundinfektionen liegen im Schnitt sieben Tage länger im Krankenhaus, was sich mit ca. € 600,- täglich für eine chirurgische Station niederschlägt. Die täglichen Kosten einer anästhesiologischen Intensivstation legen bei € 1.500,- bis € 2000,-.

Die Ergebnisse der Untersuchungen um den Blutbedarf bei hüftnahen Operationen zeigten, dass es bei jedem normotherm gehaltenen Patienten zu Einsparung von Erythrozytenkonzentraten (ca. € 100,-) kommt.

Setzt man nun beispielsweise die Ausgaben für einen Blasenkatheter zur Temperaturmessung und einen Blutwärmer mit € 25,- an (inkl. Strom und Abnutzung), dazu die Ausgaben einer (relativ teureren) Wärmematte mit € 75,-, so ergeben sich € 100,- auf der Minusseite für das Temperaturmanagement.

Vergleicht man dies mit dem Sparpotenzial der oben angegebenen Kosten für Belegstage auf den verschiedenen Stationen, wird der ökonomische Nutzen des Temperaturmanagements deutlich, vorausgesetzt, über die kürzere Liegedauer werden z.B. mehr Patienten bei entsprechender Honorierung versorgt.

Auf Temperaturmanagement zu verzichten ist unethisch und nicht ökonomisch. Ethisch ist neben der Vermeidung von unerwünschten Ereignissen auch der ökonomischen Einsatz der Ressourcen des Gesundheitswesens. Die Prävention der Wärme-Umverteilungshypothermie bei Narkoseeinleitung und der Wärmeverlust durch kalte Infusionen ist bei minimalen Kosten zu erreichen. Aktives Wärmen ist bei entsprechender Indikation auch unter Einsatz von kostenintensiven Monitoring-, Wärme- und Kühlsystemen gerechtfertigt (für alle verfügbaren Systeme).

Die Kosten unerwünschter Ereignisse aufgrund ungeplanter perioperativer Hypothermie sind um ein Vielfaches höher als die Ausgaben für das Temperaturmanagement. Deshalb ist Temperaturmanagement in der Anästhesie notwendig und ökonomisch vertretbar.

6. Literatur

- 1) Frank SM et al.: Perioperative maintenance of normothermia reduces the incidence of morbid cardiac events. A randomized clinical trial. *JAMA* 1997; 277(14): 1127-34
- 2) Schmied H et al.: Mild hypothermia increases blood loss and transfusion requirements during total hip arthroplasty. *Lancet*. 1996; 347(8997): 289-92
- 3) Kurz et al.: 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(19): 1209-15
- 4) Lenhardt R et al.: Mild intraoperative hypothermia prolongs postanesthetic recovery. *Anesthesiology* 1997; 87(6): 1318-23
- 5) El-Gamal N et al.: Age-related thermoregulatory differences in a warm operating room environment (approximately 26 degrees C). *Anesth Analg* 2000; 90(3): 694-8
- 6) Clifton GL et al.: Lack of effect of induction of hypothermia after acute brain injury. *N Engl J Med* 2001; 344(8): 556-63
- 7) Polderman KH et al.: Effects of therapeutic hypothermia on intracranial pressure and outcome in patients with severe head injury. *Intensive Care Med* 2002; 28: 1563-73
- 8) The Hypothermia after Cardiac Arrest Study Group: Mild Therapeutic Hypothermia to Improve the Neurologic Outcome after Cardiac Arrest. *N Engl J Med* 2002; 346: 549-56
- 9) Negishi Ch et al.: Resistive-heating and forced-air warming are comparably effective. *Anesth Analg*, Volume 96(6); June 2003; 1683-1687
- 10) Hynson JM et al.: The effects of pre-induction warming on temperature and blood pressure during propofol/nitrous oxide anesthesia. *Anesthesiology* 1993; 79: 219-228



Thermoregulation in der Anästhesie

Empfehlungen

Diagnose

- **Bei Patienten, deren Anästhesie länger als 30 Minuten dauert, sollte die Kerntemperatur gemessen oder zuverlässig geschätzt werden.** Dies sollte auch bei regionaler Anästhesie geschehen, wenn Veränderungen der Körpertemperatur beabsichtigt, vorzusehen oder zu vermuten sind.
- **Die Körpertemperatur von Kindern sollte immer überwacht werden.**
- Die Temperaturüberwachung sollte idealerweise mittels einer Messung der Kerntemperatur erfolgen. Die Kerntemperatur kann in der Pulmonalarterie, dem distalen Ösophagus, am Trommelfell oder im Nasopharynx gemessen werden. Diese Temperaturmessorte bleiben selbst unter Bedingungen der Temperaturstörung (z.B. beim Einsatz von Herz-Lungen-Maschinen) zuverlässig. Die Kerntemperatur kann über folgende Messorte vernünftig geschätzt werden, sofern keine extremen Temperaturstörungen bestehen: Mund, Axilla und Harnblase. Die rektale Temperatur korreliert üblicherweise ebenfalls gut mit der Kerntemperatur, steigt aber bei maligner Hyperthermie und anderen dokumentierten Situationen nicht ausreichend schnell an.

Therapie

Sofern keine Hypothermie indiziert ist (z.B. als Schutz vor Ischämie), sollte alles unternommen werden, um die Kerntemperatur intraoperativ über 36°C zu halten.

- Aktive externe (konvektive oder konduktive) Wärmesysteme sind jedenfalls zu empfehlen.
- Bei Erwachsenen ist der Gebrauch eines Wärmesystems ratsam, wenn der Eingriff länger als 30 Minuten dauert oder wenn die Kerntemperatur unter 36°C fällt. Konvektive und konduktive Wärmesysteme sind verfügbar und nachweislich wirksam. Derzeit ist das „Forced-Air Warming“-System das effizienteste, kosteneffektivste und sicherste Wärmesystem.
- Die Verwendung von gewärmten intravenösen Lösungen sowie Spülflüssigkeiten sollte erwogen werden.



