

## Prevention of perioperative hypothermia during off-pump coronary artery bypass surgery

A. Bräuer<sup>1</sup> · W. Zink<sup>2</sup> · A. Timmermann<sup>1</sup> · T. Perl<sup>1</sup> · M. Quintel<sup>1</sup>

- 1 Zentrum Anaesthesiologie, Rettungs- und Intensivmedizin, Universitätsmedizin Göttingen (Direktor: Prof. Dr. M. Quintel)
- 2 Klinik für Anästhesiologie, Universitätsklinikum Regensburg (Direktor: Prof. Dr. B.M. Graf)

### Interessenkonflikt:

Der korrespondierende Autor weist auf folgende Beziehung hin:  
PD Dr. med. Bräuer hat in den letzten Jahren ein Beraterhonorar von der Firma LMA Deutschland GmbH erhalten.

### Schlüsselwörter

OPCAB – Hypothermie – Konvektive Luftwärmung – Infusionswärmung – Konduktive Wärzung

### Keywords

OPCAB – Hypothermia – Forced-air Warming – Infusion Warming – Conductive Warming

### Zusammenfassung

Die Off-Pump-Myokardrevaskularisation hat sich in Deutschland mit über 5.000 Eingriffen pro Jahr fest etabliert. Ohne spezielle Maßnahmen tritt bei diesen Eingriffen sehr häufig eine perioperative Hypothermie auf. Diese ist mit einem schlechteren Outcome der Patienten verbunden.

Bei Off-Pump-Myokardrevaskularisation wird eine Vielzahl von Wärmeprotektionsverfahren angewandt. Der Einsatz eines Wassermattengewandes oder von adhäsiven Wassermatten ist sehr effektiv und trotz des hohen Preises dieser Systeme kosteneffektiv. Falls diese Technologie nicht zur Verfügung steht, sollte versucht werden über eine Kombination der verfügbaren Methoden die perioperative Hypothermie zu begrenzen, da mit zunehmender Hypothermie die Mortalität bei diesen Patienten ansteigt.

- Heizmatten, die auf den Körper gelegt werden, sind neben konvektiver Luftwärmung (idealerweise zusammen mit Vorwärmung) bei diesen speziellen Eingriffen nur begrenzt effektiv, aber die besten alternativen Verfahren.
- Als additive Therapieverfahren sind folgende Maßnahmen möglich und sinnvoll: 1. Die Erhöhung der Raumtemperatur auf die höchstmögliche für den Operateur noch tolerierbare Temperatur, 2. der Einsatz von Infusionswärmern ab einem durchschnittlichen Flüssigkeitsumsatz von mehr als 2.000 ml und 3. Heizmatten unter dem Rücken.

## Strategien zur Vermeidung von perioperativer Hypothermie bei Off-Pump-Bypass-Chirurgie

- Ist ein Patient intraoperativ hypotherm geworden, so sollte er postoperativ aktiv wiedererwärmt werden.

### Summary

In Germany more than 5,000 off-pump coronary artery bypass operations are performed every year. However, perioperative hypothermia is a common problem during such surgery, and is associated with an adverse patient outcome.

A number of measures aimed at preventing peri-operative hypothermia are available. The use of warm-water garments or adhesive hydrogel pads is highly successful and cost effective, although such systems are quite expensive. If this technology is not available a combination of methods should be employed to reduce peri-operative hypothermia. Although of limited efficacy, resistive heating mattresses placed on the body or forced-air warming systems are the best alternative. Adjunctive measures include increasing OR temperature to a level still tolerable for the surgeon, infusion warming with a circulation of at least 2,000 ml, and a heated mattress placed under the back. If a patient has become hypothermic during surgery, active rewarming should be initiated.

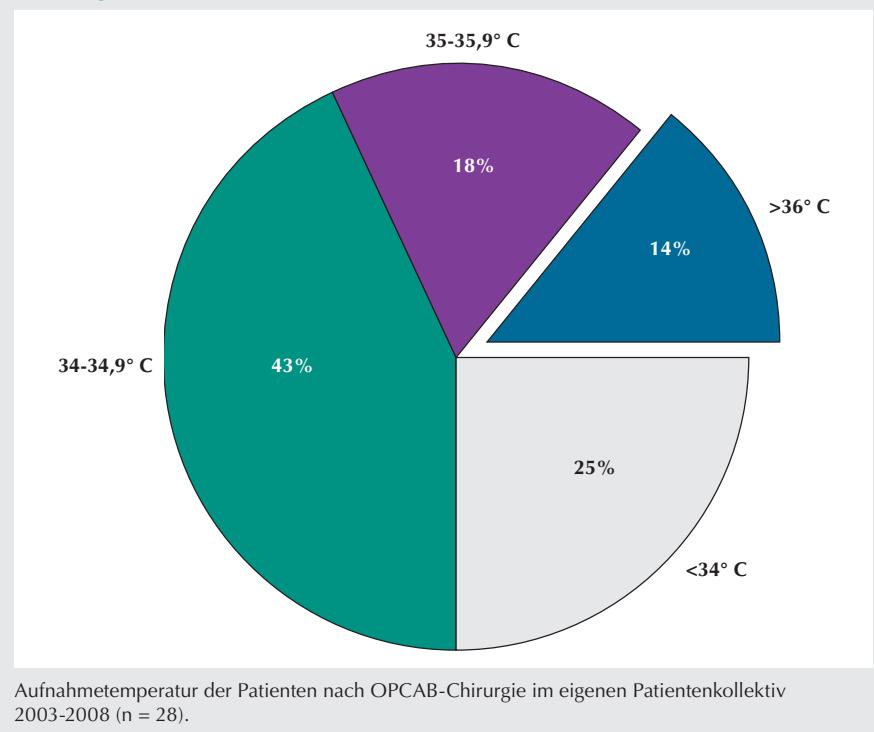
### Off-Pump-Bypass-Chirurgie

In der Herzchirurgie sind neue OP-Techniken in den Alltag eingezogen, die neben der Reduzierung des operativen Traumas besonders auf den Verzicht der

Herz-Lungen-Maschine (HLM) und die Vermeidung der damit verbundenen Probleme (transversales Abklemmen der Aorta, aortale Kanülierung, kardioplegischer Herzstillstand, Aktivierung von Gerinnung und Fibrinolyse, Aktivierung des Komplementsystems, Inflammation mit sekundären Organschäden) abzielen [1,2,3]. In den späten 1990iger Jahren wurde das Verfahren des MIDCAB (Minimal invasive direct coronary artery bypass) eingeführt. Bei diesem Verfahren werden über eine linkslaterale Mini-thorakotomie ohne kardioplegischen Herzstillstand Stenosen des Ramus interventricularis anterior und/oder seiner Diagonaläste mit der linken Arteria mammaria interna überbrückt [1,2]. Letztendlich ist die Anzahl von Patienten, die diesem Verfahren zugeführt werden können, gering, da viele isolierte Stenosen des Ramus interventricularis anterior mittels PTCA und Stent versorgt werden.

Die meisten Patienten, die koronarchirurgisch versorgt werden müssen, weisen eine koronare Mehrgefäßerkrankung auf. Alternativ zur konventionellen Bypasschirurgie mit HLM kann bei diesen Patienten die Myokardrevaskularisation mittels Off-Pump Coronary Artery Bypass (OPCAB) durchgeführt werden. Bei diesem Verfahren wird eine mediale Sternotomie durchgeführt und die Revaskularisation der Zielgefäß wird nach Positionierung des Herzens und Stabilisierung des Anastomosengebietes durchgeführt. Zu diesem Zweck kommen verschiedene Hilfsmittel wie Expositionshilfen, Stabilisatoren,  $\text{CO}_2$ -Mikroblower und intrakoronare Shunts zum Einsatz [2]. Im Jahr 2000 wurden 4,2 % aller Myokardrevaskularisationen in „Off-Pump“-Technik operiert [3], während es 2007 schon 10,1 % der koronarchirurgischen Eingriffe waren [4]. Dies entsprach einer absoluten Anzahl von 5.121 Eingriffen [4]. Diese Daten belegen, dass sich das OPCAB-Verfahren inzwischen auch in Deutschland gut etabliert hat. Es gibt jedoch deutliche Unterschiede in den einzelnen Zentren, wobei manche Zentren fast 50 % der Myokardrevaskularisationen ohne HLM durchführen [2,5].

Abbildung 1



Bei OPCAB-Eingriffen kommen mehrere relevante Probleme auf den Anästhesisten zu. Das Hauptproblem sind die hämodynamischen Veränderungen, die während der Manipulationen am Herzen auftreten (Positionsveränderungen, Anstieg der Füllungsdrücke, beeinträchtigte diastolische Füllung und Reduktion der Vorlast, Reduktion der Pumpfunktion, myokardiale Ischämie, Auftreten von Klappeninsuffizienzen, Arrhythmien) [1].

Eine weitere große Herausforderung während OPCAB-Chirurgie ist die Aufrechterhaltung der perioperativen Normothermie, da der Verzicht auf die HLM auch die Möglichkeit zur Erwärmung des Patienten mittels Bypass eliminiert [1]. Wenn diesem Problem nicht die erforderliche Aufmerksamkeit gewidmet wird, so sind über 80 % der Patienten nach dem Eingriff hypotherm [6] (Abb. 1). In der nachfolgenden Übersichtsarbeit soll nun die zu diesem Thema existierende Datenlage dargestellt und diskutiert werden.

### Entstehung von perioperativer Hypothermie bei OPCAB-Eingriffen

Die Entstehung von perioperativer Hypothermie mit einem Absinken der Körperkerntemperatur unter 36 °C unterscheidet sich bei kardiochirurgischen Eingriffen ohne HLM nur in Details von anderen großen Eingriffen (zwei große Operationsfelder gleichzeitig, sehr große zu desinfizierende Hautoberfläche, wenig Körperoberfläche zugänglich für Wärmetherapie). Ohne spezielle Maßnahmen tritt bei diesen Eingriffen sehr häufig perioperative Hypothermie auf [6,7,8].

Perioperative Hypothermie entsteht aus der Kombination von drei Faktoren [9]:

1. Anästhetikainduzierte Beeinträchtigung der Thermoregulation
2. Kälteexposition des Patienten im OP und
3. operativen Faktoren.

## **Anästhetikainduzierte Beeinträchtigung der Thermoregulation**

### **Reduktion der körpereigenen Wärmeproduktion und Erhöhung der Wärmeabgabe über die Haut**

Jede Form der Allgemeinanästhesie reduziert die körpereigene Wärmeproduktion [9]. Gleichzeitig ist in Allgemeinnarkose die Wärmeabgabe über die Haut erhöht. Ursache hierfür ist die Aufhebung der thermoregulatorischen Vasokonstriktion mit Erhöhung der Hauttemperatur.

### **Veränderung der Thermoregulations-schwellen und Wärmeumverteilung**

Alle Anästhetika verschieben dosisabhängig die Thermoregulationsschwellen für Vasokonstriktion und Kältezittern zu niedrigeren Werten. Diese Abwehrmechanismen des Körpers gegen Auskühlung werden somit erst bei niedrigeren Körperkerntemperaturen aktiviert [10,11].

Nach Einleitung einer Allgemeinnarkose kommt es durch die Verschiebung der Vasokonstriktionsschwelle zur Aufgabe der thermoregulatorischen Vasokonstriktion und damit zu einer Wärmeumverteilung aus dem Körperkern in die Körperperipherie [9]. Dies wird durch den vasodilatierenden Effekt vieler Anästhetika unterstützt. Die Wärmeumverteilung führt zu einem Abfall der Körperkerntemperatur um 0,5 bis >1 °C.

All diese Effekte treten unabhängig davon auf, ob eine totale intravenöse Anästhesie, eine balancierte Anästhesie mit Inhalationsanästhetika oder eine Kombinationsanästhesie mit hoch thorakaler Periduralanästhesie durchgeführt wird. Es gibt hier keinerlei Unterschiede zu anderen Eingriffen.

### **Kälteexposition des Patienten im OP**

Für einen unbekleideten Menschen ohne narkosebedingte Beeinträchtigung der Thermoregulation ist es nur bei Umgebungstemperaturen um 28 bis 30 °C

möglich, allein mit Hilfe der thermoregulatorischen Vasokonstriktion im thermischen Gleichgewicht zu bleiben [12]. Moderne klimatisierte Operationssäle weisen jedoch häufig nur Temperaturen zwischen 18 und 21 °C auf. Selbst wenn die OP-Saal Temperatur auf bis zu 24 °C angehoben wird [1,8], ist bei solchen Temperaturen die Aufrechterhaltung des thermischen Gleichgewichts nur mittels externer Hilfen möglich.

Hier gibt es bei OPCAB-Eingriffen relevante Unterschiede zu vielen anderen Eingriffen. Es existiert nicht nur ein relativ eng umgrenztes Operationsfeld, sondern es existieren zeitgleich zwei große Operationsfelder. Der obere Teil des Rumpfes und die angelagerten Arme sind kälteexponiert und wenig zugänglich für Isolation oder Wärmetherapie. Zeitgleich werden in beide Beine als potentielles OP-Feld zur Venenentnahme vorbereitet und sind ebenfalls komplett kälteexponiert.

## Operative Faktoren

Das präoperative Abwaschen der Haut mit Desinfektionslösung führt zu einem hohen Wärmeverlust durch die Verdunstung des Desinfektionsmittels. Dabei führt der Einsatz von Desinfektionsmitteln auf Alkoholbasis zu einem höheren Wärmeverlust als der Einsatz von Desinfektionsmitteln auf Wasserbasis [13]. Da die zu desinfizierende Fläche bei vielen Eingriffen klein und die Dauer des Abwaschens kurz ist, ist dieser Wärmeverlust bei den meisten Eingriffen nicht von entscheidender Bedeutung [9,13]. Bei OPCAB-Eingriffen ist die zu desinfizierende Fläche im Vergleich zu den meisten anderen Eingriffen sehr groß und damit auch der Einfluss dieser Maßnahme deutlich größer (Abb. 2). Rechnet man die Daten von Sessler et al. [13] auf eine zu desinfizierende Körperoberfläche von 1 m<sup>2</sup> hoch, so entsteht ein Abfall der mittleren Körpertemperatur um 0,2 bis 0,7 °C.

Der operative Eingriff selbst trägt über zwei Mechanismen zur Auskühlung bei. Die Eröffnung von Körperhöhlen führt durch evaporative Wärmeverluste zur Auskühlung [9]. Dieser Effekt ist durch die Größe des Eingriffs ebenfalls bedeutsamer als bei vielen Eingriffen. Des Weiteren führen Blut- und Flüssigkeitsverluste aus dem Operationsgebiet zu nachfolgendem Infusions- und Transfusionsbedarf. Durch die Gabe von ungewärmten oder unzureichend gewärmten Infusionslösungen und Blutprodukten kommt es zu einer weiteren Auskühlung des Patienten [10]. Dabei können von einigen Arbeitsgruppen bei OPCAB-Eingriffen Flüssigkeitsumsätze von mehr als 5.800 ml [14] beobachtet werden.

## Relevante Folgen der perioperativen Hypothermie

In einer großen retrospektiven Untersuchung von Insler et al. [15] wurde an über 5.700 Patienten gezeigt, dass hypotherme Patienten nach Myokardrevascularisation mit extrakorporaler Zirkulation ein schlechteres Outcome haben. Dabei war die postoperative Hypothermie mit einer erhöhten Mortalität,

Abbildung 2



Großflächige Desinfektion der Körperoberfläche eines Patienten vor OPCAB-Chirurgie.

einem erhöhten Transfusionsbedarf, einer längeren Beatmungszeit, einem längeren Intensivaufenthalt und einer längeren Krankenhausverweildauer assoziiert. Inwieweit dies für Patienten nach OPCAB zutrifft soll in den folgenden Abschnitten dargelegt werden.

## Erhöhte Mortalität

In einer großen retrospektiven Untersuchung von Hannan et al. [16] an fast 2.300 Patienten wurde eine signifikant erhöhte Krankenhausmortalität von OPCAB-Patienten nachgewiesen, wenn diese hypotherm geworden waren. Diese betrug bei den Patienten, die normotherm aus dem OP kamen 0,6 % und stieg auf 1,2 %, wenn die Körperkerntemperatur bei OP-Ende zwischen 34,6 und 36 °C lag. Bei den Patienten, die bei OP-Ende kälter als 34,5 °C waren, betrug die Mortalität schon 2,4 %. Dies entspricht einer Vervierfachung der Mortalität.

## Kardiale Morbidität

Grundsätzlich weisen nicht-kardiochirurgische Patienten mit koronarer Herzkrankheit, die intraoperativ ausgekühlt sind, postoperativ eine vermehrte kardiale Morbidität durch Arrhythmien,

Myokardischämen und instabile Angina pectoris auf. Daher wird die Aufrechterhaltung der perioperativen Normothermie für nicht-kardiochirurgische Patienten auch in den ACC/AHA Guidelines aus dem Jahr 2008 [17] empfohlen.

Bei Patienten mit OPCAB-Eingriffen wurde in mehreren Studien der Einfluss verschiedener Wärmeprotektionsverfahren auf die myokardiale Freisetzung von Troponin I, Troponin C und die CK-MB untersucht. Dabei fanden Nesher et al. [6,18] bei Patienten mit effektiver Wärmeprotektion postoperativ eine signifikant geringere Freisetzung von Troponin I aus dem Myokard (Maximum 8,1 ng/ml vs. 19,4 ng/ml [6] bzw. 8,3 ng/ml vs. 35,3 ng/ml [18]), während Jeong et al. [19] und Zangrillo et al. [20] zwar eine geringere Freisetzung von Troponin I bzw. Troponin C aus dem Myokard fanden, der Unterschied war jedoch nicht groß genug, um das Signifikanzniveau zu erreichen. In allen Studien zeigte sich kein signifikanter Unterschied in der CK-MB-Freisetzung. Dieser Befund ist von nicht unerheblicher Bedeutung, da Paparella et al. [21] nachweisen konnten, dass Patienten mit erhöhter Troponin-I-Freisetzung von über 7,1 ng/

ml nach OPCAB-Operationen ein signifikant schlechteres Langzeitüberleben haben. Als Ursache für die geringere Troponin-I-Freisetzung wird eine geringere Interleukin-6-Freisetzung, eine reduzierte Nachlast des linken Ventrikels und eine geringere Noradrenalinfreisetzung unter Normothermie diskutiert [6,18].

### Perioperative Hämodynamik

Die perioperativ zu beobachtenden Unterschiede in der Hämodynamik zwischen den effektiv und den weniger effektiv gewärmt Patienten sind insgesamt nicht sehr bedeutsam. So gab es weder Unterschiede im Flüssigkeitsbedarf [6,14,19,20,22,23], noch in der erforderlichen Katecholaminmenge [6,14,23]. In den Untersuchungen von Nesher et al. [6,18] konnten bei den schlechter gewärmt Patienten etwas niedrigere Cardiac Indices (ca. 0,3 l/min/m<sup>2</sup>) mit konsekutiv höherem peripheren Widerstand gemessen werden (ca. 300-500 dyn x s x cm<sup>-5</sup>). Ähnliches fanden auch Moriyama et al. [14] in den ersten Stunden nach Narkoseeinleitung, wobei hier der Unterschied gut durch die Stoffwechseleffekte der zugeführten Aminosäurelösungen zu erklären ist.

### Koagulopathie, Blutverlust und Transfusionsbedarf

Perioperativ kommt es durch Hypothermie zu relevanten Störungen der plasmatischen Gerinnung und der Thrombozytenfunktion. Ursache hierfür ist die reduzierte enzymatische Aktivität der Gerinnungsfaktoren und die reduzierte Bildung von Thromboxan A<sub>2</sub> durch die Thrombozyten. Die Folgen dieser Gerinnungsstörung zeigen sich in einem vermehrten perioperativen Blutverlust und daraus folgend einem vermehrten Transfusionsbedarf bei vielen Eingriffen [11]. Wenn man die verfügbaren Daten für OPCAB-Eingriffe analysiert, so zeigt sich dies jedoch nicht in allen Studien. So fanden Engelen et al. [22], Moriyama et al. [14] und Umenai et al. [23] keinen signifikanten Unterschied im intraoperativen Blutverlust zwischen besser und schlechter gewärmt Therapiegruppen. Vassiliades et al. [24] fanden sogar einen signifikant höheren Blutverlust in der

besser gewärmt Therapiegruppe mit 803±549 ml vs. 609±523 ml. Im postoperativen Blutverlust fanden Moriyama et al. [14], Vassiliades et al. [24] und Zangrillo et al. [20] ebenfalls keinen signifikanten Unterschied. Im Gegensatz dazu fanden Hofer et al. [25] und Calcaterra et al. [26] in ihren Untersuchungen einen signifikant geringeren perioperativen Blutverlust durch bessere Wärmeprotektionsverfahren. In der Untersuchung von Hofer et al. [25] betrug der perioperative Blutverlust in den beiden schlechter gewärmt Gruppen 2.683 ml bzw. 2.300 ml und in der mit Wassermattengewand besser gewärmt Gruppe 1.497 ml. In der Untersuchung von Calcaterra et al. [26] betrug der perioperative Blutverlust in der schlechter gewärmt Gruppe 1.410 ml und in der mit adhäsiven Wassermatten besser gewärmt Gruppe 1.124 ml. Auch Woo et al. [27] fanden in der besser gewärmt Therapiegruppe mit adhäsiven Wassermatten einen signifikant niedrigeren postoperativen Blutverlust (764 ml vs. 1.227 ml). Diese uneinheitliche Datenlage zeigt sich auch im berichteten Transfusionsbedarf. In den Studien von Jeong et al. [19], Moriyama et al. [14], Calcaterra et al. [26] und Nesher et al. [6] gab es keinen Unterschied im Transfusionsbedarf, während Hofer et al. [25] und Woo et al. [27] (1,4 vs. 3,3 Erythrozytenkonzentrate) einen signifikant geringeren Transfusionsbedarf bei den besser gewärmt Patienten beobachten konnten.

Für diese uneinheitlichen Befunde gibt es diverse Erklärungsansätze. Viele der vorhandenen Studien weisen Mängel im Studiendesign auf, z.B. fehlende Definition des Blutverlustes oder des Transfusionsbedarfs als primärer oder sekundärer Outcomeparameter, fehlende Poweranalyse, kleine Gruppengrößen, kein klar definiertes Transfusionsregime, fehlende Erfassung der präoperativen Vorbehandlung mit Thrombozytenaggregationshemmern. Des Weiteren gibt es deutliche Unterschiede im durchschnittlichen Transfusionsbedarf zwischen den verschiedenen Studien. Auch der Temperaturunterschied zwischen den verschiedenen Behandlungsgruppen dürfte eine Rolle spielen.

Auch wenn bei OPCAB-Chirurgie das Risiko für einen erhöhten Transfusionsbedarf durch Hypothermie nicht in allen Studien nachweisbar war, sollte man bedenken, dass die Transfusion von Fremdblut gerade bei kardiochirurgischen Patienten sehr eng mit der Mortalität verknüpft ist. So zeigten Karkouti et al. [28] an 9.215 Patienten, dass bei der Transfusion von zwei Erythrozytenkonzentraten die Mortalität auf ca. 4 % ansteigt, bei der Transfusion von drei Erythrozytenkonzentraten steigt diese auf ca. 6 %, bei der Transfusion von vier Erythrozytenkonzentraten auf ca. 8 % und bei Transfusion von fünf Erythrozytenkonzentraten auf über 10 %. Eine dramatische Verschlechterung des Outcomes durch Transfusion ist auch bei OPCAB-Eingriffen nachweisbar [29].

### Verlängerung der Beatmungsdauer und der Verweildauer auf der Intensivstation

In mehreren Untersuchungen wurde der Einfluss eines verbesserten wärmeprotektiven Konzepts auf die Nachbeatmungsdauer untersucht. Hofer et al. [25], Moriyama et al. [14], Nesher et al. [6], Umenai et al. [23] und Woo et al. [27] ermittelten signifikant kürzere Nachbeatmungszeiten (1,5 bis 4 h), während Zangrillo et al. [20] und Calcaterra et al. [26] keinen Unterschied finden konnten. Dies kann zum Teil durch die schnellere Metabolisierung von Anästhetika und insbesondere die kürzere Wirkdauer von Muskelrelaxantien [11] unter Normothermie erklärt werden.

Die Verweildauer auf Intensivstation wurde durch die kürze Beatmungsdauer jedoch nur in den Studien von Woo et al. [27] (1,3 vs. 2,0 d) und Umenai et al. [23] (20 vs. 44 h) verkürzt, während es in allen anderen Untersuchungen keine Verkürzung gab [6,14,19,20,25,26]. Die Krankenhausverweildauer verkürzte sich durch ein besseres Wärmemanagement in den Studien von Calcaterra et al. [26] (6 vs. 7,2 d), Woo et al. [27] (4,3 vs. 5,1 d) und Umenai et al. [23] (10 vs. 12 d), während es in allen anderen Studien keinen Einfluss gab.

## Vermehrte Infektionen und Wundheilungsstörungen

Wundinfektionen nach Bypass Operationen können aber eine lebensbedrohliche Komplikation sein. Sternale Wundinfekte nach OPCAB-Eingriffen treten nicht relevant seltener auf als nach konventioneller Bypass-Operation mit extrakorporaler Zirkulation [2,30]. So fanden Nakano et al. [31] bei 1.500 Patienten nach OPCAB-Eingriffen insgesamt 6,5 % Wundinfektionen. Eine Sternumosteomyelitis oder Mediastinitis trat bei 0,8 % der Patienten auf.

Das Auftreten von perioperativer Hypothermie prädisponiert zu Wundinfektionen und Wundheilungsstörungen. Eine Ursache hierfür ist die thermoregulatorische Vasokonstriktion, die den subkutanen Sauerstoffpartialdruck reduziert. Des Weiteren führt milde Hypothermie zu einer Störung der Immunabwehr [11]. Dies geschieht in den entscheidenden Stunden nach der bakteriellen Kontamination der Wunde und erleichtert damit die Entstehung einer Infektion [11]. In der Studie von Hannan et al. [16] waren sternale Wundinfekte signifikant häufiger bei den Patienten, die intraoperativ hypotherm geworden waren. Daten zur möglichen Reduktion schwerwiegender Wundinfektionen (Sternumosteomyelitis oder Mediastinitis) nach OPCAB-Operationen durch ein verbessertes Wärmemanagement sind bislang nicht verfügbar. In Anbetracht der großen Patientenzahlen, die hierfür erforderlich sind, ist es auch unwahrscheinlich, dass diese erhoben werden können.

## Therapeutische Optionen

Eine Vielzahl von Wärmeprotektionsverfahren wurde bei OPCAB-Eingriffen angewandt. Dabei kommt in aller Regel eine Kombination verschiedener Wärmeprotektionsverfahren zum Einsatz. Einen Überblick gibt Tabelle 1.

### Effektive Therapieverfahren

#### Wärmeprotektion durch ein Wassermattengewand oder adhäsive Wassermatten

**Tabelle 1**

Überblick über die in der Literatur beschriebenen Wärmeprotektionsverfahren bei OPCAB-Eingriffen.

	Anwendbarkeit	Kosten für Einmalmaterial
<b>Effektive Verfahren</b>		
Wassermattengewand	+++	>100 €
Adhäsive Wassermatten	+++	>250 €
<b>Begrenzt effektive Verfahren</b>		
Heizmatten auf dem Körper	+	Keine
Konvektive Luftwärmung	++	<20 €
<b>Additive Verfahren</b>		
Erhöhung der Raumtemperatur >21°C	+	Keine
Infusionswärmung	+++	<20 €
Heizmatte unter dem Rücken	+++	Keine
<b>Experimentelle Verfahren</b>		
Endovaskulärer Wärmetauscher	+++	>900 €
Präoperative Gabe von Aminosäuren	++	<30 €

+++ sehr gut      ++ gut      + mäßig

Für eine Gesamtbetrachtung der Kosten müssen neben dem Einwegmaterial auch die Kosten für Entsorgung, Energie, Aufbereitung, Reparatur und Wartung der Systeme eingerechnet werden. Hierfür sind nur wenige Zahlen erhältlich. Für konvektive Luftwärmung gibt der britische National Health Service [50] an, dass diese Kosten ca. 0,55 € pro Nutzung betragen.

Der Einsatz eines Wassermattengewandes oder von adhäsiven Wassermatten (Abb. 3), ist ein konduktives, externes, aktives, sehr effektives, aber auch teures Verfahren (>100 € für das Einmalmaterial). Bei diesen konduktiven Wärmeverfahren wird die Wärme direkt zwischen Wassermatte und dem Körper übertragen. Der mit diesen Methoden erzielte Wärmetransfer ist durch die große nutzbare Fläche und den guten Kontakt zwischen Wärmer und Körperoberfläche bedingt. Der Kontakt zur Haut ist insbesondere bei den adhäsiven Wassermatten hervorragend und sorgt für einen extrem effektiven Wärmeaustausch [32].

In allen Studien, die adhäsive Wassermatten oder Wassermattengewänder eingesetzt haben, wurde eine hervorragende Effektivität beschrieben [6,18,20,24,26,27,33,34]. Der Mittelwert der Körperersttemperatur bei OP-Ende lag bei allen Untersuchungen mit Wassermattengewändern  $\geq 36$  °C [6,25,33] oder sogar  $\geq 37$  °C [18,20]. Bei den Untersuchungen zu den adhäsiven Wassermatten lag der Mittelwert der

Körperersttemperatur bei OP-Ende  $\geq 36$  °C [24,26,27] oder aber das Zeit-Temperatur-Integral für den Zeitraum mit einer intraoperativen Körperersttemperatur  $<36$  °C war hochsignifikant kleiner, als in der Kontrollgruppe [33,34]. Diese Effektivität zeigte sich unabhängig davon, ob die Untersuchung retrospektiv [27] oder prospektiv [24,26,33,34] durchgeführt wurde.

Ein weiterer Vorteil dieser Systeme ist die automatisierte Regulation der Körperersttemperatur über ein in das Wärmesystem integriertes Feedback-System, so dass der Anwender das System nur einmal aktivieren muss und danach keine weiteren Korrekturen mehr erforderlich sind. Auch wenn die Systeme sehr teuer sind, so konnte doch in der Studie von Hofer et al. [25] die Kosteneffektivität belegt werden. Hier konnte gezeigt werden, dass durch die bessere Wärmetherapie die Kosten für die Transfusionstherapie deutlich gesenkt werden konnten. Diese Kostensparnis war größer, als die Kosten für das Wärmesystem.

## Begrenzt effektive Therapieverfahren

### Wärmeprotektion durch Heizmatten, die auf den Körper gelegt werden

Der Einsatz von Heizmatten, die auf den Körper gelegt werden, ist ein konduktives, externes, aktives Verfahren. Der mit dieser Methode erzielte Wärmetransfer ist sehr stark vom erzielten Kontakt zwischen Wärmer und Körperoberfläche abhängig. In den Bereichen, in denen kein direkter Kontakt zwischen Heizmatte und Haut besteht, findet nur ein Wärmeaustausch durch Radiation statt. Im Gegensatz zu konvektiver Luftwärmung fehlt dabei das Element der Konvektion, also der Bewegung eines erwärmten Mediums auf den Körper hin, was die Wirksamkeit der Wärmeübertragung verringert. Dennoch ist das Verfahren grundsätzlich ähnlich effektiv wie konvektive Luftwärmung [35]. In der Studie von Hofer et al. [25] bei Patienten mit OPCAB-Operationen war es sogar etwas effektiver als konvektive Luftwärmung, aber wegen der relativ geringen nutzbaren Fläche und zur Verfügung stehenden Zeit nicht ausreichend effektiv, um die damit behandelte Patientengruppe bei OP-Ende normotherm zu haben (Körperkerntemperatur im Mittel 35,6 °C).

### Wärmeprotektion durch konvektive Luftwärmer

Der Einsatz von konvektiver Luftwärmung ist bei sehr vielen Eingriffen (insbesondere in Kombination mit Infusionswärmung) [36] ein effektives Verfahren. Bei konvektiver Luftwärmung wird Wärme durch die Bewegung von erwärmer Luft auf einen Körper hin übertragen. Da die Bewegung der erwärmten Luft durch eine äußere Kraft hervorgerufen wird, bezeichnet man dies als erzwungene Konvektion oder als „forced-air warming“.

Konvektive Luftwärmung ist jedoch nur dann effektiv, wenn eine große Oberfläche gewärmt wird. Im Rahmen der OPCAB-Chirurgie wird konvektive Luftwärmung zwar relativ oft eingesetzt, aber die Effektivität ist nicht besonders gut, da wenig Fläche zur Verfügung steht [1,6,20,22,25,26]. Um konvektive Luft-

Abbildung 3



Adhäsive Wassermatte am Rücken bei einem Patienten vor OPCAB-Chirurgie.

wärmung einsetzen zu können, werden zum Teil U-förmige Unterlegdecken genutzt. Diese haben den Vorteil, dass sie wenig mit der operativen Prozedur interferieren. Andererseits wärmen sie nur eine sehr begrenzte Fläche an der Seite des Körpers. Im Gegensatz zu vielen anderen Prozeduren kommt es nicht unter einer OP-Abdeckung zu einer Art Wärmezelt, da die Beine auf der OP-Abdeckung liegen.

Eine andere Variante sind sterile Unterkörperdecken, die auf den Bauch aufgeklebt werden und nach Abschluss der Venenentnahme am Bein abgerollt werden um von da an die Beine konvektiv zu wärmen. Hier steht dann zwar eine ausreichende Fläche zur Wärmetherapie zur Verfügung, aber der Zeitraum, in dem diese Fläche sinnvoll genutzt werden kann ist relativ kurz.

In allen Untersuchungen konnten die Patienten mit konvektiver Luftwärmung im Mittel nicht normotherm gehalten werden. Die Körperkerntemperatur betrug bei OP-Ende zwischen 34,7 °C und 35,8 °C [6,18,20,25,26,33].

Es gab auch keinen relevanten Unterschied, ob U-förmige Decken [20,25,33] oder sterile Unterkörperdecken [24] verwendet wurden.

Auch die Vorwärmung mit konvektiver Luftwärmung, die bei vielen Eingriffen

die Effektivität von konvektiver Luftwärmung dramatisch erhöht, ist nicht hinreichend effizient [22,37].

## Additive Therapieverfahren

### Erhöhung der Raumtemperatur

Die Erhöhung der Raumtemperatur ist ein effektives Wärmeprotektionsverfahren. Dabei kommt es pro 1 °C Erhöhung der Raumtemperatur zu einer Reduktion des Wärmeverlustes über die Haut um ca. 10 % [38]. Aus diesem Grunde sind in vielen Zentren erhöhte OP-Saaltemperaturen Teil des durchgeführten Wärmemanagements. Dabei werden Temperaturen von bis zu 28 °C genutzt [1,8,39]. Jedoch führen selbst OP-Saaltemperaturen von 26 °C nicht sicher zur Aufrechterhaltung der intraoperativen Normothermie [40]. Eine solche OP-Saaltemperatur liegt jedoch weit über den Temperaturen, die von vielen Operateuren als angenehm empfunden werden [41]. Ein sinnvoller Kompromiss liegt unserer Auffassung nach bei einer OP-Saaltemperatur von ungefähr 21 bis 22 °C unter zeitgleicher Anwendung von weiteren Wärmeprotektionsverfahren.

### Wärmeprotektion durch Infusionswärmer

Infusionserwärmung ist beim gezielten Einsatz effektives Wärmeprotektionsverfahren und interferiert nicht mit der

operativen Prozedur. Die Zufuhr größerer Mengen ungewärmerter Infusionslösungen oder Blutprodukte führt zu einem relevanten Abfall der mittleren Körpertemperatur. Werden 10 ml/kg Körpergewicht einer Infusionslösung bei einer Raumtemperatur von 21 °C verabreicht, kommt es zu einem Abfall der mittleren Körpertemperatur um 0,19 °C [42]. Die bei OPCAB-Eingriffen verabreichte Flüssigkeitsmenge ist zwischen den verschiedenen Zentren extrem unterschiedlich. Dies ist durch verschiedene präoperative und intraoperative Faktoren bedingt. Ein präoperativ existierendes Flüssigkeitsdefizit erhöht den intraoperativen Flüssigkeitsbedarf ebenso wie die Gabe von ASS und Clopidogrel, die zu einem vermehrten intraoperativen Blutverlust führen können. Des Weiteren spielen operativ bedingte Blutverluste und der unterschiedliche Umgang mit Volumen und Vasopressoren zu Unterschieden bei der intraoperativ verabreichten Flüssigkeitsmenge. Werden nur ca. 1.000 ml verabreicht [20], so führt dies ohne Infusionswärmung nur zu einem Abfall der mittleren Körpertemperatur um 0,3 °C. Werden jedoch 5.800 ml verabreicht [14], so würde dies ohne den Einsatz von Infusionswärmung zu einem Abfall der mittleren Körpertemperatur um 1,6 °C führen.

Sinnvoll erscheint der Einsatz eines Infusionswärmers ab einem zu erwartenden Abfall der mittleren Körpertemperatur um mehr als 0,5 °C durch die Zufuhr von ungewärmtten Infusionen [42]. Dies wäre bei einer Infusionsmenge ab 1.850 ml/70 kg der Fall. Infusionserwärmung ermöglicht jedoch nur die Vermeidung von Wärmeverlusten, eine relevante Wärmezufuhr zum Patienten ist damit nicht möglich [10].

### Wärmeprotektion durch Atemgasklimatisierung

Atemgasklimatisierung mit Heat-Moisture-Exchanger (HME) ist ein wenig effektives Wärmeprotektionsverfahren, da die pulmonalen Wärmeverluste durch die Verdunstung von Feuchtigkeit insgesamt gering sind.

### Konduktive Wärmung unter dem Rücken

Der Einsatz von Heizmatten unter dem Rücken ist in der Herzchirurgie immer noch ein sehr gebräuchliches Verfahren [11]. Bei diesem konduktiven Wärmeverfahren wird die Wärme direkt zwischen der Heizmatte und dem Körper übertragen. Obwohl der Wärmeaustausch über Konduktion hocheffektiv ist [32,43], ist das Verfahren selbst nicht besonders effektiv [11]. Der generierte Wärmefluss folgt dem Temperaturgefälle von der Oberfläche der Heizmatte zur Haut und dann zum Körperkern. Ein Wärmefluss zum Körperkern hin ist jedoch erst bei Heizmattenoberflächentemperaturen von über 37 °C zu erwarten [43]. Die damit erzielten Wärmeflüsse liegen zwar in einer ähnlichen Größenordnung wie die von konvektiven Luftwärmern, da jedoch die Wärmeverluste über den Rücken perioperativ nur minimal sind, ändert sich die Wärmebilanz nur wenig [11].

Ein Vorteil des Verfahrens ist, dass es nicht mit der operativen Prozedur interferiert. Nachteilig bei der Anwendung von wasserbetriebenen Heizmatten ist, dass es intraoperativ immer wieder zu Beschädigungen und Lecks mit nachfolgendem Wasserverlust kommt. Des Weiteren besteht das Risiko von Verbrennungen und Dekubitusentstehung [11]. In Anbetracht der geringen Effektivität

[6,23,35] sollte die konduktive Wärmung über den Rücken nur als zusätzliche Maßnahme durchgeführt werden.

### Wärmeprotektion durch Isolation

Isolation reduziert die radiativen und konvektiven Wärmeverluste über die Haut. Auch wenn Isolation eine sinnvolle Wärmeprotektionsmaßnahme sein kann [44], so ist bei OPCAB-Eingriffen keine relevante Körperoberfläche verfügbar, um eine effektive Isolation durchzuführen.

### Experimentelle Therapieverfahren

#### Wärmeprotektion durch die perioperative Gabe von Aminosäuren

Die perioperative Gabe von Aminosäuren ist ein internes Wärmeprotektionsverfahren und führt über eine Stoffwechselsteigerung zu einer Erhöhung der Körperkerntemperatur [45]. Während im Rahmen konventioneller Myokardrevaskularisationen mit extrakorporaler Zirkulation kein Vorteil der perioperativen Aminosäuregabe gefunden werden konnte [46], fanden Umenai et al. [23] und auch Moriyama et al. [14] während OPCAB-Eingriffen eine signifikant höhere Körperkerntemperatur.

### Endovaskulärer Wärmeaustauscher

Ein weiteres Therapieverfahren ist der Einsatz eines endovaskulären Wärmeaustauschers. Dabei wird ein spezieller Venenkatheter mit mehreren Ballons durch gewärmte Kochsalzlösung durchströmt. Für diese Therapiemodalität liegt bisher nur eine einzige Studie von Allen [47] vor. In dieser Studie war das Vorgehen effektiv. Vorteilhaft erscheint hier die interne Wärmezufuhr ohne relevante Behinderung des operativen Vorgehens und die implementierte Feedback-Kontrolle des Systems. Allerdings ist dieses System extrem teuer (>900 €).

### Postoperative Wiedererwärmungsstrategie

Trotz des intraoperativen Einsatzes verschiedener Wärme- und Protektionsmaßnahmen kommt ein relevanter Anteil von Patienten hypotherm auf die Intensivstation. In der großen Studie von Hannan et al. [16] waren dies 1.027 von 2.294 Patienten, also fast 45 %. Um die Zeit, in der die Patienten hypotherm und damit blutungsgefährdet sind zu verkürzen, ist eine aktive postoperative Wiedererwärmung erforderlich. Erstaunlicherweise gibt es hierzu nur sehr wenige Angaben in der Literatur. In mehreren Arbeiten wird die postoperative Wiedererwärmung mittels konvektiver Luftwärmung beschrieben [6,14,26,39] wie nach konventioneller Revaskularisation mit Herz-Lungen-Maschine [48,49]. Untersuchungen an diesem speziellen Patientenkollektiv sind jedoch nicht verfügbar.

### Schlussfolgerung

**In Anbetracht der mit perioperativer Hypothermie verbundenen Morbidität und Mortalität ist ein aktives Wärmemanagement für OPCAB-Eingriffe sinnvoll und erforderlich. Der Einsatz eines Wassermattengewandes oder von adhäsiiven Wassermatten war in allen Studien, die diese Systeme eingesetzt haben, effektiv. Trotz des relativ hohen Preises dieser Systeme sind sie kosteneffektiv.**

**Falls diese Technologie nicht zur Verfügung steht, sollte versucht werden,**

**über eine Kombination der verfügbaren Methoden die perioperative Hypothermie zu begrenzen, da in aller Regel auch eine Kombination von mehreren dieser Verfahren keine Normothermie garantieren kann.**

- **Heizmatten, die auf den Körper gelegt werden, sind neben konvektiver Luftwärmung (idealerweise zusammen mit Vorwärmung) bei diesen speziellen Eingriffen nur begrenzt effektiv, aber die besten alternativen Verfahren.**
- **Als additive Therapieverfahren sind folgende Maßnahmen möglich und sinnvoll:**
  1. **Die Erhöhung der Raumtemperatur auf die höchstmögliche für den Operateur noch tolerierbare Temperatur,**
  2. **der Einsatz von Infusionswärmern ab einem durchschnittlichen Flüssigkeitsumsatz von mehr als 2.000 ml und**
  3. **Heizmatten unter dem Rücken.**
- **Ist ein Patient intraoperativ hypotherm geworden, so sollte er postoperativ aktiv wiedererwärm werden.**

### Literatur

1. Chassot PG, van der Linden P, Zaugg M, Mueller XM, Spahn DR. Off-pump coronary artery bypass surgery: Physiology and anaesthetic management. Br J Anaesth 2004;92:400-413.
2. Rastan AJ, Walther T, Falk V, Gummert JF, Eckenstein JL, Mohr FW. Off-Pump-Koronarrevaskularisation. „State of the art“ 2006 und Ergebnisse im Vergleich zur konventionellen Bypassoperation. Herz 2006;31:384-395.
3. Frank W, Konta B. Bypassoperation am schlagenden Herzen im Vergleich zur Operation mit Unterstützung durch die Herz-Lungen-Maschine. Schriftenreihe Health Technology Assessment, Bd. 41. Köln: DIMDI; 2006. [http://portal.dimdi.de/de/hta/hta\\_berichte/hta141\\_bericht\\_de.pdf](http://portal.dimdi.de/de/hta/hta_berichte/hta141_bericht_de.pdf)
4. Gummert JF, Funkat A. Erläuterungen und Kommentar zur aktuellen DGTHG-Leistungsstatistik (Verfahrensjahr 2007). Z Herz-Thorax- Gefäßchir 2008;22: 329-332.
5. Albert A, Ennker J. Bypassoperationen ohne Herz-Lungen-Maschine. Z Herz-Thorax- Gefäßchir 2007;21:39-43.
6. Nesher N, Uretzky G, Insler S, Nataf P, Frolkis I, Pineau E, et al. Thermo-wrap technology preserves normothermia better than routine thermal care in patients undergoing off-pump coronary artery bypass and is associated with lower immune response and less myocardial damage. J Thorac Cardiovasc Surg 2005; 129:1371-1378.
7. Ganapathy S. Anesthesia for minimally invasive cardiac surgery. Best Pract Res Clin Anaesthesiol 2002;16:63-80.
8. Djaiani GN, Ali M, Heinrich L, Bruce J, Carroll J, Karski J, et al. Ultra-fast-track anaesthetic technique facilitates operation room extubation in patients undergoing off-pump coronary revascularisation surgery. J Cardiothorac Vasc Anesth 2001;15:152-157.
9. Sessler DI. Perioperative heat balance. Anesthesiology 2000;92:578-596.
10. Sessler DI. Mild perioperative hypothermia. N Engl J Med 1997;336:1730-1737.
11. Sessler DI. Complications and treatment of mild perioperative hypothermia. Anesthesiology 2001;95:531-543.
12. Burton AC, Edholm OG. Man in a cold environment. Physiological and pathological effects of exposure to low temperatures. London: Edward Arnold Publishers; 1955.
13. Sessler DI, Sessler AM, Hudson S, Moayeri A. Heat loss during surgical skin preparation. Anesthesiology 1993;78: 1055-1064.
14. Moriyama T, Tsuneyoshi I, Omae T, Takeyama M, Kanmura Y. The effect of amino-acid infusion during off-pump coronary arterial bypass surgery on thermogenic and hormonal regulation. J Anesth 2008;22:354-360.
15. Insler SR, O'Connor MS, Leventhal J, Nelson DR, Starr NJ. Association between postoperative hypothermia and adverse outcome after coronary artery bypass surgery. Ann Thorac Surg 2000; 70:175-181.
16. Hannan EL, Samadashvili Z, Wechsler A, Jordan D, Lahey SJ, Culliford AT, et al. The relationship between perioperative temperature and adverse outcomes after off-pump coronary artery bypass graft surgery. J Thorac Cardiovasc Surg 2010; 139:1568-1575.
17. Fleisher LA, Beckman JA, Brown KA, Calkins H, Chaikof E, Fleischmann KE, et al. ACC/AHA 2007 guidelines on perioperative cardiovascular evaluation and care for noncardiac surgery: executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart

- Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Revise the 2002 Guidelines on Perioperative Cardiovascular Evaluation for Noncardiac Surgery). *Anesth Analg* 2008;106:685-712.
18. Nesher N, Insler SR, Sheinberg N, Bolotin G, Kramer A, Sharony R, et al. A new thermoregulation system for maintaining perioperative normothermia and attenuating myocardial injury in off-pump coronary artery bypass surgery. *Heart Surg Forum* 2002;5:373-380
  19. Jeong SM, Hahn KD, Jeong YB, Yang HS, Choi IC. Warming of intravenous fluids prevents hypothermia during off-pump coronary artery bypass graft surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2008;22: 67-70
  20. Zangrillo A, Pappalardo F, Talò G, Corno C, Landoni G, Scandroglio A, et al. Temperature management during off-pump coronary artery bypass graft surgery: A randomized clinical trial on the efficacy of a circulating water system versus a forced-air system. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2006;20:788-792.
  21. Paparella D, Cappabianca G, Malvindi P, Paramythiotis A, Galeone A, Veneziani N, et al. Myocardial injury after off-pump coronary artery bypass grafting operation. *Eur J Cardiothorac Surg* 2007; 32:481-487.
  22. Engelen S, Berghmans J, Borms S, Suy-Verburg M, Himpe D. Resistive heating during off-pump coronary bypass surgery. *Acta Anaesthesiol Belg* 2007; 58:27-31.
  23. Umenai T, Nakajima Y, Sessler DI, Taniguchi S, Yaku H, Mizobe T. Perioperative amino acid infusion improves recovery and shortens the duration of hospitalization after off-pump coronary artery bypass grafting. *Anesth Analg* 2006;103:1386-1393.
  24. Vassiliades TA Jr., Nielsen JL, Lonquist JL. Evaluation of a new temperature management system during off-pump coronary artery bypass. *Interact Cardio-vasc Thorac Surg* 2003;2:454-457.
  25. Hofer CK, Worn M, Tavakoli R, Sander L, Maloigne M, Klaghofer R, et al. Influence of body core temperature on blood loss and transfusion requirements during off-pump coronary artery bypass grafting: A comparison of 3 warming systems. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2005;129: 838-843.
  26. Calcaterra D, Ricci M, Lombardi P, Katariya K, Panos A, Salerno TA. Reduction of postoperative hypothermia with a new warming device: a prospective randomized study in off-pump coronary artery surgery. *J Cardiovasc Surg (Torino)* 2009;50:813-817.
  27. Woo YJ, Atluri P, Grand TJ, Hsu VM, Cheung A. Active thermoregulation improves outcome of off-pump coronary artery bypass. *Asian Cardiovasc Thorac Ann* 2005;13:157-160.
  28. Karkouti K, Wijeysundera DN, Beattie WS, Abdelnaem E, McCluskey SA, Ghannam M, et al. The independent association of massive blood loss with mortality in cardiac surgery. *Transfusion* 2004;44:1453-1462.
  29. Murphy GJ, Reeves BC, Rogers CA, Rizvi SIA, Culliford L, Angelini GD. Increased mortality postoperative morbidity and cost after red blood cell transfusion in patients having cardiac surgery. *Circulation* 2007;116:2544-2552.
  30. Rastan AJ, Eckenstein JI, Hentschel B, Funkat AK, Gummert JF, Doll N, et al. Emergency coronary artery bypass graft surgery for acute coronary syndrome: Beating heart versus conventional

- cardioplegic cardiac arrest strategies. *Circulation* 2006;114:I477-I485.
31. Nakano J, Okabayashi H, Hanyu M, Soga Y, Nomoto T, Matsuo T, et al. Risk factors for wound infection after off-pump coronary artery bypass grafting. Should bilateral internal thoracic arteries be harvested in patients with diabetes? *J Thorac Cardiovasc Surg* 2008;135: 540-545.
32. English MJ, Hemmerling TM. Heat transfer coefficient: Medivance Arctic Sun Temperature Management System vs. water immersion. *Eur J Anaesthesiol* 2008;25:531-537.
33. Grocott HP, Mathew JP, Carver EH, Phillips-Bute B, Landolfo KP, Newman MF. A randomized controlled trial of the Arctic Sun® temperature management system versus conventional methods for preventing hypothermia during off-pump cardiac surgery. *Anesth Analg* 2004;98: 298-302.
34. Stanley TO, Grocott HP, Phillips-Bute B, Mathew JP, Landolfo KP, Newman MF. Preliminary evaluation of the Arctic Sun temperature-controlling system during off-pump coronary artery bypass surgery. *Ann Thorac Surg* 2003;75:1140-1144.
35. Negishi C, Hasegawa K, Mukai S, Nakagawa F, Ozaki M, Sessler DL. Resistive-heating and forced-air warming are comparably effective. *Anesth Analg* 2003;96:1683-1687.
36. Bock M, Müller J, Bach A, Böhrer H, Martin E, Motsch J. Effects of preinduction and intraoperative warming during major laparotomy. *Br J Anaesth* 1998; 80:159-163.
37. Kim JY, Shinn H, Oh YJ, Hong YW, Kwak HJ, Kwak YL. The effect of skin surface warming during anesthesia preparation on preventing redistribution hypothermia in the early operative period of off-pump coronary artery bypass surgery. *Eur J Cardiothorac Surg* 2006;29:343-347.
38. Bräuer A, English MJM, Sander H, Timmermann A, Braun U, Weyland W. Construction and evaluation of a manikin for perioperative heat exchange. *Acta Anaesthesiol Scand* 2002;46:43-50.
39. Clark JA, Bar-Yosef S, Anderson A, Newman MF, Landolfo K, Grocott HP. Postoperative hyperthermia following off-pump versus on-pump coronary artery bypass surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2005;19:426-429.
40. El-Gamal N, El-Kassabany N, Frank SM, Amar R, Abu Khabar H, El-Rahmany HK, et al. Age-related thermoregulatory differences in a warm operating room environment (approximately 26°C). *Anesth Analg* 2000;90:694-698.
41. Mora R, English MJM, Athienitis AK. Assessment of thermal comfort during surgical operations. *ASHRAE Transactions* 2001;108:52-62.
42. Horowitz PE, Delagarza MA, Pulaski JJ, Smith RA. Flow rates and warming efficacy with Hotline and Ranger blood/fluid warmers. *Anesth Analg* 2004;99: 788-792.
43. Bräuer A, Pacholik L, Perl T, English MJM, Weyland W, Braun U. Conductive heat exchange with a gel-coated circulating water mattress. *Anesth Analg* 2004;99: 1742-1746.
44. Bräuer A, Perl T, Uyanik Z, English MJM, Weyland W, Braun U. Perioperative thermal insulation: Only little clinically important differences? *Br J Anaesth* 2004;92:836-840.
45. Selldén E, Bränström R, Brundin T. Preoperative infusion of amino acids prevents postoperative hypothermia. *Br J Anaesth* 1996;76:227-234.
46. Selldén E, Rimeika D, Settergren G. Thermogenic effect of amino acids not demonstrated in heart surgery with cardiopulmonary bypass. *Acta Anaesthesiol Scand* 2005;49:35-40.
47. Allen GS. Intraoperative temperature control using the Thermogard system during off-pump coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg* 2009;87: 284-288.
48. Harrison SJ, Ponte J. Convective warming combined with vasodilator therapy accelerates core rewarming after coronary artery bypass surgery. *Br J Anaesth* 1996; 76:511-511.
49. Bräuer A, Weyland W, Kazmaier S, Trostdorf U, Textor Z, Hellige G, et al. Efficacy of postoperative rewarming after cardiac surgery. *Ann Thorac Cardiovasc Surg* 2004;10:171-177.
50. CEP09034 (2010): Buyer's guide. Forced-air warming devices. NHS Purchasing and Supply Agency. <http://www.evidence.nhs.uk/source/cep>.

### Korrespondenz- adresse

**Priv.-Doz. Dr. med.  
Anselm Bräuer DEAA**



Zentrum Anaesthesiologie,  
Rettungs- und Intensivmedizin  
Georg-August-Universität Göttingen  
Robert-Koch-Straße 40  
37075 Göttingen, Deutschland

Tel.: 0551 39-22230  
Fax: 0551 39-22676  
E-Mail: abraeue@gwdg.de