

Aus der Klinik für Anästhesie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie
(Klinikdirektor: Prof. Dr. med. A. Weyland)
des Klinikums Oldenburg gGmbH

Untersuchung der Effektivität konduktiver versus konvektiver Wärmung von Patienten zur
Vermeidung intraoperativer Hypothermie während radikaler Prostatektomie

INAUGURAL - DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizinischen Fakultät
der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Anke Timphus, geb. Habdank

aus

Ulm

Göttingen 2013

Dekan:	Prof. Dr. med. H. K. Kroemer
I. Berichterstatter:	Prof. Dr. med. Andreas Weyland
II. Berichterstatter/-in:	PD Dr. med. Elmar Heinrich
III. Berichterstatter/-in:	Prof. Dr. med. Torsten Liersch
Tag der mündlichen Prüfung:	24.11.2014

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	1
1.1 Allgemeine Problematik	1
1.2 Fragestellung	2
2 Physiologische Grundlagen	4
2.1 Allgemeine Einführung	4
2.2 Definition der Hypothermie	4
2.3 Physiologie der Thermoregulation	4
2.4 Wärmehaushalt	6
2.4.1 Wärmeproduktion	6
2.4.2 Wärmeabgabe	6
2.5 Perioperative Hypothermie	7
2.6 Ursachen perioperativer Hypothermie	8
2.6.1 Umgebungstemperatur	8
2.6.2 Einfluss der Prämedikation auf die Thermoregulation	8
2.6.3 Allgemeinanästhesie	9
2.6.4 Änderung der Vasokonstriktionsschwelle	10
2.6.5 Erwärmung und Anfeuchtung der Atemgase	11
2.6.6 Infusionslösungen	11
2.6.7 Wärmeverluste über eröffnete Körperhöhlen	12
2.7 Folgen perioperativer Hypothermie	12
2.7.1 Intraoperative Auswirkungen	12
2.7.1.1 Reduzierter Medikamentenmetabolismus	12
2.7.1.2 Gerinnungsstörungen	13
2.7.2 Postoperative Auswirkungen	14
2.7.2.1 Immunsystem und Wundheilung	14
2.7.2.2 Proteinstoffwechsel	15
2.7.2.3 Muskelzittern (<i>Shivering</i>)	15
2.7.2.4 Respiratorische Nebenwirkungen	16

2.7.2.5	Kardiale Morbidität und Mortalität	16
2.8	Prävention und Therapie perioperativer Hypothermie	17
2.8.1	Erhöhung der Umgebungstemperatur	17
2.8.2	Isolierung der Körperoberfläche	17
2.8.3	Konvektive Wärmeverfahren	18
2.8.4	Konduktive Wärmeverfahren	19
2.8.5	Radiative Wärmeverfahren	19
2.8.6	Vorwärmung von Infusionen	20
2.8.7	Atemgaskonditionierung	21
2.8.8	Pharmakologische Therapie des Kältezitterns	22
3	Material und Methoden	23
3.1	Patientendaten	23
3.1.1	Auswahlkriterien	23
3.1.2	Gruppeneinteilung	23
3.2	Rahmenbedingungen der Untersuchung	24
3.2.1	Umgebungstemperatur	24
3.2.2	Anästhesie	24
3.2.3	Beatmung	24
3.2.4	Vorwärmung	25
3.2.5	Wärmung der Infusions-/Transfusionslösungen	25
3.2.6	Getestete Wärmesysteme	25
3.2.7	Messung der Körpertemperaturen	26
3.3	Datenerfassung	27
3.3.1	Körpertemperatur	27
3.3.2	Hämodynamische Parameter	27
3.3.3	Beatmungsparameter	27
3.3.4	Laborchemische Parameter	27
3.3.5	Subjektive Parameter	27
3.3.6	Begleitparameter	28
3.4	Datenauswertung und Statistik	28

4	Ergebnisse	30
4.1	Demographische Daten	30
4.2	Messparameter	31
4.2.1	Behandlungszeiträume	31
4.2.2	Körpertemperaturen	31
4.2.2.1	Überblick über die ösophageal gemessenen Körperkerntemperaturen	31
4.2.2.2	Überblick über die nasopharyngeal gemessenen Körpertemperaturen	33
4.2.3	Flüssigkeitshaushalt	36
4.2.4	Hämodynamische Parameter	37
4.2.5	Beatmungsparameter	38
4.2.6	Laborchemische Parameter	39
4.3	Postoperativ erhobene Daten	40
4.3.1	Postoperatives Frieren und Kältezittern	40
4.3.2	Postoperative Analgesie	41
5	Diskussion	42
5.1	Diskussion der Methoden	42
5.1.1	Patientenauswahl	42
5.1.2	Wärmesysteme im Vergleich	42
5.1.2.1	Konvektive Luftwärmung	42
5.1.2.2	Konduktive Wärmung	44
5.1.2.3	Vorwärmung	44
5.1.3	Infusionswärmung	45
5.1.4	Temperaturmessung	46
5.1.5	Postoperative Patientenbefragung/-beurteilung	47
5.2	Diskussion der Ergebnisse	48
5.2.1	Temperaturverlauf	48
5.2.2	Zusammenhang zwischen Temperaturverlauf und subjektiven postoperativen Parametern	49
5.2.3	Effektivität der getesteten Wärmesysteme	50

5.3	Schlussfolgerung	51
5.4	Physiologische Relevanz	51
5.5	Klinische Relevanz – Konsequenzen für den klinischen Alltag	53
6	Zusammenfassung	54
7	Literaturverzeichnis	56
8	Tabellenverzeichnis	67
9	Abbildungsverzeichnis	68

1 Einleitung

1.1 Allgemeine Problematik

Perioperative Hypothermie ist eine häufige Komplikation bei der Durchführung von Allgemein- und Regionalanästhesien (SCHOSER und MESSMER 1999). Ausgedehnte operative Eingriffe mit Eröffnung der Bauchhöhle führen bei nahezu allen Patienten zum Auftreten einer perioperativen Hypothermie, sofern keine wärmeerhaltenden Maßnahmen ergriffen werden (WEYLAND et al. 1998). Ursächlich hierfür sind die ungünstigen Umgebungsbedingungen, die Einwirkung der Anästhetika auf die körpereigene Thermoregulation, Wärmeverteilungsphänomene, sowie die Reduktion der Wärmeproduktion unter Narkose (BRÄUER et al. 1998; HORN 2002). Neben der Anästhesie sind die Infusion von kalten Lösungen und die Evaporation über eröffnete Körperhöhlen die Hauptursachen von intraoperativen Temperaturverlusten. Zusätzliche Risikofaktoren sind ein hohes Lebensalter und ein großer intraoperativer Blutverlust.

Perioperative Hypothermie begünstigt Störungen der plasmatischen Gerinnung und der Thrombozytenfunktion, was wiederum zu einem vermehrten Blutverlust führt (SCHMIED et al. 1996). Postoperativ besteht für Patienten mit bekannter koronarer Herzkrankheit, die intraoperativ ausgekühlt waren, ein erhöhtes Risiko für Myokardischämien, Herzrhythmusstörungen und pektanginöse Beschwerden (FRANK et al. 1993).

Auch über die direkte postoperative Phase hinaus scheinen Auswirkungen einer perioperativen Hypothermie zu existieren. Eine intraoperativ aufgetretene Hypothermie kann die Wundheilung verzögern und somit den Krankenhausaufenthalt verlängern (KURZ et al. 1996). Nicht zu vernachlässigen ist auch das von Patienten als unangenehm empfundene postoperative Frieren und Kältezittern. Selbst milde Hypothermien führen zu einer nicht unerheblichen Beeinträchtigung der Patientenbefindlichkeit.

Aufgrund der möglichen Auswirkungen perioperativ auftretender Hypothermie erscheint es sinnvoll, Wärmeverluste konsequent zu vermeiden.

Temperaturverluste durch anästhetikabedingte Thermoregulationsstörungen und durch das freiliegende Operationsfeld sind wenig zu beeinflussen (ENGLISH et al. 1998). Jedoch kann eine Auskühlung des Patienten durch verschiedene passive wie auch aktive Maßnahmen limitiert werden.

Zur Vermeidung intraoperativer Hypothermie stehen derzeit unterschiedlich wirksame Methoden zur Verfügung (SCHERER 1997).

Durch alleinige Maßnahmen wie Wärmeisolierung des Patienten, Atemgaskonditionierung und die Verwendung von Infusionswärmern ist eine Auskühlung des Patienten über einen

längeren Zeitraum hinweg nicht zu vermeiden. Jedoch ist in Kombination mit aktiver Wärmung des Patienten ein additiver Effekt dieser Methoden als positiv zu bewerten (SCHMIDT und MÖRER 1998).

Konvektive Luftwärmung über eine Oberkörperdecke stellt eine verbreitete Methode zur aktiven intraoperativen Wärmung dar (GIESBRECHT et al. 1994; FRITZ und WEYLAND 1997). Nachteile dieser Methode sind die Geräusentwicklung während der Inbetriebnahme, sowie Folgekosten durch Einmaldecken oder durch die Abnutzung und Reinigung der wiederverwendbaren Decken.

Konduktive Wärmung kann über beheizbare Wärmematten oder -platten erfolgen. Werden diese jedoch unter dem Körper des Patienten platziert, kommt es durch das Körpergewicht zur Kompression des aufliegenden Gewebes und dadurch zur Einschränkung der Durchblutung sowie auch des Wärmetransportes. Eine sinnvolle Alternative wäre, mit partieller konduktiver Wärmung eine nicht aufliegende Körperoberfläche zu nutzen und Kompression zu vermeiden, um einen größtmöglichen Wärmeaustausch zu erzielen (BRÄUER et al. 2003).

Ein solches Konzept könnte möglicherweise die gleiche oder sogar eine höhere Effektivität als konvektive Luftwärmer erreichen und auch Einmalmaterial und damit Kosten sparen. Prospektive vergleichende Studien, die eine Beantwortung dieser Fragen erlauben, sind jedoch bislang nicht verfügbar.

Es erscheint daher sinnvoll, die konvektive Patientenwärmung über ein Warmluftgebläse mit der konduktiven Patientenwärmung über Wärmeplatten an nicht aufliegenden Körperoberflächen hinsichtlich ihrer Effektivität zu vergleichen.

Daten zum Vergleich dieser Verfahren sind idealerweise unter standardisierten Umgebungs- und Untersuchungsbedingungen zu erheben. Eine Studiendurchführung an Patienten bietet im Gegensatz zu Studien am Modell den Vorteil der direkten Übertragbarkeit der gewonnenen Ergebnisse auf den klinischen Alltag.

1.2 Fragestellung

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, Aussagen zur Effektivität der konduktiven im Vergleich mit der konvektiven Wärmung von Patienten zur Verhinderung intraoperativer Hypothermie bei intraabdominellen Eingriffen, am Beispiel der radikalen Prostatektomie, zu treffen.

Die Ergebnisse dieser Studie sollen Aufschluss darüber geben, ob eine Hypothermie durch den Einsatz konvektiver oder konduktiver Wärmezufuhr in Kombination mit Infusionswärmung vermieden werden kann und welches Verfahren diesbezüglich das effektivere von beiden ist.

Zur Auswertung wurden neben objektiven Parametern auch subjektive Beurteilungen durch die Patienten selbst sowie durch das betreuende Pflegepersonal im Aufwachraum hinsichtlich des Auftretens und des Schweregrades postoperativen Frierens und Kältezitterns herangezogen.

2 Physiologische Grundlagen

2.1 Allgemeine Einführung

Eine Allgemeinnarkose wird häufig begleitet von einer medizinisch relevanten perioperativen Auskühlung des Patienten. Perioperative Hypothermie prädisponiert für eine Vielzahl von intra- als auch postoperativ auftretenden Komplikationen, deren klinischer Relevanz zunehmend Beachtung geschenkt wird.

Seit einigen Jahren stehen effektive Therapiemöglichkeiten zur Verfügung, die - sinnvoll und rechtzeitig eingesetzt - die Inzidenz und den Schweregrad postoperativer Komplikationen limitieren können.

Im Folgenden wird ein Überblick über die allgemeine und spezielle Pathophysiologie der perioperativen Hypothermie gegeben. Neben den Ursachen und Auswirkungen der perioperativen Hypothermie werden Möglichkeiten der Therapie vorgestellt.

2.2 Definition der Hypothermie

Hypothermie ist definiert als das Absinken der Körperkerntemperatur unter einen Wert von 36°C (SCHOSER und MESSMER 1999).

Dabei ist eine Einteilung in milde (35,9 – 32°C), mäßige (31,8 – 28°C), schwere (27,9 – 18°C) und tiefe Hypothermie (17,9 - 0°C) möglich (HEUER 2003).

2.3 Physiologie der Thermoregulation

Die Aufgabe der Temperaturregulation besteht darin, die Körperkerntemperatur auf einem Sollwert zwischen 36,5°C und 37,5°C konstant zu halten (SCHERER 1997). Dieser Mechanismus unterliegt einer zirkadianen Rhythmik mit einem Minimum um ca. 3 Uhr und einem Maximum um ca. 18 Uhr (SILBERNAGL und DESPOPOULOS 1991). Auch hormonelle Faktoren spielen bei der Regulation der Körperkerntemperatur eine Rolle.

Der menschliche Organismus besitzt antagonistische Mechanismen zur Wärmebildung/-konservierung (Vasokonstriktion, Muskelzittern) und zur Wärmeabgabe (Vasodilatation, Schweißsekretion). Beide Systeme werden vom Thermoregulationszentrum im hinteren Anteil des Hypothalamus gesteuert.

Temperaturreize werden über Thermorezeptoren der Haut sowie des Körperkernes aufgenommen. 20% dieser Afferenzen kommen aus der Peripherie (Haut), 80% aus dem

Körperkern (Hypothalamus, andere Teile des ZNS, Rückenmark und innere Organe). Die Reize werden über aufsteigende Bahnen des Rückenmarkes zum Hypothalamus weitergeleitet.

Die Spanne, innerhalb derer die Körperkerntemperatur allein durch den Grundumsatz gehalten wird, beträgt nur $0,2^{\circ}\text{C}$. Bei stärkerem Abweichen der Körperkerntemperatur von diesem Sollwert treten thermoregulatorische Prozesse in Kraft.

Kommt es zu einem Abfall der Körperkerntemperatur unter den Sollwert, wird zunächst eine periphere Vasokonstriktion ausgelöst. Für einen unbedeckten Menschen ist es nur bei Umgebungstemperaturen von 28 bis 30°C möglich, allein durch Vasokonstriktion eine Normothermie aufrechtzuerhalten. Bei niedrigeren Umgebungstemperaturen setzen zusätzlich willkürliche Muskelbewegungen und unwillkürliches Muskelzittern ein.

Im Gegensatz dazu wird bei einem Anstieg der Körperkerntemperatur über den Sollwert hinaus mittels peripherer Vasodilatation und Aktivierung der Schweißdrüsen die Wärmeabgabe an die Umgebung gefördert.

Thermorezeptoren	Hypothalamus	Effektoren	Korrekturmechanismus
Peripher:			
• Haut	$< 36,5^{\circ}\text{C}$	→	Blutgefäße Vasokonstriktion
	┐		Skelettmuskel Muskelzittern
			Fettzellen zitterfreie Thermogenese
	→→		Neutral-
	zone		
Zentral:			
• ZNS			
• Rückenmark	└		
• Innere Organe	$> 37,5^{\circ}\text{C}$	→	Blutgefäße Vasodilatation
			Schweißdrüsen Schwitzen

Abb. 2-1 **Modell der Thermoregulation**

2.4 Wärmehaushalt

Der Wärmehaushalt des menschlichen Körpers spielt eine entscheidende Rolle bei der Thermoregulation. Ziel der Thermoregulation des Menschen ist es, eine ausgeglichene Wärmebilanz des Körpers zur Aufrechterhaltung der Körpertemperatur zu erreichen. Eine konstante Körpertemperatur kann nur aufrechterhalten werden, wenn ein Gleichgewicht zwischen produzierter und abgegebener Wärme besteht.

2.4.1 Wärmeproduktion

Die Wärmeproduktion ist abhängig vom Energieumsatz des menschlichen Körpers, der durch verschiedene Organe aufrechterhalten wird. Unter Ruhebedingungen wird die Wärmeproduktion zu ca. 41% durch innere Organe, zu 26% durch Muskulatur, zu 18% durch das Gehirn und zu 14% durch die übrigen Organe gedeckt (ULMER 1987). Weitere Wärme kann durch aktive Betätigung des Bewegungsapparates und durch Kältezittern zur Konstanthaltung der Körperkerntemperatur produziert werden. Beim Neugeborenen spielt die zitterfreie Wärmebildung im braunen Fettgewebe eine zusätzliche Rolle. Hierbei wird durch Steigerung von Stoffwechselfvorgängen, welche nicht an Muskelkontraktionen gebunden sind, chemische Energie in Form von Wärme frei gesetzt (BRÜCK 1987).

In stationärer Ruhelage, bei konstanter mittlerer Körperkerntemperatur gleicht die Wärmeproduktion dem Wärmetransport vom Körperinnern zur Körperoberfläche (innerer Wärmestrom), sowie dem Wärmetransport von der Körperoberfläche zur Umgebung (äußerer Wärmestrom).

2.4.2 Wärmeabgabe

Wärmeabgabe kann nur dort erfolgen, wo der Körper in direktem Kontakt zu seiner Umgebung steht. An diesem Wärmeaustausch sind vier verschiedene Mechanismen beteiligt:

- Konduktion (Wärmeleitung)

Wärmeabgabe durch Konduktion erfolgt dort, wo der Körper direkten Kontakt zu einer festen Unter- bzw. Auflage hat. Dabei wird die Größe des konduktiven Wärmestromes durch die Auflagefläche, die Temperatur und die Wärmeleitfähigkeit des dem Körper anliegenden Materials bestimmt.

- Konvektion (Wärmeströmung)

Konvektion bezeichnet den aufgrund von Temperaturunterschieden entstehenden Wärmeaustausch durch eine Strömungsbewegung innerhalb eines gasförmigen oder flüssigen Mediums.

Der Temperaturgradient zwischen warmer Hautoberfläche und kühler umgebender Luft bewirkt eine Luftströmung. Erwärmt sich die der Haut anliegende Luftschicht, steigt sie aufwärts und kühlere Luft strömt nach. Bei diesem Mechanismus wird ein laminarer Luftstrom an der Hautoberfläche erzeugt und Wärme abtransportiert.

- Radiation (Wärmestrahlung)

Unter Radiation versteht man die Wärmeabgabe durch Strahlung. Sie verhält sich proportional zur Temperaturdifferenz zwischen menschlichem Körper und der Umgebung. Der Körper nimmt Wärme in Form von Strahlung auf, wenn ein Gegenstand heißer als die Hauttemperatur einstrahlt. Dagegen gibt der menschliche Körper Strahlungswärme ab, wenn er von kälteren Objekten umgeben ist.

- Evaporation (Wärmeverdunstung)

Als Evaporation bezeichnet man die Abgabe wärmeenergiereicher Moleküle von einer Flüssigkeitsoberfläche an ein Gas. Das zur Verdunstung benötigte Wasser gelangt über die Schweißdrüsen, die Alveolen oder das Peritoneum bei eröffnetem Abdomen an die Oberfläche. Die Abgabe der Wärmemenge ist dabei von der relativen Luftfeuchtigkeit abhängig.

2.5 Perioperative Hypothermie

Perioperative Hypothermie ist eine häufige Komplikation bei der Durchführung von Allgemein- und Regionalanästhesien. Insbesondere ausgedehnte operative Eingriffe mit großflächiger Eröffnung des Bauchraumes führen zu einer starken Auskühlung des Patienten. Eine postoperative Hypothermie wurde in den achtziger Jahren mit einer Inzidenz von 50 – 80% aller Patienten bei Aufnahme im Aufwachraum angegeben (VAUGHAN et al. 1981; SLOTMAN et al. 1985; STEWART et al. 1987).

2.6 Ursachen perioperativer Hypothermie

Im stationären Zustand bei konstanter mittlerer Körperkerntemperatur herrscht eine ausgeglichene Wärmebilanz. Dies bedeutet, dass Wärmeproduktion und Wärmeabgabe sich die Waage halten.

Während der Narkose steigen die Wärmeverluste an die Umgebung bei gleichzeitig reduzierter Wärmeproduktion. Zusätzlich ist das über den Hypothalamus gesteuerte Gleichgewicht zwischen Wärmeverlust und Wärmebildung gestört. Da die körpereigene Wärmebildung in Narkose limitiert ist, wird die Wärmebilanz vorrangig durch den Wärmeaustausch mit der Umgebung bestimmt.

Die im Folgenden dargestellten Faktoren beeinflussen das Auftreten einer perioperativen Hypothermie.

2.6.1 Umgebungstemperatur

Die Temperatur im Operationssaal hat einen bedeutenden Einfluss hinsichtlich des Auftretens perioperativer Hypothermie. Bei durchschnittlichen Raumtemperaturen im Operationssaal von 18 – 22°C werden Wärmeverluste zu ca. 60% durch Konvektion und zu ca. 20% durch Evaporation verursacht. Über Konduktion gehen weitere 3% an Wärmeenergie verloren (SILBERNAGL und DESPOPOULOS 1991).

2.6.2 Einfluss der Prämedikation auf die Thermoregulation

Bereits vor Beginn der Anästhesie kann im Rahmen der Prämedikation die Thermoregulation beeinflusst werden. Die hierbei übliche Gabe von Benzodiazepinen scheint jedoch nur geringe Auswirkungen auf die Thermoregulation zu haben.

In einer von KURZ et al. (1995a) durchgeführten Studie über die intravenöse Applikation des Benzodiazepins Midazolam konnte nur eine geringe Senkung der Thermoregulationsschwelle nachgewiesen werden. Wird jedoch zusätzlich ein H₂-Rezeptorantagonist im Rahmen der Prämedikation verabreicht, kann dieses zu einer relevanten Absenkung der Vasokonstriktionsschwelle führen.

Für den H₂-Blocker Famotidin wurde diese Wirkung bestätigt. HIROSE et al. (1995) fanden bei Patienten, die mit 40 mg Famotidin prämediziert wurden, im Gegensatz zu einer nicht prämedizierten Kontrollgruppe unter einer Isofluran-Lachgas-Narkose eine um etwa 1°C erniedrigte Vasokonstriktionsschwelle.

2.6.3 Allgemeinanästhesie

Durch den Einfluss von Narkotika wird das über den Hypothalamus gesteuerte Gleichgewicht zwischen Wärmeproduktion und Wärmeabgabe beeinträchtigt. Dabei supprimieren Anästhetika die Thermoregulationsmechanismen und drosseln den Grundumsatz, was zu einer reduzierten Wärmebildung unter Narkose und einem Ausfall der Thermoregulation führt.

In einer Studie von HAUSMANN et al. (1991) wurde eine um etwa 15-30% verminderte körpereigene Wärmeproduktion sowohl unter einer Inhalationsanästhesie mit Isofluran/Lachgas als auch unter einer intravenösen Anästhesie mit Propofol/Alfentanil nachgewiesen.

Es werden drei Phasen der Hypothermieentwicklung unter Allgemeinanästhesie unterschieden:

1. Initialer, rascher Abfall der Körperkerntemperatur durch Umverteilung der Körperwärme vom Körperkern zur Peripherie
2. Langsamer, linearer Abfall der Körperkerntemperatur, da der Wärmeverlust größer als die Wärmeproduktion ist, sowie fortgesetzte Wärmeumverteilung
3. Thermisches Gleichgewicht, Plateau der Körperkerntemperatur auf einem erniedrigten Niveau.

Innerhalb der ersten Stunde nach Narkoseeinleitung ist der Abfall der Körperkerntemperatur am größten und beträgt je nach Umgebungsbedingungen 0,5 - 1,5°C. So kann es bereits bei kurzen operativen Eingriffen oder bei längerer Narkoseeinleitung zu relevanten Wärmeverlusten kommen. Dieses Phänomen lässt sich nicht allein durch eine verminderte Wärmebildung und einen erhöhten Wärmeverlust über die Körperoberfläche des Patienten begründen. Vielmehr spielt hierbei die Umverteilung der Wärme aus dem Körperkern in die Peripherie eine maßgebliche Rolle. Anästhetika induzieren eine periphere Vasodilatation, aufgrund des hohen Temperaturgradienten gelangt vermehrt kaltes Blut aus der Peripherie zum Körperkern. Es findet eine Wärmeumverteilung zu Gunsten peripherer Gewebe (Redistribution) mit der Folge statt, dass der Körperkern auskühlt.

Dieser initiale Abfall der Körperkerntemperatur ist bei Patienten, die präoperativ kälteexponiert waren, ausgeprägter als bei Patienten, welche sich vor der Operation in warmer Umgebung aufhielten (SESSLER 1997).

Während der zweiten Phase fällt die Körperkerntemperatur linear um weitere 0,3 – 1°C pro Stunde, was primär auf die Wärmeabgabe durch Radiation, Konvektion, Konduktion und

Evaporation an die Umgebung und sekundär durch eine fortgesetzte Wärmeumverteilung zurückzuführen ist (KURZ 1997).

Nach drei bis fünf Stunden Anästhesiedauer stellt sich ein thermisches Gleichgewicht ein. Wärmeproduktion und –verluste gleichen sich in dieser Phase an, so dass der Abfall der Körperkerntemperatur gedrosselt und schließlich auf niedrigem Niveau konstant gehalten wird.

Der periphere Wärmeverlust wird mit Wiedereinsetzen der peripheren Vasokonstriktion vermindert und die produzierte Wärme auf den Körperkern konzentriert. Jedoch nimmt die Gesamtkörperwärme weiterhin ab, da das periphere Gewebe noch immer auskühlt. In dieser dritten Phase stellt sich ein neuer Kern-/Peripherie-Temperaturgradient ein, der zum Operationsbeginn nach Narkoseeinleitung verloren gegangen war (KURZ et al. 1995b).

2.6.4 Änderung der Vasokonstriktionsschwelle

Während der Durchführung einer Allgemeinanästhesie sind die Schwellen der Thermoregulation verändert. Der sonst enge Regulationsbereich der Körperkerntemperatur, die sogenannte „*interthreshold range*“, ist vergrößert. Dieser Bereich, innerhalb dessen keine autonome Thermoregulation durch Vasokonstriktion oder Vasodilatation stattfindet, kann bei Anästhesie von 0,2°C auf bis zu 4°C zunehmen (SESSLER 1997).

Bei der unter Narkose auftretenden Hypothermie ist vor allem die veränderte Vasokonstriktionsschwelle von Bedeutung, da ein Kältezittern während einer Muskelrelaxierung ohnehin verhindert wird.

Unter Vasokonstriktion kommt es zunächst an den Extremitäten zur Abnahme der Hautdurchblutung. Ursache hierfür ist ein reduzierter Blutfluss durch arterio-venöse Shunts. Als Folge sinkt die Hauttemperatur an den Extremitäten ab, der Wärmeverlust über die Haut ist deutlich reduziert (KURZ et al. 1997). Die bedeutendste Funktion der Vasokonstriktion ist jedoch das Vermeiden einer Auskühlung des Körperkerns, indem die Körperschale und der Körperkern funktionell getrennt werden. Eine Vasokonstriktion kann jedoch das Auftreten einer Hypothermie nicht verhindern, sondern nur verlangsamen, da sie unter Narkose erst einsetzt, wenn der Patient bereits hypotherm ist.

In mehreren Studien wurden erniedrigte Vasokonstriktionsschwellen für verschiedene in der Anästhesie verwendete Pharmaka nachgewiesen.

Beispielsweise fanden GOTO et al. (1999) in einer Patientenstudie, dass während einer Xenon-/Isofluran-Narkose die Vasokonstriktionsschwelle ($34,6^{\circ}\text{C} \pm 0,8^{\circ}\text{C}$) unter der einer

reinen Isoflurannarkose ($35,1^{\circ}\text{C} \pm 0,6^{\circ}\text{C}$) bzw. der einer Isofluran-/Lachgasnarkose ($35,7^{\circ}\text{C} \pm 0,6^{\circ}\text{C}$) lag.

2.6.5 Erwärmung und Anfeuchtung der Atemgase

Nach einer Studie von IMRIE und HALL (1990) werden zur Erwärmung und Anfeuchtung des Atemgases in den Atemwegen stündlich etwa 6,5 kJ Wärme pro Liter Ventilationsvolumen benötigt. Bei einem Atemzugvolumen von 6 – 10 l/min führt die Beatmung mit trockenem, kaltem Atemgas somit zu einem Wärmeverlust von 40 – 65 kJ/h.

Dieser pulmonale Wärmeverlust in der perioperativen Phase kann durch adäquate Erwärmung und Anfeuchtung der Atemgase bei intubierten Patienten weitgehend vermieden werden. Jedoch ist der Wärmeverlust durch Beatmung mit kalten und trockenen Atemgasen im Vergleich zu Wärmeverlusten durch Konvektion, Radiation und Evaporation zu vernachlässigen. Eine Wiedererwärmung hypothermer Patienten sowie auch eine effektive Reduktion perioperativer Wärmeverluste sind durch atemgasklimatisierende Maßnahmen allein nicht möglich (RATHGEBER et al. 1996).

2.6.6 Infusionslösungen

Durch die Infusion bzw. Transfusion ungewärmter Flüssigkeiten entsteht ein zusätzlicher Wärmeverlust mittels Konduktion. Dasselbe gilt für die Verwendung kalter Spüllösungen.

Aus der spezifischen Wärme für Wasser ($1 \text{ kcal} \times \text{kg}^{-1} \times ^{\circ}\text{C}^{-1}$; $4,18 \text{ kJ} \times \text{kg}^{-1}$) lässt sich der Wärmeverlust durch Infusionen und Transfusionen sowie Spüllösungen berechnen (1 W entspricht 0,86 kcal/h; 3,6 kJ/h).

Demzufolge beträgt der Wärmeverlust 1,16 Watt pro Liter zugeführter Flüssigkeit pro Stunde und $^{\circ}\text{C}$ Temperaturdifferenz zwischen mittlerer Körpertemperatur und Temperatur der verabreichten Lösung.

Nach einer Formel von DE GOWIN et al. (1940) senken 53 ml/kgKG einer 20°C warmen Infusionslösung die Körpertemperatur um 1°C . Dies entspricht bei einem 70 kg schweren Patienten 3500 ml Infusionsvolumen, bei einem 10 kg schweren Kleinkind 530 ml infundierter Flüssigkeit. Demzufolge könnte bei einer 33°C warmen Infusionslösung die sechsfache Menge bei gleichem Temperaturverlust infundiert werden.

2.6.7 Wärmeverluste über eröffnete Körperhöhlen

Während einer Operation kann neben dem konstanten Wärmeverlust durch die Perspiratio insensibilis (Verdunstung von Wasser über Haut und Atemwege) eine erhebliche Wärmeabgabe über eröffnete Körperhöhlen erfolgen. Hierbei verliert der Patient Wärme vor allem über Evaporation.

Der Wärmeverlust kann anhand der spezifischen Verdampfungsenthalpie von Wasser (2427 kJ/kgKG) abgeschätzt werden. Bei einem 70 kg schweren Patienten mit einer durchschnittlichen Perspiratio insensibilis von 500 ml Wasser pro Stunde und kgKG resultiert demzufolge ein Wärmeverlust von 80 kJ/h ($2427 \times 0,035$) (SLADEN 1991).

2.7 Folgen perioperativer Hypothermie

Negative Folgen einer Hypothermie sind vielfältig, können alle Organsysteme betreffen und manifestieren sich insbesondere ab einer Körperkerntemperatur $< 34^{\circ}\text{C}$.

Im nächsten Abschnitt sind einige dieser unerwünschten Wirkungen aufgeführt.

2.7.1 Intraoperative Auswirkungen

2.7.1.1 Reduzierter Medikamentenmetabolismus

Unter Hypothermie werden die renale und hepatische Elimination von Medikamenten reduziert, so dass eine Akkumulation ihrer Metabolite erfolgen kann.

LESLIE et al. (1995) fanden für das nicht-depolarisierende Muskelrelaxans Atracurium an anästhesierten Probanden bei einer Körperkerntemperatur von 34°C eine um 60% verlängerte Wirkdauer gegenüber normothermen Probanden. Ebenso ließen sich bei hypothermen Probanden im Gegensatz zur normothermen Kontrollgruppe erhöhte Plasmaspiegel des Injektionsnarkotikums Propofol nachweisen.

HEIER et al. (1991) beschrieben für das nicht-depolarisierende Muskelrelaxans Vecuronium eine Verdoppelung der Wirkdauer von 28 ± 4 Minuten auf 62 ± 8 Minuten bei einem Abfall der Körperkerntemperatur von 37°C auf $34,5^{\circ}\text{C}$. Das Erwachen aus der Allgemeinanästhesie erfolgte bei hypothermen Patienten verzögert.

In beiden genannten Studien wird jedoch nicht belegt, ob die Ursache für einen veränderten Medikamentenmetabolismus in einer veränderten Pharmakokinetik oder auch in einer veränderten Pharmakodynamik liegt.

2.7.1.2 Gerinnungsstörungen

Eine der wesentlichen Nebenwirkungen perioperativer Hypothermie ist das Auftreten von Blutgerinnungsstörungen. Ursächlich hierfür sind sowohl eine Funktionsstörung der Thrombozyten (VALERI et al. 1992) als auch eine Beeinträchtigung der an der Gerinnungskaskade beteiligten Enzyme (GOTO et al. 1985) zu sehen. Als Folge davon ist der perioperative Blutverlust bei hypothermen Patienten gesteigert, was wiederum zu einer erhöhten Transfusionsrate führt (SCHMIED et al. 1996).

Werden intraoperativ Blutgefäße verletzt, kommt es durch Aggregation der Thrombozyten zu einem primären Wundverschluss. Demzufolge führen eine Thrombozytenfunktionsstörung oder auch eine Thrombozytopenie zu einer verlängerten Blutungszeit.

Unter physiologischen Bedingungen erfolgt die Bildung von Thromboxan A₂ durch aktivierte Thrombozyten. Es hat eine vasokonstriktorische Wirkung und verstärkt wiederum die Thrombozytenaktivierung. VALERI et al. (1992) fanden bei Patienten während einer kardiopulmonalen Bypass-Operation mit lokaler Hypothermie eine verlängerte Blutungszeit. Als Ursache hierfür wurde die Temperaturabhängigkeit des Enzyms Thromboxansynthetase angesehen. In Körperregionen mit lokaler Hypothermie wurden im Vergleich zu normothermen Körperregionen niedrigere Blutspiegel von Thromboxan B₂, einem stabilen Abbauprodukt des Thromboxan A₂, nachgewiesen. Bei niedrigen Hauttemperaturen zeigen sich sowohl erniedrigte Thromboxan B₂-Spiegel als auch eine verlängerte Blutungszeit.

Anhand von in-vivo- und in-vitro- Untersuchungen zeigten MICHELSON et al. (1994), dass die Funktion der Thrombozyten unter Hypothermie eingeschränkt ist. Betroffen waren mehrere Enzymsysteme der Thrombozyten, u. a. die Thromboxan A₂-Synthese und die Rezeptorregulation des von-Willebrand-Faktors. Nach Wiedererwärmung waren diese Funktionseinschränkungen reversibel.

Neben dem primären Wundverschluss durch Thrombozyten ist eine funktionierende plasmatische Gerinnung bei der Blutstillung von entscheidender Bedeutung. Diese sekundäre Hämostase ist vor allem gekennzeichnet durch die Bildung von Fibrin.

Bei Versuchen an Hunden fanden GOTO et al. (1985), dass Hypothermie eine Hypokoagulabilität des Blutes zur Folge hat. Unter Hypothermie war die Funktion der Gerinnungsfaktoren vermindert, was u.a. eine verlängerte aktivierte partielle Thromboplastinzeit zur Folge hatte.

SCHMIED et al. (1996) zeigten, dass bei hypothermen Patienten der perioperative Blutverlust erhöht und die Indikation zu einer Bluttransfusion gesteigert ist.

Hierzu wurden eine aktiv gewärmte normotherme und eine hypotherme Patientengruppe während einer Hüft-Endoprothesen-Operation verglichen. Bei einem Abfall der Körperkerntemperatur der hypothermen Patienten um weniger als 2°C stieg der Blutverlust um etwa 500 ml an. Während der durchschnittliche Blutverlust bei normothermen Patienten 1,7 Liter betrug, so lag er bei 2,2 Litern in der Gruppe der ausgekühlten Patienten. Obwohl die maschinelle Autotransfusion und Hämodilutionsverfahren eingesetzt wurden, bestand seitens der hypothermen Patienten eine erhöhte Transfusionsindikation. Insgesamt waren in dieser Gruppe sowohl die Fremdblutgabe als auch das insgesamt verabreichte Volumen erhöht.

2.7.2 Postoperative Auswirkungen

2.7.2.1 Immunsystem und Wundheilung

Zu den häufigsten Komplikationen nach chirurgischen Eingriffen zählen Wundinfektionen. Ihre Inzidenz kann durch eine perioperative Hypothermie des Patienten verstärkt werden. Hypothermie bedingt eine Vasokonstriktion in arterio-venösen Shuntgebieten, was wiederum eine Abnahme des subkutanen Gewebesauerstoffpartialdruckes zur Folge hat. In einigen Studien konnte gezeigt werden, dass ein direkter Zusammenhang zwischen Gewebesauerstoffpartialdruck, Wundheilung und Wundinfektion besteht. Ebenso ist unter Sauerstoffmangel die Kapazität neutrophiler Granulozyten, Bakterien abzutöten und zu phagozytieren, vermindert, was als Ursache der gesteigerten Infektionsanfälligkeit hypothermer Patienten anzusehen ist.

WENISCH et al. (1996) fanden, dass bei erniedrigter Körperkerntemperatur die Produktion oxidativer Einheiten in Leukozyten ebenso wie die Phagozytosefähigkeit reduziert waren.

KURZ et al. (1996) zeigten in einer Studie an Patienten, die sich einer Kolonresektion unterziehen mussten, dass die Rate an postoperativen Infektionen bei hypothermen im Gegensatz zu normothermen Patienten signifikant erhöht war. Eine Verminderung der Körperkerntemperatur um ca. 2°C verdreifachte die Inzidenz an Wundinfektionen und verlängerte die Dauer des Krankenhausaufenthaltes um etwa drei Tage.

Übereinstimmend mit diesen Untersuchungen wurde in Tierversuchen eine verminderte Resistenz gegenüber Infektionen durch *Escherichia coli* und *Staphylococcus aureus* unter Hypothermie nachgewiesen (SHEFFIELD et al. 1994).

2.7.2.2 Proteinstoffwechsel

Als komplexe Reaktion des Körpers auf das Operationstrauma tritt im Rahmen des Post-aggressionsstoffwechsels eine katabole Stoffwechsellaage auf. Dies führt zu einem Proteinabbau mit negativer Stickstoffbilanz.

Es wurde bei Patienten unter Hypothermie ein gesteigerter Proteinkatabolismus durch Muskelabbau nach einem Abdominaleingriff (CARLI und ITIABA 1986) oder einem elektiven Hüftgelenkersatz (CARLI et al. 1989) beschrieben. Im Vergleich zu normothermen Patienten war die negative Stickstoffbilanz bei hypothermen Patienten deutlicher ausgeprägt.

2.7.2.3 Muskelzittern (*Shivering*)

Postoperatives *Shivering* ist eine häufige anästhesiologische Komplikation, die 5 – 65% der Patienten nach Allgemeinanästhesie betrifft (CROSSLEY 1992) und mit erheblichem Missemfinden seitens des Patienten verbunden ist.

Postoperativem *Shivering* liegt meist eine thermoregulatorische Ursache (Hypothermie) zugrunde, da Muskelfaszikulationen als Reaktion auf eine Auskühlung des Körperkerns und der Körperperipherie auftreten. Auch Fieber kann ursächlich in Betracht gezogen werden. Bei der Fieberreaktion des Körpers ist der Sollwert für die Körperkerntemperatur erhöht. Als Folge werden unwillkürliche Maßnahmen zur Produktion von Körperwärme durch Muskelaktivität ausgelöst. Neben diesen Faktoren sind postoperativ auftretende Schmerzen und die Anästhetika selbst als Ursachen des Muskelzitterns bekannt (HORN 2002).

Die beim *Shivering* gesteigerte Muskelaktivität erhöht den Sauerstoffverbrauch im Körper um etwa 40% (FRANK et al. 1995b). Zur Deckung des erhöhten Sauerstoffbedarfs wird kompensatorisch das Herzzeitvolumen gesteigert. Dies führt zusammen mit der hypothermiebedingten Vasokonstriktion zu einer Blutdrucksteigerung. Zusätzlich wird die Hypertension durch eine vermehrte Freisetzung an Stresshormonen verstärkt. Kann der erhöhte Sauerstoffbedarf nicht durch eine Steigerung der Ventilation und des Herzzeitvolumens kompensiert werden, führt dies unter Kumulation von Laktat zu einer Azidose und einem Abfall der arteriellen Sauerstoffsättigung (SLADEN 1991).

2.7.2.4 Respiratorische Nebenwirkungen

Bedingt durch kompensatorische Wärmeproduktion nach Narkoseende kann bei hypothermen Patienten durch Muskelzittern ein erhöhter Sauerstoffbedarf bestehen, mit konsekutiver Erhöhung des Herzzeitvolumens. Ist eine Deckung des Sauerstoffbedarfes durch erhöhtes Herzzeitvolumen und gesteigerte Ventilation nicht möglich, führt dies zu einer Linksverschiebung der Sauerstoffbindungskurve (SLADEN 1991). Als Folge resultiert eine verminderte Oxygenierung des arteriellen Blutes mit erschwelter Sauerstoffabgabe an das Gewebe.

FRANK et al. (1993) untersuchten den Einfluss perioperativer Hypothermie auf das respiratorische System an Patienten, bei denen ein Gefäßeingriff an der unteren Extremität durchgeführt wurde. In der Gruppe der hypothermen Patienten fand man im Gegensatz zur normothermen Kontrollgruppe häufiger Werte des arteriellen Sauerstoffpartialdruckes unter 80 mmHg. Obwohl dies keine klinisch relevante Hypoxämie darstellt, kann dadurch bei kardiopulmonal vorerkrankten Patienten mit ohnehin eingeschränkten Sauerstoffreserven eine zusätzliche Gefährdung bestehen.

Besonders in der postoperativen Phase mit eingeschränkter Lungenfunktion, reduzierter Sauerstoffträgerkapazität und durch Vasokonstriktion maskierter Hypovolämie besteht ein Missverhältnis zwischen Sauerstoffbedarf und Sauerstoffangebot (RALLEY et al 1988). Hypoxämie, Laktatazidose und Hyperkapnie können die Folge sein. Für Patienten mit eingeschränkter kardiorespiratorischer Funktion stellt dies unter Umständen eine vital bedrohliche Situation dar.

2.7.2.5 Kardiale Morbidität und Mortalität

Zu den bedeutenden Komplikationen perioperativer Hypothermie zählt ein etwa 30%iger Anstieg der Inzidenz kardialer Ischämien (FRANK et al. 1993). Dies wurde in einer Studie an 100 Patienten nach vaskulärem Eingriff gezeigt. Muskelzittern trat bei hypothermen Patienten ebenso auf wie in der normothermen Kontrollgruppe und hatte keinen Einfluss auf die Inzidenz einer kardialen Ischämie. Da jedoch unter Hypothermie der Noradrenalin Spiegel aufgrund einer gesteigerten sympathischen Aktivität erhöht ist, wird der erhöhte Katecholaminspiegel als Ursache der kardiovaskulären Nebenwirkungen vermutet.

In einer weiteren Untersuchung fanden FRANK et al. (1995a) heraus, dass unter Hypothermie der periphere Gefäßwiderstand, der Noradrenalin Spiegel und der arterielle Blutdruck gegenüber der normothermen Kontrollgruppe signifikant erhöht waren. Diese Ergebnisse

wurden als wichtige Faktoren für die erhöhte Inzidenz von Myokardischämien unter Hypothermie gesehen. Da Myokardinfarkte die Hauptursache perioperativer Mortalität darstellen, sollte die Bedeutung dieser Untersuchungen nicht unterschätzt werden.

2.8 Prävention und Therapie perioperativer Hypothermie

Durch die Anwendung wärmeerhaltender Maßnahmen ist eine perioperative Auskühlung des Patienten vermeidbar. Neben der Minimierung relevanter Komplikationen unter Hypothermie spielt auch die Prävention postoperativen Zitterns und Frierens in Hinblick auf den Patientenkomfort eine entscheidende Rolle.

Mit der Vorwärmung des noch wachen Patienten sollte frühzeitig begonnen werden. Es ist sinnvoll, den Zeitraum zu limitieren, in dem der Patient auskühlen kann: Ein minimiertes Zeitintervall zwischen Narkoseeinleitung und Operationsbeginn sowie eine kurze Operationsdauer sind aus diesem Grunde anzustreben. Eine Vorwärmung des Patienten vor Einleitung der Anästhesie kann ferner die Folgen der initialen Wärmeumverteilung reduzieren. Auch nach Narkoseausleitung können wärmeconservierende Maßnahmen fortgeführt und gegebenenfalls auftretendes postoperatives Kältezittern medikamentös behandelt werden. Zur Prophylaxe und Therapie perioperativer Hypothermie stehen derzeit verschiedene Möglichkeiten von unterschiedlicher Effektivität zur Verfügung.

2.8.1 Erhöhung der Umgebungstemperatur

Das Raumklima nimmt bezüglich des Auftretens perioperativer Hypothermie eine zentrale Stellung ein. Insbesondere Säuglinge und Kleinkinder sind aufgrund ihrer relativ großen Körperoberfläche durch eine Auskühlung gefährdet. Eine beliebige Erhöhung der Raumtemperatur ist jedoch nicht möglich, da ein Arbeitsklima von über 24°C über einen längeren Zeitraum für die Operateure schwer tolerierbar ist.

2.8.2 Isolierung der Körperoberfläche

Das Abdecken des Patienten, beispielsweise mit Baumwolltüchern, stellt eine einfache Möglichkeit dar, perioperative Wärmeverluste zu reduzieren. SESSLER und SCHROEDER (1993) fanden an Probanden unter solch einer Abdeckung einen um 35% reduzierten Wärmeverlust. Damit konnte eine Auskühlung zwar nicht vermieden, aber der Wärmeverlust deutlich herabgesetzt werden.

Ähnliche Ergebnisse konnten auch in Untersuchungen mit Abdeckungen aus anderen Materialien gefunden werden.

BUGGY und HUGHES (1994) registrierten ein vermindertes Auftreten postoperativen *Shiverings* bei Patienten, die intraoperativ mit einer Aluminiumfolie zugedeckt waren.

In einer Studie von BOURKE et al. (1984) wurden Patienten mit reflektierenden Folien bedeckt. Sie zeigten, dass ein Großteil der Körperoberfläche (>60%) bedeckt sein muss, damit eine effektive Wirkung über einen längeren Zeitraum hinweg erzielt werden kann.

Den Wärmeverlust unter verschiedenen Isolationsmaterialien verglichen SESSLER et al. (1991). Dabei fanden sie heraus, dass für eine erfolgreiche Wärmekonservierung nicht das Material, sondern primär die Größe der abgedeckten Körperoberfläche bedeutend war.

2.8.3 Konvektive Wärmeverfahren

Als eine vielfach verwendete, benutzerfreundliche Methode der aktiven Wärmetherapie hat sich der Einsatz konvektiver Luftwärmesysteme erwiesen. Hierbei ist ein temperaturregulierbares Gebläse an eine auf dem Patienten liegende Decke angeschlossen. Das Gebläse leitet warme Luft in die gekammerte Decke, wo sie durch Perforationen an der dem Patienten zugewandten Seite austritt. Die verschiedenen Systeme unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Heizleistung, der Luftgeschwindigkeit und der Beschaffenheit der Wärmedecken.

Gegenüber anderen Wärmemethoden scheint das konvektive Verfahren bislang leistungsfähiger zu sein. Besonders im Vergleich aktiver gegenüber passiven Maßnahmen zur Patientenwärmung stellt sich eine Überlegenheit aktiver Patientenwärmung hinsichtlich der Effektivität heraus.

BENNETT et al. (1994) verglichen verschiedene Wärmeverfahren an Patienten während einer Hüftoperation. In dieser Untersuchung war das konvektive Wärmeverfahren zur Aufrechterhaltung einer perioperativen Normothermie effektiver als fehlende bzw. passive Maßnahmen in Form von Isolierung durch ein metallbeschichtetes Tuch.

Im Anschluss an eine koronare Bypass-Operation wurden Patienten entweder mit einem konvektiven Luftwärmesystem oder durch aluminiumbeschichtete Decken gewärmt (HARRISON und PONTE (1996)). Unter dem aktiven Wärmeverfahren war ein beschleunigter Wiederanstieg der Körperkerntemperatur auf normotherme Werte festzustellen (0,95°C/h versus 0,40°C/h).

2.8.4 Konduktive Wärmeverfahren

Unter den konduktiven Wärmeverfahren hat sich der Einsatz von Wärmematten, die unter den Rücken des Patienten gelegt werden, etabliert. Diese Matten werden elektrisch geheizt oder von warmem Wasser durchflossen. Einige der Matten besitzen eine Gelaufage, welche die Wärmeübertragung verbessern und das Entstehen von Druckstellen vermeiden soll.

Auf diese Weise verwendete Heizmatten wärmen wenig effektiv (FRITZ und WEYLAND (1997)), da nur ein geringer Anteil der Körperoberfläche des Patienten mit der wärmenden Unterlage in Kontakt steht. Zudem wird die Rückenpartie in dieser Lagerung vermindert durchblutet, da ein Großteil des Körpergewichtes auf dem Rücken lastet und die Hautgefäße komprimiert, wodurch der innere Wärmetransport verschlechtert wird. Ein Nachteil der elektrischen Heizmatten ist das Risiko möglicher Verbrennungen, hervorgerufen einerseits durch Überhitzung der Matte und andererseits durch die verminderte Perfusion der Körperauflagefläche.

Eine Positionierung der Heizmatten auf dem Patienten kann die Effektivität dieses Wärmeverfahrens verbessern. In einer Studie von CAMUS et al. (1993) wurde gezeigt, dass das Auftreten perioperativer Hypothermie durch konduktive Wärmung der Beine des Patienten während abdomineller Eingriffe verhindert werden kann.

SANFORD (1997) verglich ein konduktives mit einem konvektiven Wärmeverfahren an Patienten mittels Ganzkörperabdeckung nach kardiochirurgischen Operationen. In dieser Untersuchung war die konduktive Wärmematte dem konvektiven Wärmesystem hinsichtlich der Wiedererwärmung bis zur Normothermie überlegen. Jedoch wurde der konvektive Luftwärmer nicht auf höchster Leistungsstufe betrieben.

In anderen klinischen Studien wird dagegen eine Überlegenheit konvektiver gegenüber konduktiver Wärmeverfahren beschrieben. KURZ et al. (1993) verglichen an Kindern sowie Erwachsenen intraoperativ ein konvektives mit einem konduktiven Wärmesystem, wobei das konvektive Verfahren effektiver war.

2.8.5 Radiative Wärmeverfahren

Die Verwendung von Wärmestrahlern stellt eine alternative Möglichkeit zur Prophylaxe und Therapie perioperativer Hypothermie dar. Hierbei wird die radiative Wärmequelle mit speziellen Montagevorrichtungen über dem Patienten montiert. Bei der Anwendung dieses Verfahrens ist ein vorgegebener Abstand zwischen Gerät und der Körperoberfläche des

Patienten einzuhalten. Eine optimale Wärmeübertragung wird erreicht, wenn die Strahlung senkrecht auf den Patienten trifft. Für den intraoperativen Einsatz ist zusätzlich die Wärmebelastung des Operationspersonals zu berücksichtigen.

ENGLISH et al. (1996) untersuchten, welchen Einfluss der Abstand eines Wärmestrahlers zum Patienten auf die Wärmeübertragung hat. Mit einem 1500 Watt starken Infrarotstrahler wurden durch Ganzkörperbestrahlung von Patienten während der postoperativen Phase bei einem Strahlerabstand zur Körperoberfläche von 30 cm Wärmeübertragungsraten von 150 W/m² gemessen. Bei einem Abstand von 60 cm reduzierten sich diese auf nur noch 135 W/m².

In einer Studie von SESSLER und MOAYERI (1990) wurde die Effektivität radiativer Wärmestrahler zur Wiedererwärmung hypothermer Probanden mit der von Wärmematten und konvektiven Luftwärmern verglichen. Die Autoren zeigten, dass die Wärmeübertragung der verschiedenen Verfahren durch die zugängliche Körperoberfläche beeinflusst wird. Unter der radiativen Wärmung wurde oft kein idealer Einstrahlwinkel auf die Körperoberfläche erreicht und demzufolge lediglich eine geringe Wärmeübertragung erzielt. Bei der konduktiven Wärmung führte die vergleichsweise geringe Auflagefläche der Patienten ebenfalls zu einer unzureichenden Wärmeübertragung.

Da die wärmende Gebläseluft einen Großteil der Körperoberfläche erreichte, erwies sich in dieser Studie die konvektive Wärmung als das effektivste Verfahren.

2.8.6 Vorwärmung von Infusionen

Der Einsatz kalter oder wenig gewärmter Transfusions- und Infusionslösungen spielt eine nicht unwichtige Rolle bei der Entstehung perioperativer Hypothermie. Die Infusion warmer Lösungen ist insbesondere bei langen Operationen mit Öffnung der Körperhöhlen und größerem Blutverlust von Bedeutung, da hier ein erhöhter Infusionsbedarf besteht und die Gabe kalter Lösungen zu erheblichen Temperaturverlusten führt.

Infusionen und Blutprodukte können in Warmwasserbädern, Warmluftschränken oder in einer Mikrowelle vorgewärmt werden. Jedoch führt die Verwendung vorgewärmter Infusionen vor allem bei geringen Flussraten zu einem Temperaturverlust über das unisolierte Infusionssystem. Verhindert man eine Auskühlung der Flüssigkeit über eine Isolierung des Infusionssystems, so ist das Verfahren der Vorwärmung (39°C) bis zu Flussraten von 80 ml/h effektiv einsetzbar (SCHMIDT und MÖRER (1998)).

Eine weitere Möglichkeit der Infusionswärmung bietet die Verwendung sogenannter In-Line-Wärmer. Diese Geräte arbeiten mit einem wasserbetriebenen Gegenstromprinzip oder mittels

Kontakterwärmung durch Heizelemente. Die Effektivität der Systeme ist auch hier von der Länge des unisolierten Infusionssystems und der Flussrate abhängig.

Eine Infusionswärmung wird umso bedeutender, je größer das Infusionsvolumen ist. Zwar ist bei initial normothermen Patienten das Vermeiden einer perioperativen Auskühlung allein durch den Einsatz von Infusionswärmern nicht möglich, aber in Kombination mit Patientenisolierung und aktiver Wärmung des Patienten ergibt sich ein additiver Effekt.

Zu diesem Ergebnis kamen auch SMITH et al. (1998) nach einer Studie an Patientinnen während gynäkologischer Operationen. Neben wärmeisolierenden Standardmaßnahmen erhielt eine Patientengruppe ausschließlich auf Körpertemperatur erwärmte Infusionen, die Kontrollgruppe Infusionen mit Raumtemperatur. Die Körperkerntemperatur am Operationsende war bei Patientinnen, die warme Infusionen erhielten, signifikant höher als in der Kontrollgruppe.

2.8.7 Atemgaskonditionierung

Perioperative Wärmeverluste über das Beatmungssystem können durch eine angemessene Erwärmung und Befeuchtung der Atemgase bei intubierten Patienten größtenteils reduziert werden. Ebenso minimieren atemgasklimatisierende Maßnahmen Epithelschädigungen durch kalte und trockene Atemgase (CHALON et al. 1972).

Zur Atemgaskonditionierung stehen zwei unterschiedliche Möglichkeiten zur Verfügung.

Wärme- und Feuchtigkeitsaustauscher (*heat and moisture exchanger, HME*) werden tubusnah platziert. Sie geben die expiratorisch gespeicherte Wärme und Feuchtigkeit an die Inspirationsluft ab. Dabei wird die Atemluft des Patienten auf Temperaturen von 25-30°C und einer Luftfeuchtigkeit von 50-70% konstant gehalten. Zusätzlich dient der HME als Bakterienfilter.

Aktive Befeuchtungssysteme (*heated humidifier, HH*) bieten intraoperativ während der Allgemeinanästhesie gegenüber den HME keine entscheidenden Vorteile und finden ihre Anwendung hauptsächlich in der Intensivbeatmung und in der Neonatologie. Die Atemluft des Patienten kann auf Temperaturen von 37-40°C und eine Luftfeuchtigkeit von 100% konditioniert werden.

Insgesamt betrachtet ist der Wärmeverlust durch Beatmung mit kalten und trockenen Atemgasen gegenüber perioperativen Wärmeverlusten durch Konvektion, Konduktion, Radiation und Evaporation vernachlässigbar gering. Eine Wiedererwärmung hypothermer Patienten sowie die effektive Reduktion perioperativer Wärmeverluste sind allein durch Atemgaskonditionierung nicht möglich (RATHGEBER et al. 1996).

2.8.8 Pharmakologische Therapie des Kältezitterns

Zur medikamentösen Therapie postoperativen Kältezitterns stehen keine spezifischen Pharmaka zur Verfügung. Erfolgreich verwendet werden derzeit vor allem Opioide wie Pethidin, dessen Wirkung durch seine Affinität an κ -Rezeptoren erklärt wird. Als kombinierter μ - und κ -Rezeptor-Agonist unterdrückt es postoperatives *Shivering* bei äquivalenter Dosierung effektiver als reine μ -Rezeptor-Agonisten. Es wirkt über eine Senkung des Schwellenwertes der Körperkerntemperatur für Kältezittern und Vasokonstriktion um jeweils 2°C (IKEDA et al. 1998).

Ebenso werden α_2 -Rezeptor-Agonisten wie beispielsweise Clonidin eingesetzt. Durch prophylaktische Injektion von 1,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Clonidin am Ende einer Allgemeinanästhesie kann postoperatives Kältezittern verhindert werden (HORN 2002).

Auch cholinerg wirksame Pharmaka können zur Prophylaxe postoperativen Kältezitterns angewendet werden. In einer klinischen Studie von HORN et al. (1998) erwies sich das indirekte Parasympathomimetikum Physostigmin in der Prophylaxe postoperativen Kältezitterns als ebenso effektiv wie Pethidin und Clonidin.

3 Material und Methoden

3.1 Patientendaten

Die Studie wurde nach Genehmigung durch die Ethikkommission der Universität Göttingen an 24 Patienten durchgeführt (Antragsnummer 11/10/03).

3.1.1 Auswahlkriterien

In die Studie eingeschlossen wurden volljährige Patienten zur radikalen Prostatektomie der Risikogruppe ASA I – III, deren Körpergewicht von – 10 bis + 30% des Normalgewichtes nach Broca variierte. Als Ausschlußkriterien galten folgende Vorerkrankungen:

- Hypothyreose
- Hyperthyreose
- Raynaud-Syndrom
- Periphere Arterielle Verschlusskrankheit
- Ösophagusvarizen.

3.1.2 Gruppeneinteilung

Die Patienten wurden am Vortag der Operation über den Ablauf sowie mögliche Risiken der Untersuchung aufgeklärt und erteilten schriftlich ihr Einverständnis zur Teilnahme. Die Einteilung in zwei Studiengruppen (Tab. (3-1)) erfolgte randomisiert per Los. Jede Gruppe setzte sich aus 12 Patienten zusammen.

Versuchsgruppe	Wärmesystem
1. Konvektive Wärmung	Warm-Touch®
2. Konduktive Wärmung	Barkey paddytherm®

Tab. 3-1 Gruppeneinteilung

3.2 Rahmenbedingungen der Untersuchung

Die Durchführung der Untersuchung erfolgte unter standardisierten Bedingungen hinsichtlich Umgebungstemperatur, Anästhesie, Beatmung, Vorwärmung, Wärmung von Infusions- und Transfusionslösungen.

3.2.1 Umgebungstemperatur

Die Raumtemperatur im Einleitungsraum und im Operationssaal betrug 22 bis 24°C.

3.2.2 Anästhesie

- **Prämedikation**

Die Patienten erhielten als Prämedikation eine Stunde vor Anästhesiebeginn 2,5 mg Lorazepam und 100 mg Diclofenac retard per os.

- **Durchführung der Narkose**

Die Narkoseeinleitung erfolgte intravenös mit Fentanyl und Propofol. Nach Relaxierung mit Rocuronium wurden die Patienten intubiert. Aufrechterhalten wurde die Narkose durch eine intravenöse Dauerinfusion von Propofol (4,5-5,5 mg/kg/h) sowie durch bedarfsgerechte intermittierende Gaben von Fentanyl und Rocuronium. Die Dosierung aller Medikamente erfolgte körpergewichtbezogen.

3.2.3 Beatmung

Während der Operation waren die Patienten im IPPV-Modus (*Intermittend Positive Pressure Ventilation*) mit einem PEEP (*Positive Endexpiratory Pressure*) von 5 mbar beatmet.

Das Atemgasgemisch setzte sich aus 40% Sauerstoff und 60% Lachgas zusammen. Die Einstellung des Atemminutenvolumens erfolgte anhand des endtidalen pCO₂ (Zielwert zwischen 30 und 40 mmHg).

3.2.4 Vorwärmung

Nach dem Umlagern auf den Operationstisch wurden die Patienten beider Gruppen bis zur Ankunft im Operationssaal mit einem auf 37°C vorgeheizten Frotteetuch zugedeckt.

Direkt nach der Narkoseeinleitung wurden die Patienten in den Operationssaal gefahren, dort begann die aktive Wärmung mit einem der beiden zu untersuchenden Wärmesysteme.

3.2.5 Wärmung der Infusions-/Transfusionslösungen

Es wurden ausschließlich vorgewärmte Infusions-/und Transfusionslösungen mit einer Temperatur von 37°C verwendet. Während der Operation wurden sie über einen Infusionswärmer der Firma Barkey GmbH & Co. KG, Bielefeld, Deutschland infundiert.

Der Infusionswärmer Barkey autoline® besteht im Wesentlichen aus einem Silikonmantel mit integrierter elektrischer Heizung, der um die Infusionsleitung gelegt wird. Über das Steuergerät Barkey autocontrol® kann die Temperatur des Wärmemantels geregelt werden. In dieser Studie war sie durchgehend auf 37°C eingestellt, was laut Herstellerangaben eine konstante Temperatur von $37\text{C} \pm 1,5^\circ\text{C}$ gewährleistet.

3.2.6 Getestete Wärmesysteme

Ein konvektives Luftwärmesystem, bestehend aus einem Warmluftgebläse mit angeschlossener Wärmedecke und ein über elektrisch gewärmte Silikonplatten konduktiv wirkendes System wurden verglichen.

Die aktive Wärmung begann nach Ankunft des Patienten im Operationssaal und wurde bis zum Operationsende, definiert durch Hautnaht, durchgeführt.

• Gruppe 1 – Konvektive Wärmung

Als konvektives Wärmesystem kam das Modell Warm-Touch® 5800 (Firma Mallinckrodt Medical, Hennef/Sieg, Deutschland) bei höchster Einstellung (42 – 46°C) zum Einsatz.

Die Gebläseluft wird über einen längenvariablen Schlauch in die Luftkammern der auf dem Patienten liegenden Decke übertragen. Diese bedeckt beide Arme und den Thorax des Patienten.

Die Warmluft kann über die gesamte Fläche an der Unterseite der Decke austreten und so den Patienten umgeben.

In dieser Untersuchung wurde die Oberkörperdecke ZebaMed® (Firma Bardusch AG, Basel, Schweiz) verwendet.

Zusätzlich waren die Beine des Patienten mit einer Barkey thermcare1®-Decke (Firma Barkey GmbH & Co. KG, Bielefeld, Deutschland) bedeckt. Diese besteht aus drei Schichten: einer Oberseite aus Baumwolle, einer isolierenden Polyester-Zwischenlage mit Polyurethan-Beschichtung und einer Frotteeseite, die dem Körper zugewendet ist.

- **Gruppe 2 – Konduktive Wärmung**

Zur konduktiven Wärmung wurde das Barkey paddytherm®-System (Firma Barkey GmbH & Co. KG, Bielefeld, Deutschland) verwandt.

Zentrale Regeleinheit dieses Systems ist das Steuergerät Barkey autocontrol®. Es steuert die Erwärmung von zwei angeschlossenen Barkey paddytherm L®-Wärmegegeräten auf eine manuell einstellbare Temperatur.

Die Barkey paddytherm L®-Wärmeplatten bestehen aus weichem Silikonmaterial mit integrierter elektrischer Heizung. Es wurden jeweils zwei auf dem Oberkörper und auf den Oberschenkeln des Patienten platziert und bei maximaler Einstellung (40°C) eingesetzt. Die Kontaktfläche zur Haut betrug zusammen 1728 cm².

Zusätzlich waren beide Arme und der Thorax, sowie die Beine des Patienten mit einer Barkey thermcare1®-Decke bedeckt.

3.2.7 Messung der Körpertemperaturen

Die Messung der Körpertemperatur erfolgte ösophageal und nasopharyngeal. Die Temperatursonden wurden direkt nach Narkoseeinleitung eingelegt.

- **Körperkerntemperatur**

Zur Ermittlung der Körperkerntemperatur wurde eine Ösophagussonde verwendet. Sie wurde im mittleren Ösophagusdrittel platziert.

- **Nasopharyngeale Temperatur**

Die Registrierung der nasopharyngealen Temperatur erfolgte über eine nasal eingeführte Messsonde.

3.3 Datenerfassung

Von Beginn der Narkoseeinleitung bis zum Ende des anschließenden Aufenthaltes des Patienten im Aufwachraum wurden verschiedene Messdaten erfasst und in 10-minütigem Abstand dokumentiert.

3.3.1 Körpertemperatur

Die erste Temperaturmessung erfolgte nach Narkoseeinleitung. Die Dokumentation wurde bis zum Operationsende kontinuierlich in Intervallen von 10 Minuten durchgeführt.

3.3.2 Hämodynamische Parameter

Bei allen Patienten wurden Herzfrequenz und der Blutdruck nach Riva Rocci gemessen. Die Dokumentation der Werte begann nach Ankunft des Patienten im Einleitungsraum und endete mit Narkoseausleitung.

3.3.3 Beatmungsparameter

Die Sauerstoffsättigung und endexpiratorisch gemessenes CO₂ wurden kontinuierlich während der maschinellen Beatmung aufgezeichnet.

3.3.4 Laborchemische Parameter

Hämoglobin- und Hämatokritwert wurden vor Narkoseeinleitung und Infusionsbeginn sowie am Operationsende bestimmt.

3.3.5 Subjektive Parameter

Im Aufwachraum wurden die Patienten sowie das betreuende anästhesiologische Pflegepersonal über Auftreten und Intensität postoperativen Frierens und Kältezitterns befragt. Anhand einer Visuellen Analog-Skala wurden diese Angaben dokumentiert.

3.3.6 Begleitparameter

Im Verlauf jeder Messung wurden folgende Parameter erfasst und dokumentiert:

- Patientendaten (Alter, Größe, Gewicht, ASA-Klassifikation)
- Gruppenzuteilung
- Art und Menge von Infusionen und Transfusionen
- Flüssigkeitsverluste: Urinausscheidung, Blutverlust
- Raumtemperatur im Operationsaal
- Art und Dosierung der Medikamentengabe im Aufwachraum
- Zeiten: Ankunft im Einleitungsraum, Anästhesiebeginn, Ankunft im Operationsaal, Beginn der Wärmung, Operationsbeginn/-ende, Anästhesieende, Ende der Wärmung, Ankunft im Aufwachraum.

3.4 Datenauswertung und Statistik

Es erfolgte zunächst eine deskriptive Auswertung der erhobenen Studiendaten. Hierfür wurden alle gemessenen Daten eines einzelnen Patienten über den gesamten Zeitraum von Beginn der Narkoseeinleitung bis zum Ende des anschließenden Aufenthaltes im Aufwachraum analysiert. Für den Gruppenvergleich wurden Messdaten zu definierten Zeitpunkten im Abstand von je 30 Minuten berücksichtigt.

Die Ergebnisse wurden in vorgefertigten Erfassungsprotokollen dokumentiert und anschließend tabellarisch sowie graphisch zusammengefasst.

Der Temperaturverlauf vom Operationsbeginn bis zum Operationsende wurde zwischen den beiden Gruppen mittels einer 2-faktoriellen Varianzanalyse für Messwiederholungen geprüft.

Auf der Basis bisheriger Publikationen zum intraoperativen Temperaturverlauf unter wärmeconservierenden Maßnahmen ist von einer Standardabweichung der Körpertemperatur zum Operationsende von 0,4°C auszugehen. Um einen klinisch relevanten Temperaturunterschied zwischen den Gruppen von 0,5°C bei einem Fehler erster Art in Höhe von 5% und einer Power von 0,80 zu detektieren, ist unter Verwendung 2-seitiger Testverfahren eine Fallzahl von 11 Patienten pro Gruppe notwendig. Eine Stichprobe von insgesamt 24 Patienten wurde daher als ausreichend angesehen.

Die statistische Auswertung der Temperaturmessungen erfolgte gemäß dem von BLAND und ALTMAN beschriebenen Verfahren zur Prüfung der Übereinstimmung

unterschiedlicher Messmethoden (*measurement of agreement*) (BLAND und ALTMAN (1986)).

Andere präoperativ erhobene sowie perioperative gemessene Parameter wurden mit einem t-Test für ungepaarte Stichproben ausgewertet.

4 Ergebnisse

4.1 Demographische Daten

Alle in die Studie eingeschlossenen Patienten konnten dem Studienprotokoll entsprechend behandelt und ausgewertet werden.

Die beiden Patientengruppen unterschieden sich nicht signifikant in ihrem Alter, ihrem Körpergewicht und der ASA-Klassifikation. Die Daten sind in Tabelle (4-1) dargestellt.

	Gruppe 1	Gruppe 2
Anzahl	12	12
Alter [Jahre]	64 (58↔74)	64 (54↔73)
Gewicht [kg]	87 (70↔112)	90 (73↔106)
ASA-Klassifikation	2 (2↔3)	2 (1↔3)

Tab. 4-1 Demographische Patientendaten (Mittelwert (Min↔Max))

4.2 Messparameter

4.2.1 Behandlungszeiträume

Die beiden Patientengruppen wiesen hinsichtlich der verschiedenen Behandlungszeiträume keinen Unterschied auf. Eine Übersicht der Zeiten ist in Tabelle (4-2) aufgeführt.

	Gruppe 1	Gruppe 2
Ankunft d. Patienten – Beginn der Wärmung [min]	20 (12↔32)	23 (16↔34)
Anästhesiebeginn – Beginn der Wärmung [min]	14 (10↔21)	17 (11↔24)
Dauer der Patientenbetreuung [min]	200 (155↔261)	201 (150↔302)
Dauer der Patientenwärmung [min]	170 (135↔232)	170 (115↔270)
Dauer der Anästhesie [min]	185 (145↔246)	189 (139↔285)
Dauer der Operation [min]	133 (100↔176)	141 (95↔235)

Tab. 4-2 Behandlungszeiträume (Mittelwert (Min↔Max))

4.2.2 Körpertemperaturen

4.2.2.1 Überblick über die ösophageal gemessenen Körperkerntemperaturen

In Tabelle (4-3) sind die ösophageal gemessenen Körperkerntemperaturen nach Intubation ($T_{0\delta}$), sowie in 30-minütigem Abstand bis zum Operationsende ($T_{\text{Ende}\delta}$) für die beiden Patientengruppen aufgeführt. Der Anteil der Patienten, die am Untersuchungsende hypotherm waren, ist angegeben. Als hypotherm wurden Patienten mit einem Abfall der Körperkerntemperatur unter 36°C bezeichnet.

	Gruppe 1	Gruppe 2
T 0 _ö [°C]	36,5 (35,9↔37,0)	36,3 (35,4↔37,0)
T 30 _ö [°C]	36,3 (35,9↔36,8)	36,1 (35,2↔36,6)
T 60 _ö [°C]	36,4 (35,8↔36,9)	36,0 (35,2↔36,5)
T 90 _ö [°C]	36,5 (35,8↔36,9)	35,9 (35,2↔36,3)
T Ende _ö [°C]	36,7 (36,0↔37,1)	35,7 (35,0↔36,3)
Anteil hypothermer Patienten [%]	0	75

Tab. 4-3 Verlauf der ösophagealen Temperatur (Mittelwert (Min↔Max))

Die zeitliche Änderung der ösophageal gemessenen Körpertemperaturen ist in Abbildung (4-1) zunächst als Mittelwertdarstellung für die beiden Patientenkollektive dargestellt.

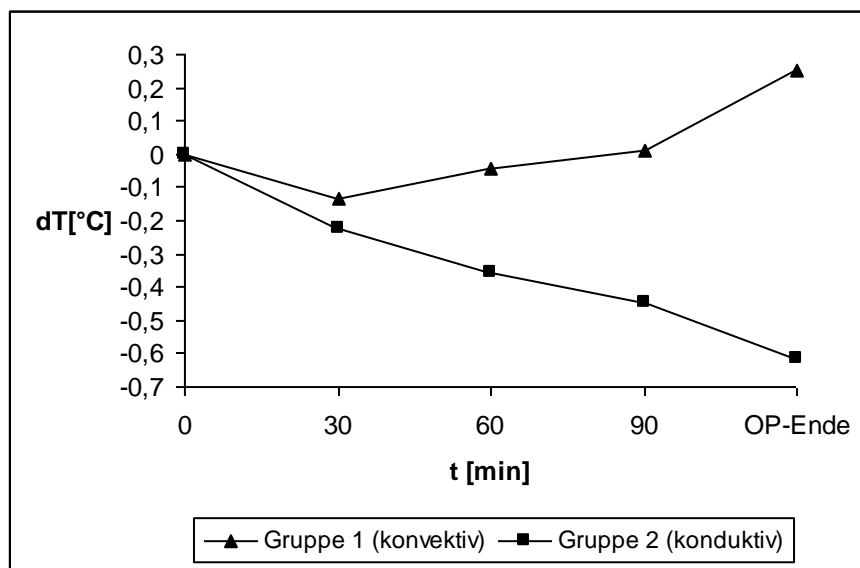


Abb. 4-1 Zeitliche Änderung der Körperkerntemperatur (Mittelwerte)

Hinsichtlich der Ausgangstemperatur bestand kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen.

In Gruppe 1 sank die ösophageal gemessene Körpertemperatur um durchschnittlich $0,13 \pm 0,12^\circ\text{C}$ während der ersten halben Stunde nach Beginn der Patientenwärmung. Im weiteren Verlauf der Operation stieg sie kontinuierlich an und lag am Ende des Messungszeitraumes im Mittel $0,25 \pm 0,29^\circ\text{C}$ über der Ausgangstemperatur.

Im Vergleich dazu fiel die ösophageal gemessene Temperatur in Gruppe 2 während des gesamten Verlaufes kontinuierlich ab und lag am Ende durchschnittlich $0,61 \pm 0,39^\circ\text{C}$ unter der Ausgangstemperatur.

Bezüglich der Körperkerntemperatur am Ende des Untersuchungszeitraumes ließen sich zwischen beiden Patientengruppen signifikante Unterschiede nachweisen. In Gruppe 1 betrug die Kerntemperatur am Messende $36,7^\circ\text{C}$ ($36,0^\circ\text{C} \leftrightarrow 37,1^\circ\text{C}$), in Gruppe 2 lag sie bei $35,7^\circ\text{C}$ ($35,0^\circ\text{C} \leftrightarrow 36,3^\circ\text{C}$).

Der zeitliche Verlauf der Körperkerntemperatur differierte signifikant zwischen den Patientengruppen und ist in Abbildung (4-2) dargestellt.

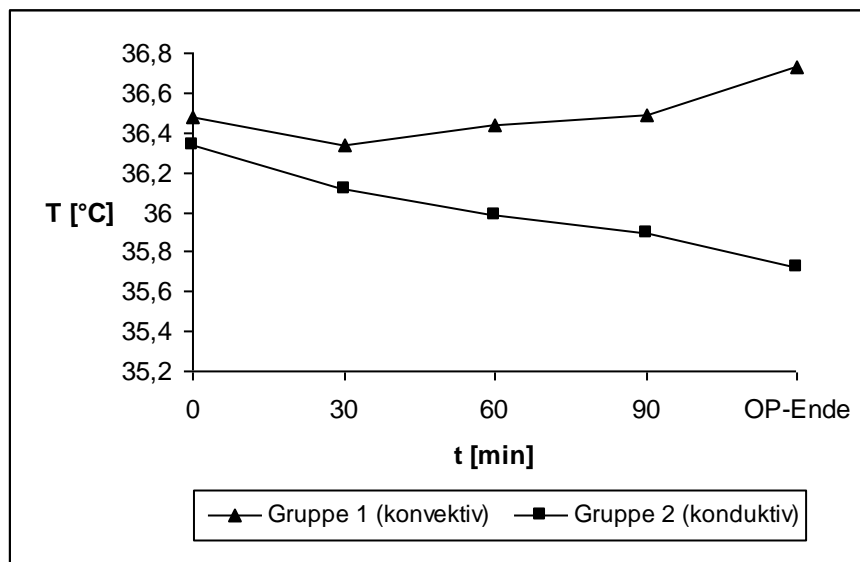


Abb. 4-2 Verlauf der Körperkerntemperatur (Mittelwerte)

4.2.2.2 Überblick über die nasopharyngeal gemessenen Körpertemperaturen

In Tabelle (4-4) sind die nasopharyngeal gemessenen Körpertemperaturen nach Intubation ($T_{0\delta}$), sowie in 30-minütigem Abstand bis zum Operationsende ($T_{\text{Ende}\delta}$) für die beiden Patientengruppen dargestellt. Der Anteil der Patienten, die am Untersuchungsende hypotherm

waren, ist angegeben. Als hypotherm wurden Patienten mit einem Abfall der Körpertemperatur unter 36°C bezeichnet.

	Gruppe 1	Gruppe 2
T_{0_n} [$^{\circ}\text{C}$]	36,4 (35,8↔36,8)	36,3 (35,8↔36,8)
T_{30_n} [$^{\circ}\text{C}$]	36,4 (35,9↔36,8)	36,2 (35,7↔36,7)
T_{60_n} [$^{\circ}\text{C}$]	36,5 (35,8↔37,0)	36,0 (35,7↔36,6)
T_{90_n} [$^{\circ}\text{C}$]	36,5 (35,9↔36,9)	35,9 (35,4↔36,6)
T_{Ende_n} [$^{\circ}\text{C}$]	36,8 (36,0↔37,2)	35,7 (35,2↔36,6)
Anteil hypothermer Patienten [%]	0	75

Tab. 4-4 Verlauf der nasopharyngealen Temperatur (Mittelwert (Min↔Max))

Die zeitliche Änderung der nasopharyngeal gemessenen Körpertemperaturen ist in Abbildung (4-3) zunächst als Mittelwertdarstellung für die beiden Patientenkollektive aufgezeichnet.

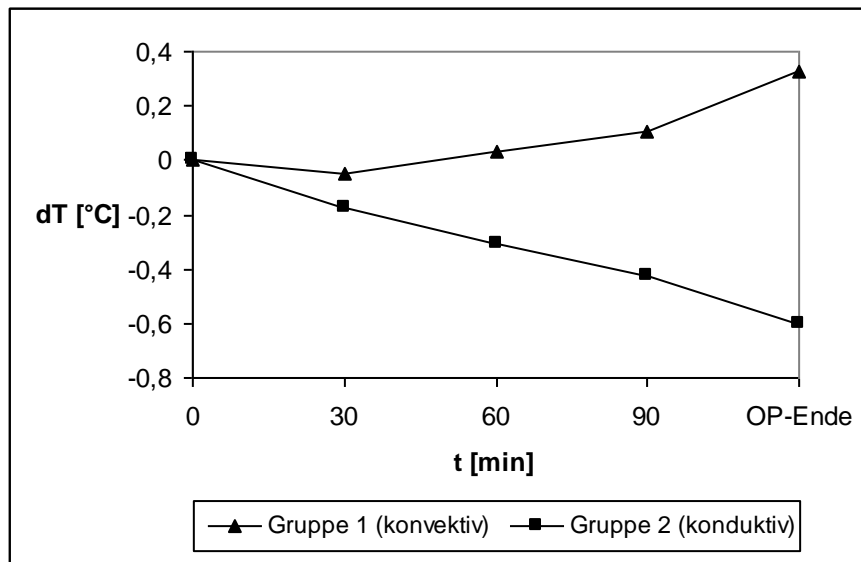


Abb. 4-3 Zeitliche Änderung der nasopharyngealen Temperatur (Mittelwerte)

Hinsichtlich der Ausgangstemperatur bestand kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen.

In Gruppe 1 sank die nasopharyngeal gemessene Körpertemperatur um durchschnittlich $0,13 \pm 0,12^\circ\text{C}$ während der ersten halben Stunde nach Beginn der Patientenwärmung. Im weiteren Verlauf der Operation stieg sie kontinuierlich an und lag am Ende des Messungszeitraumes im Mittel $0,33 \pm 0,25^\circ\text{C}$ über der Ausgangstemperatur.

Im Vergleich dazu fiel die nasopharyngeal gemessene Temperatur in Gruppe 2 während des gesamten Verlaufes kontinuierlich ab und lag am Ende durchschnittlich $0,6 \pm 0,27^\circ\text{C}$ unter der Ausgangstemperatur.

Bezüglich der nasopharyngealen Temperaturen am Ende des Untersuchungszeitraumes ließen sich zwischen beiden Patientengruppen signifikante Unterschiede nachweisen. In Gruppe 1 betrug die Kerntemperatur am Messende $36,8^\circ\text{C}$ ($36,0^\circ\text{C} \leftrightarrow 37,2^\circ\text{C}$), in Gruppe 2 lag sie bei $35,7^\circ\text{C}$ ($35,2^\circ\text{C} \leftrightarrow 36,6^\circ\text{C}$).

Der zeitliche Verlauf der nasopharyngealen Temperaturen differierte signifikant zwischen den Patientengruppen und ist in Abbildung (4-4) dargestellt.

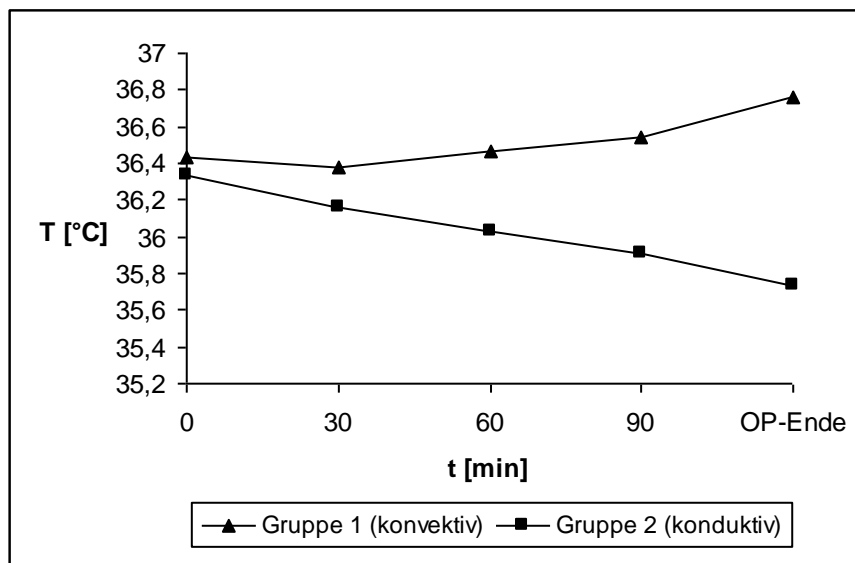


Abb. 4-4 Verlauf der nasopharyngealen Temperaturen
(Mittelwerte)

Die Übereinstimmung der beiden unterschiedlichen Temperaturmessmethoden wurde sowohl für die Gruppe der konvektiv gewärmten Patienten als auch für die Gruppe der konduktiv gewärmten Patienten geprüft.

Der Vergleich der ösophageal und nasopharyngeal gemessenen Temperaturen ist jeweils in einem Bland-Altman-Diagramm dargestellt und zeigt in beiden Gruppen eine Übereinstimmung beider Messverfahren (Abbildungen (4-5) und (4-6)).

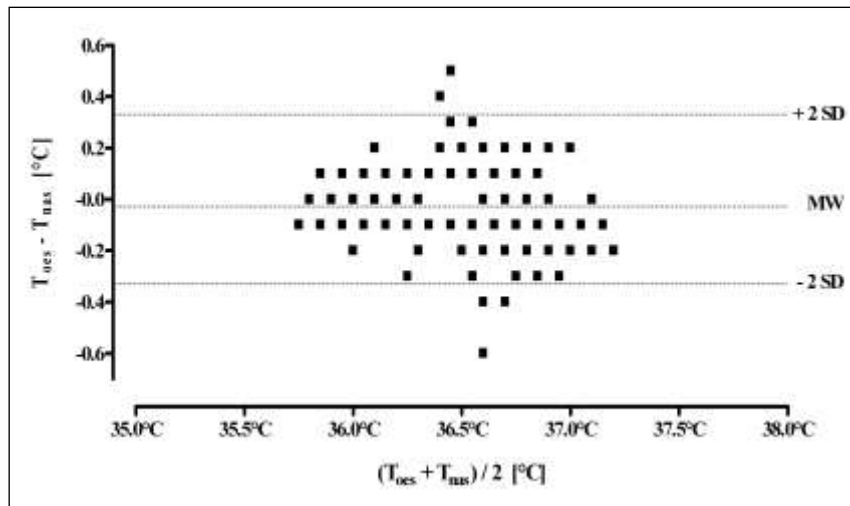


Abb. 4-5 Bland-Altman-Diagramm zum Zusammenhang zwischen ösophagealer und nasaler Temperaturmessung: Gruppe 1 (konvektive Wärmung)

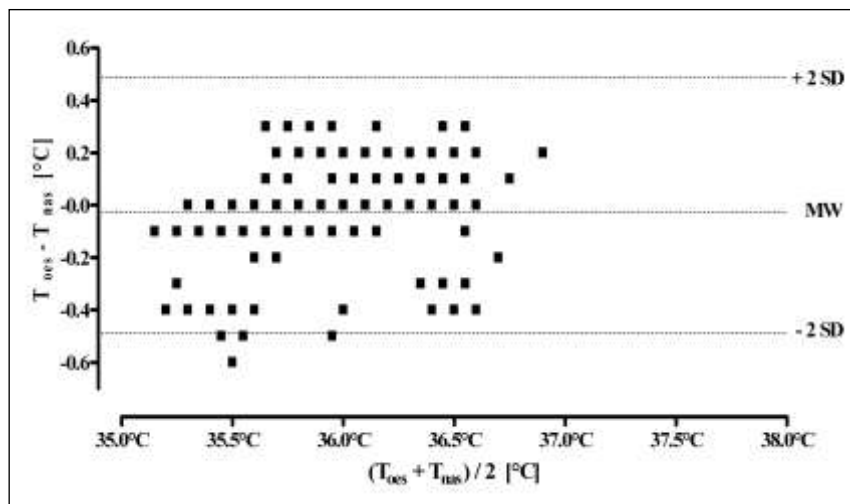


Abb. 4-6 Bland-Altman-Diagramm zum Zusammenhang zwischen ösophagealer und nasaler Temperaturmessung: Gruppe 2 (konduktive Wärmung)

4.2.3 Flüssigkeitshaushalt

Die Menge verabreichter kristalloider sowie kolloidaler Infusionslösungen war in beiden Gruppen vergleichbar hoch und betrug in Gruppe 1 durchschnittlich 3700 ml bzw. 3750 ml in Gruppe 2. Die Gabe von Erythrozytenkonzentraten (EK) erfolgte bei nur einem Patienten der Gruppe 1, diesem Patienten wurden zwei EK transfundiert. Bezüglich des intraoperativen Blutverlustes bestand kein signifikanter Gruppenunterschied.

Die Angaben zum Flüssigkeitshaushalt sind in Tabelle (4-5) dargestellt.

	Gruppe 1	Gruppe 2
Kristalloide Infusionen [ml]	3700 (3000↔5000)	3750 (3000↔5000)
Kolloidale Infusionen [ml]	750 (0↔2000)	1040 (0↔2000)
Transfundierte EK [ml]	0,3 (0↔2)	0 (0↔0)
Blutverlust [ml]	900 (150↔2800)	1000 (400↔2800)

Tab. 4-5 Flüssigkeitshaushalt (Mittelwert (Min↔Max))

4.2.4 Hämodynamische Parameter

Die hämodynamischen Parameter systolischer Blutdruck, diastolischer Blutdruck und Herzfrequenz wiesen keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen auf.

Der zeitliche Verlauf der hämodynamischen Parameter ist in den Abbildungen (4-7) bis (4-9) zu sehen.

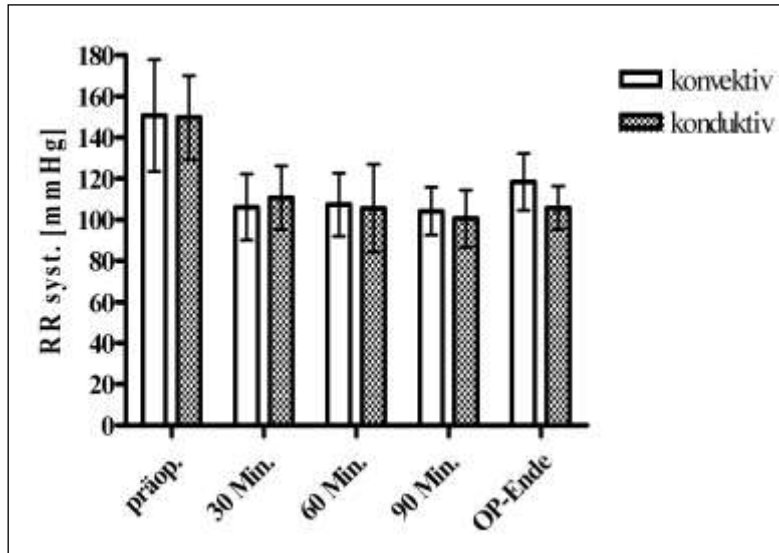


Abb. 4-7 Systolischer Blutdruck (MW±SD)

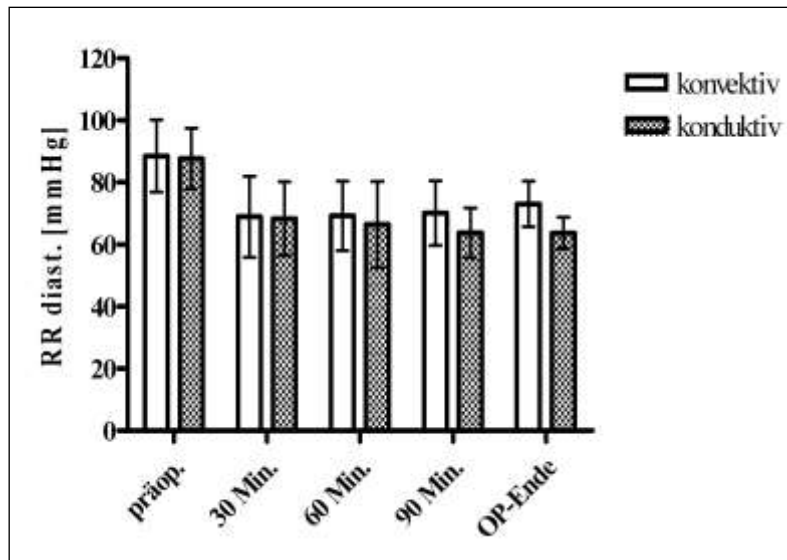


Abb. 4-8 Diastolischer Blutdruck (MW±SD)

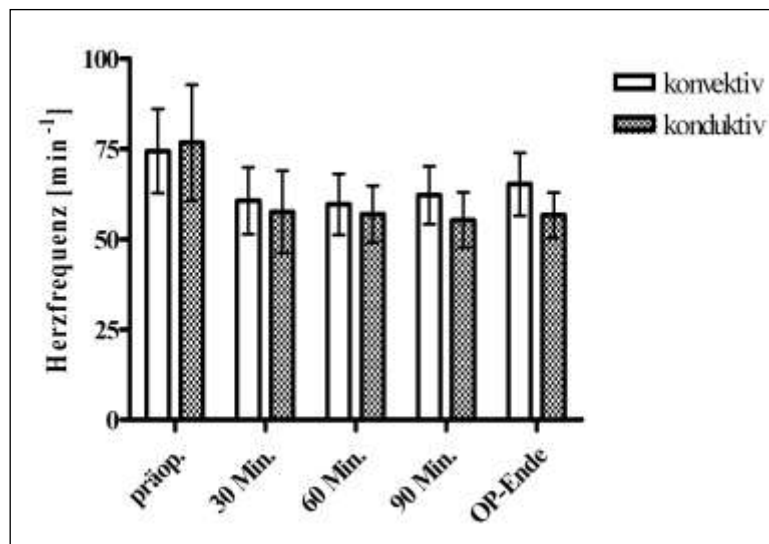


Abb. 4-9 Herzfrequenz (MW±SD)

4.2.5 Beatmungsparameter

Die Beatmungsparameter Sauerstoffsättigung und endexpiratorisch gemessenes CO₂ zeigten während des gesamten Untersuchungszeitraumes keine signifikanten Gruppenunterschiede. Der zeitliche Verlauf der Beatmungsparameter ist in den Abbildungen (4-10) und (4-11) zu sehen.

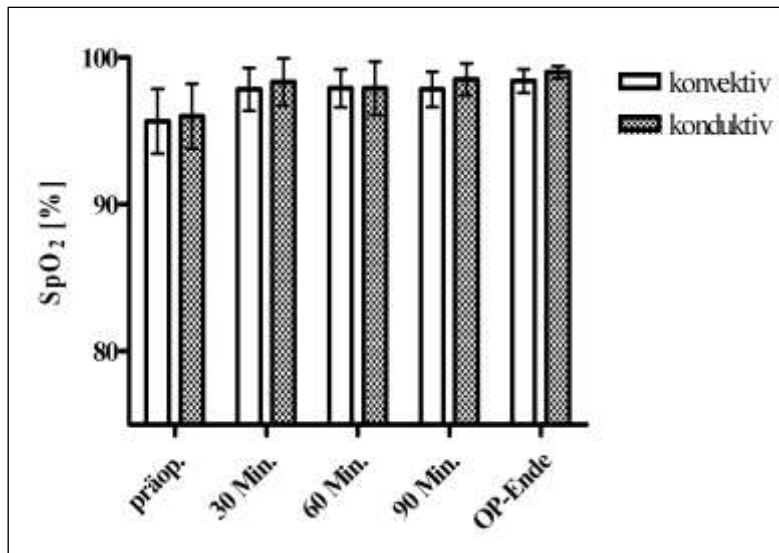


Abb. 4-10 Sauerstoffsättigung (MW±SD)

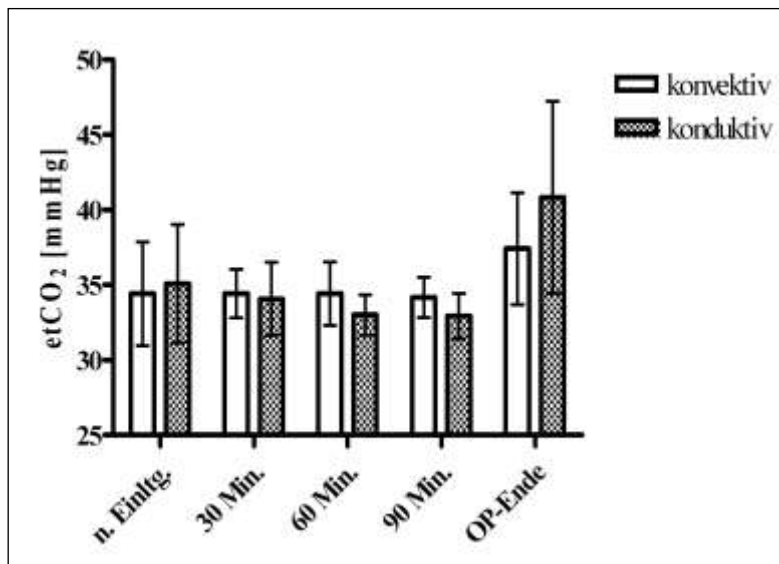


Abb. 4-11 Endexpiratorisches CO₂ (MW±SD)

4.2.6 Laborchemische Parameter

Die präoperativ bestimmten Hämoglobin- und Hämatokritwerte wiesen keinen Gruppenunterschied auf, auch die postoperativen Werte waren in beiden Gruppen ohne signifikanten Unterschied.

Tabelle (4-6) zeigt die gemessenen laborchemischen Parameter.

	Gruppe 1	Gruppe 2
Hb präoperativ [g/dl]	14,2 (12,5↔16,1)	15,1(13,6↔17,2)
Hb postoperativ [g/dl]	10,6 (7,8↔12,5)	10,6 (9,7↔12,6)
HK präoperativ [%]	40,6 (36↔45)	43,4 (39↔49)
HK postoperativ [%]	30,2 (22↔36)	30,3 (25↔35)

Tab. 4-6 Laborchemische Parameter (Mittelwert (Min↔Max))

4.3 Postoperativ erhobene Daten

4.3.1 Postoperatives Frieren und Kältezittern

In der Gruppe der konvektiv gewärmten Patienten war kein Patient am OP-Ende hypotherm, in der Gruppe der konduktiv gewärmten waren es 75% der Patienten.

Postoperatives Frieren trat in beiden Gruppen bei 50% der Patienten auf.

Postoperatives Kältezittern wurde ausschließlich bei den Patienten registriert, die auch postoperatives Frieren angaben. Hier waren in beiden Gruppen jeweils 5 Patienten betroffen.

Eine Übersicht der Inzidenz postoperativen Frierens und Kältezitterns ist in Tabelle (4-7) dargestellt.

	Gruppe 1	Gruppe 2
Hypotherme Patienten [%]	0	75
Inzidenz postop. Frierens [Patientenzahl]	6	6
Inzidenz postop. Kältezitterns [Patientenzahl]	5	5

Tab. 4-7 Postoperatives Frieren und Kältezittern

4.3.2 Postoperative Analgesie

Zur postoperativen Analgesie erhielten in Gruppe 1 zwei Patienten Piritramid, drei Patienten Butylscopolaminiumbromid und Metamizol. In Gruppe 2 bekamen jeweils drei Patienten Piritramid bzw. Butylscopolaminiumbromid in Kombination mit Metamizol verabreicht. Weitere Medikamente wurden während des Aufenthaltes im Aufwachraum nicht appliziert. Es bestand kein Zusammenhang zwischen aufgetretener postoperativer Hypothermie und erhöhtem Bedarf an Analgetika.

Daten zur postoperativen Medikamentengabe sind in Tabelle (4-8) aufgeführt.

verabreichte Medikamente	Gruppe 1 [Patientenzahl]	Gruppe 2 [Patientenzahl]
Piritramid	2	3
Butylscopolaminiumbromid + Metamizol	3	3
keine	7	6

Tab. 4-8 Postoperative Analgesie

5 Diskussion

5.1 Diskussion der Methoden

5.1.1 Patientenauswahl

Für die vorliegende Untersuchung wurden ausschließlich Patienten ausgewählt, die sich einer offenen radikalen Prostatektomie unterziehen mussten. Das geschah aus unterschiedlichen Gründen. Zum einen bestand bei diesen Patienten aufgrund der zu erwartenden Operationsdauer und der damit verbundenen Auskühlung die Indikation zum Einsatz eines aktiven Wärmeverfahrens. Andererseits war aufgrund der Homogenität des Patientenkollektivs von vergleichbaren Voraussetzungen, wie der Größe des Operationsgebietes und der Patientenlagerung, auszugehen.

Um eine Beeinflussung der Studienergebnisse durch pathologische Veränderung der körpereigenen Thermoregulation möglichst gering zu halten, wurden Patienten mit relevanten kardiovaskulären und hormonellen Vorerkrankungen von der Studie ausgeschlossen. Als weiteres Ausschlusskriterium galt daher auch ein Körpergewicht, das mehr als - 10% bzw. + 30% vom Normgewicht nach Broca abwich. Das Vorliegen von Ösophagusvarizen wurde aufgrund der möglichen Verletzungsgefahr beim Platzieren der Temperatursonde als Kontraindikation zur Studienteilnahme gesehen.

In der Evaluation bezüglich der Vorerkrankungen, die der elektiven radikalen Prostatektomie der untersuchten Patienten vorausging, ergaben sich dementsprechend keine Anhaltspunkte für eine pathologische Veränderung der körpereigenen Thermoregulation. Ein erhöhtes Risiko für das Auftreten perioperativer ösophagealer Blutungen war ebenfalls nicht zu erwarten.

Aufgrund der Ausschlusskriterien zur Studienteilnahme ist daher von vergleichbaren Bedingungen innerhalb der untersuchten Patientengruppen auszugehen.

5.1.2 Wärmesysteme im Vergleich

5.1.2.1 Konvektive Luftwärmung

Im klinischen Alltag ist der Einsatz konvektiver Luftwärmung zur Hypothermieprävention allgemein verbreitet. Die Effektivität dieses Verfahrens wurde in zahlreichen Studien untersucht.

Eine Auskühlung von Patienten kann durch den intraoperativen Einsatz konvektiver Luftwärmung vermeiden werden. Dies belegten LINDWALL et al. (1998), indem sie während thorakoabdominaler Eingriffe ein Luftwärmesystem mit passiven wärmeerhaltenden Maßnahmen verglichen. Durch konvektive Patientenwärmung mit einer Oberkörper- und einer Unterkörperdecke blieben die Patienten normotherm, die passiv gewärmten Patienten hingegen zeigten einen Abfall der Körpertemperatur auf hypotherme Werte.

Die Durchführung konvektiver Patientenwärmung sollte sich jedoch nicht auf die intraoperative Phase beschränken. Sowohl der prä- als auch der postoperative Einsatz konvektiver Wärmung können einen Wärmeverlust zusätzlich reduzieren. STONEHAM et al. (2000) fanden heraus, dass eine Korrelation des Abfalls der Körpertemperatur mit dem Zeitraum von der Narkoseeinleitung bis zum Operationsbeginn besteht. Sie zeigten, dass es sinnvoll ist, diesen Zeitraum möglichst kurz zu halten oder bereits präoperativ mit der Patientenwärmung zu beginnen. Eine 30-minütige Vorwärmung über eine Warmluftdecke kann den Wärmebetrag zuführen, der während der ersten Narkosestunde durch Distribution der Wärme verloren geht (SESSLER et al. 1995).

In einer Studie von BOCK et al. (1998) wurde der Effekt der prä- und intraoperativen konvektiven Patientenwärmung während abdominalchirurgischer Eingriffe untersucht. Die Patienten der ersten Gruppe lagen intraoperativ auf Warmwassermatten bei gleichzeitiger Verwendung von Infusionswärmern. In der zweiten Gruppe wurden die Patienten zusätzlich 30 Minuten vor Narkosebeginn sowie intraoperativ konvektiv über eine Oberkörperdecke gewärmt. Innerhalb dieser zweiten Gruppe zeigten sich geringere Blutverluste, ein verminderter Transfusionsbedarf und eine verkürzte Aufenthaltsdauer im Aufwachraum.

VILLAMARIA et al. (1997) verglichen ein konventionelles Verfahren (warme Decken in Kombination mit radiativer Wärme) mit konvektiver Patientenwiedererwärmung nach herzchirurgischen Operationen. Sie fanden keinen Vorteil der konvektiven Wärmung gegenüber dem herkömmlichen Verfahren.

Häufig von Chirurgen geäußerte hygienische Bedenken gegen den Einsatz konvektiver Wärmeverfahren konnten in einer Untersuchung der Hautkeimbesiedelung in unmittelbarer Nähe warmluftdurchströmter Wärmedecken von ZINK und IAIZZO (1993) nicht bestätigt werden.

5.1.2.2 Konduktive Wärmung

In der Prävention der perioperativen Hypothermie stellt die konduktive Wärmung eine potentielle Alternative zum derzeitigen klinischen Standard der konvektiven Luftwärmung dar. Die Effektivität konduktiver Wärmung ist jedoch auch davon abhängig, ob die Wärmematten unter oder über den Patienten platziert werden.

Nach einer Veröffentlichung von FRITZ und WEYLAND (1997) liegt die bislang geringe Effizienz von Heizmattenunterlagen darin begründet, dass einerseits der innere Wärmetransport aufgrund von Vasokompression in den aufliegenden Körperpartien vermindert ist und andererseits nur ein geringer Temperaturgradient von etwa 1 °C zwischen Körperoberfläche und Heizmatte aufgebaut wird. Des Weiteren ist nur ein geringer Teil der Körperoberfläche gewärmt und Wärmeverluste über die freie Körperoberfläche werden nicht verringert.

Durch konduktive Wärmung mit einer über beide Beine gelegten elektrischen Heizdecke während eines abdominalchirurgischen Eingriffes konnte in einer Untersuchung von CAMUS et al. (1993) im Vergleich zu einer nicht gewärmten Kontrollgruppe eine perioperative Auskühlung vermieden werden. Die Körperkerntemperatur der gewärmten Patienten konnte nach initialem Abfall im normothermen Bereich gehalten werden, die Hauttemperatur der Beine stieg kontinuierlich zum Operationsende hin an. In der Kontrollgruppe hingegen fielen beide Temperaturen im Verlauf kontinuierlich ab. In der postoperativen Phase trat nur bei einem von 11 Patienten Kältezittern auf, in der Kontrollgruppe bei 9 von 11 Patienten.

Allein durch konduktives Vorwärmen von Patienten vor einem einstündigen operativen Eingriff konnte in einer Studie von CHANDON et al. (1994) perioperative Normothermie aufrechterhalten werden. In der ersten Patientengruppe erfolgte im Gegensatz zur Kontrollgruppe präoperativ ein mindestens einstündiges Vorwärmen mittels einer elektrisch gewärmten Ganzkörperdecke. Intraoperativ erhielten die Patienten beider Gruppen keine aktive Wärmetherapie. Zwar fiel in beiden Gruppen die tympanal gemessene Körperkerntemperatur kontinuierlich ab, lag nach 60 Minuten jedoch nur bei der vorgewärmten Gruppe im normothermen Bereich.

5.1.2.3 Vorwärmung

Wärmeumverteilung ist die Hauptursache für das Entstehen von Hypothermie während der ersten Stunde in Narkose. Sie kann durch aktives Wärmen peripherer Gewebe vor Narkoseeinleitung minimiert werden. Vorwärmung peripherer Gewebe reduziert durch

Umverteilung bedingte Hypothermie über zwei Mechanismen: Es setzt den normalen Temperaturgradienten zwischen Körperkern und -peripherie herab und bewirkt eine zur Wärmeumverteilung benötigte Vasodilatation (SESSLER 2001).

HYNSON et al. (1993) zeigten in einer Untersuchung, dass durch Umverteilung bedingte Hypothermie durch aktives Wärmen verhindert werden kann. Vor Narkoseeinleitung wurde eine Patientengruppe im Gegensatz zur Vergleichsgruppe über einen Zeitraum von bis zu 120 Minuten aktiv gewärmt. Mit Induktion der Narkose wurde die aktive Wärmezufuhr gestoppt. 60 Minuten nach Anästhesiebeginn fiel die Körpertemperatur in der vorgewärmten Patientengruppe weniger ab als in der nicht gewärmten ($\Delta T = -1,1 \pm 0,3^\circ\text{C}$ vs. $\Delta T = -1,9 \pm 0,3^\circ\text{C}$).

In der vorliegenden Untersuchung sollte pro Patientengruppe nur ein aktives Wärmeverfahren zur Anwendung kommen, um die Effektivität beider einzelnen Methoden besser vergleichen zu können. Daher wurde trotz belegter positiver Effekte aktiver Vorwärmung der Patienten bewusst auf diese Maßnahme verzichtet.

5.1.3 Infusionswärmung

Ein hoher Flüssigkeitsumsatz trägt erheblich zur Entstehung einer perioperativen Hypothermie bei. Vor allem bei Patienten, die große Blut- und Infusionsmengen erhalten, kommt der Erwärmung von Infusionslösungen daher eine besondere Bedeutung zu.

Bei einer Infusionstemperatur von 20°C und einer mittleren Körpertemperatur von $36,7^\circ\text{C}$ ist eine Infusionsmenge von 53 ml/kg Körpergewicht ausreichend, um die mittlere Körpertemperatur um 1°C zu senken (SCHMIDT und MÖRER 1998).

Das Vorwärmen von Infusionen und Blutprodukten in Warmwasserbädern oder Warmluftschränken ist ein einfaches und kostengünstiges Verfahren. Ein Nachteil besteht darin, dass selbst bei hohen Infusionstemperaturen in Abhängigkeit von der Raumtemperatur und der Flussrate patientennah oft nur unzureichende Temperaturen erreicht werden. Demzufolge erscheint der zusätzliche Einsatz von Durchflusswärmern sinnvoll.

SCHMIDT et al. (1996) untersuchten die Effektivität von Infusionsvorwärmung im Vergleich mit verschiedenen Durchflusswärmern. Sie fanden heraus, dass bei alleiniger Verwendung erwärmter Infusionen ein erheblicher Wärmeverlust der Infusionslösungen in Abhängigkeit von der Flussrate, der Umgebungstemperatur und der Länge des unisolierten Infusionssystems vorhanden ist. Bis zu einem Infusionsfluss von 2000 ml/h ist ihrer Studie zufolge eine effektive Infusionswärmung durch alleinige Vorwärmung (auf 39°C) generell nicht möglich.

Derzeit sind diverse Infusionswärmesysteme auf dem Markt erhältlich. Die Leistungskapazität von vier verschiedenen Systemen bei unterschiedlichen Flussraten wurde von SCHNOOR et al. (2004) getestet. Nur ein System konnte sowohl bei niedrigen als auch bei moderaten Flussraten unabhängig von der Raumtemperatur eine zuverlässige Erwärmung der Infusionslösung auf über 32°C erzielen.

LEBEN und TRYBA (1997) untersuchten die Effektivität von Infusionswärmung während länger dauernder Wirbelsäuleneingriffe. Die Patienten der Kontrollgruppe wurden mit Baumwolltüchern bedeckt, die der zweiten Gruppe erhielten eine konvektive Unterkörperwärmung, Patienten der dritten Gruppe wurden mit Infusionswärmung behandelt, die der vierten Gruppe mit einer Kombination aus konduktiver und Infusionswärmung. Innerhalb der Gruppen 1 und 2 fielen die gemessenen Körpertemperaturen zum Operationsende hin ab, alleinige Infusionswärmung führte zu einem geringen Temperaturverlust. Nur durch eine Kombination aus konduktiver und Infusionswärmung konnte eine Normothermie aufrechterhalten werden.

Um perioperative Temperaturverluste durch infundierte Flüssigkeiten möglichst gering zu halten, verwendeten wir in Ergänzung zu den untersuchten aktiven Wärmeverfahren auf 37°C vorgewärmte Infusionen in Kombination mit einem Infusionswärmer, der auch direkt an der Venenverweilkanüle eine Infusionstemperatur von $37^{\circ}\text{C} \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ sicherstellte.

5.1.4 Temperaturmessung

Zur Bestimmung der Körpertemperatur wurden nasopharyngeale Sonden eingesetzt und mit Messungen der Körperkerntemperatur im Ösophagus verglichen. Beide Verfahren sind wenig invasiv, einfach anwendbar und vergleichsweise kostengünstig. Daher entschieden wir uns für diese beiden Messmethoden. Allerdings korreliert die ösophageale Temperatur nur zuverlässig mit der Körperkerntemperatur, wenn die Messsonde exakt im medialen Ösophagusdrittel platziert wird (NELSON et al. 1995).

Die Möglichkeit der Temperaturmessung über Rektalsonden stellt eine vergleichbare Alternative zur Nasopharyngealsonde dar. Allerdings ist sie abhängig von der Durchblutung des Rektums. Bei intraabdominellen Infektionen könnten sich durch die gesteigerte Durchblutung des Rektums falsch-hohe Werte ergeben.

Eine Messung der Harnblasentemperatur über einen Blasenkatheter mit integrierter Messsonde ist abhängig vom Füllungszustand der Harnblase und entspricht bei offenen Operationen im Unterbauch durch direkte Wärmeabstrahlung oft nicht der

Körperkerntemperatur (BRÄUER et al. 1997). Eine Anwendung dieser Messmethode erscheint bei radikaler Prostatektomie daher nicht sinnvoll.

Ein weiteres Verfahren zur Bestimmung der Körperkerntemperatur stellt die Messung der Bluttemperatur über einen Pulmonalarterienkatheter dar. Die intrazerebrale Temperatur entspricht bei Abwesenheit neurologischer Erkrankungen und Hirntraumata der Temperatur der Arteria pulmonalis und somit der Körperkerntemperatur (SCHROEDER et al. 1999). Aufgrund der Invasivität und der damit verbundenen Risiken für den Patienten sahen wir jedoch von einer Temperaturmessung via Pulmonalarterienkatheter ab.

Eine andere zuverlässige, wenig invasive Alternative zur Messung der Körperkerntemperatur ist die Tympanonkontaktmessung, bei der die intrazerebrale Temperatur am Trommelfell bestimmt werden kann. Dieses Verfahren erfordert jedoch die Kooperation des Patienten und weist darüber hinaus eine eingeschränkte Akzeptanz auf.

Für unsere Studie erschien uns die Bestimmung der nasopharyngealen und der ösophagealen Temperaturen im Hinblick auf die Anwendbarkeit und die gleichzeitige Minimierung möglicher Fehlmessungen sowie Risiken bei der Anwendung am geeignetsten.

5.1.5 Postoperative Patientenbefragung/-beurteilung

Das Auftreten postoperativen Kältezitterns ist mit großen Missempfindungen seitens des Patienten verbunden. Es tritt je nach Operation und durchgeführter Anästhesie bei bis zu 60 % der Patienten nach Allgemeinanästhesie auf (HORN 2002).

Dabei ist ein Großteil postoperativen Kältezitterns eine thermoregulatorische Antwort auf intraoperative Hypothermie (LENHARDT und SPISS 1999).

Ein sekundäres Ziel der vorliegenden Untersuchung lag darin herauszufinden, ob unter den gegebenen Studienbedingungen ein Zusammenhang zwischen intraoperativer Hypothermie und postoperativem Kältezittern besteht. Daher wurden die Patienten postoperativ aufgefordert, eine Selbsteinschätzung bezüglich des Auftretens und der Intensität postoperativen Frierens anhand einer Visuellen Analog-Skala (VAS) zu machen. Ebenso musste das betreuende Pflegepersonal im Aufwachraum das Auftreten und die Intensität postoperativen Kältezitterns anhand einer VAS bewerten.

Diese Beurteilungen anhand einer VAS spiegeln jedoch nur die subjektiven Eindrücke des Pflegepersonals wider. Die erfassten Daten unterliegen keinem validen Messverfahren, individuelle Einflüsse waren bei der Auswertung der erhaltenen Daten zu berücksichtigen.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

5.2.1 Temperaturverlauf

Bei aktiver Patientenwärmung zeigt die Körpertemperatur einen typischen Verlauf. Die anästhetikabedingte Vasodilatation führt unmittelbar nach Einleitung einer Allgemeinanästhesie zu einer Wärmeumverteilung aus dem Körperkern in die Peripherie. Nach Redistribution mit initialem Abfall der Körpertemperatur bleibt die Temperatur im weiteren Verlauf im Bereich des Ausgangswertes konstant (HORN 2002).

Diese Ergebnisse konnten in der eigenen Studie nur für die konvektiv gewärmte Patientengruppe bestätigt werden. In der Gruppe der konduktiv gewärmten Patienten hingegen kam es während des gesamten Messzeitraumes zu einem kontinuierlichen Abfall der Körpertemperatur. Während der Abfall der Körpertemperatur nach 30 Minuten OP-Dauer in beiden Gruppen vergleichbar war, zeigte sich bereits nach 60 Minuten OP-Dauer eine signifikante Temperaturdifferenz zwischen beiden Gruppen.

Der Temperaturverlauf der konduktiv gewärmten Patienten entspricht in unserer Untersuchung qualitativ dem Verlauf eines nicht gewärmten Patienten unter Allgemeinanästhesie:

Auf die frühe Phase der Thermoregulation mit Vasodilatation, Erwärmung peripherer Gewebe und erniedrigter Körperkerntemperatur folgt die Umstellung der Thermoregulation, die durch starke Verluste von Körperwärme an die Umgebung, überwiegend durch Konvektion, gekennzeichnet ist (KURZ 1997).

In der Gruppe der konduktiv gewärmten Patienten kann somit trotz aktiver Wärmung und zusätzlicher Infusionswärmung dieser Temperaturverlust nicht kompensiert werden. Die Ursache der kontinuierlichen Wärmeverluste in dieser Patientengruppe liegt vermutlich darin, dass der Anteil der aktiv gewärmten Körperoberfläche mit 1728 cm^2 zu gering ist. Der Wärmeverlust übersteigt somit die Summe der metabolischen Wärmeproduktion und der aktiven Wärmezufuhr.

Einen vergleichbaren Temperaturverlauf wiesen die Patienten eine Studie von KAUDASCH et al. (1996) auf. Hier wurde der Oberkörper der Patienten einer Gruppe während elektiver Kolonresektion intraoperativ konvektiv gewärmt, in der Kontrollgruppe mit einem Baumwolltuch bedeckt. Die Körperkerntemperatur wurde in der Harnblase und im Ösophagus bestimmt. Am Ende der Operation waren die absoluten Körperkerntemperaturen beider Gruppen signifikant unterschiedlich: $35,2^\circ\text{C}$ und $35,4^\circ\text{C}$ betragen die Medianwerte in der Kontrollgruppe bzw. $36,3^\circ\text{C}$ und $36,2^\circ\text{C}$ bei den intraoperativ gewärmten Patienten. Auch die

Temperaturwerte zeigten den gleichen Verlauf wie in der eigenen Studie: In der gewärmten Gruppe stieg die Temperatur nach initialem Abfall wieder auf Werte im Bereich der Ausgangstemperaturen, während sie in der Kontrollgruppe kontinuierlich abfiel.

5.2.2 Zusammenhang zwischen Temperaturverlauf und subjektiven postoperativen Parametern

Postoperativem Kältezittern liegt meist eine thermoregulatorische Ursache zugrunde, da Muskelfaszikulationen als Reaktion auf eine Hypothermie des Körperkerns und der Körperperipherie entstehen.

In unserer Untersuchung gaben ebenso viele der hypothermen wie der normothermen Patienten postoperatives Frieren an. Demzufolge ist das Auftreten postoperativen Kältegefühls ein subjektiver Parameter, der nicht in direktem Zusammenhang mit der tatsächlich gemessenen Körpertemperatur zu stehen scheint.

Postoperatives Kältezittern trat bei einem größeren Anteil der hypothermen als bei den normothermen Patienten auf.

Folglich ist in dieser Studie die Inzidenz postoperativen Kältezitterns bei hypothermen Patienten erhöht, Hypothermie scheint jedoch nicht die alleinige Ursache hierfür zu sein.

Auch Fieber kann postoperatives Kältezittern induzieren. Bei entstehendem Fieber kommt es neben peripherer Vasokonstriktion durch eine Erhöhung des Sollwertes der Körperkerntemperatur zur unwillkürlichen Produktion von Körperwärme durch Muskelaktivität im Sinne von Kältezittern (HORN 2002).

In unserer Studie endete die Messung der Körpertemperaturen mit dem Operationsende, bis zu diesem Zeitpunkt hatte keiner der Patienten subfebrile oder febrile Temperaturen entwickelt. Während des Aufenthaltes im Aufwachraum fanden keine Temperaturmessungen mehr statt, ein möglicher postoperativer Temperaturanstieg wurde somit nicht registriert. Daher könnte beginnendes postoperatives Fieber eine denkbare Ursache des Kältezitterns der bis zum Operationsende normothermen Patienten sein.

Postoperatives Kältezittern tritt auch bei Patienten auf, bei denen weder eine Hypothermie noch Fieber vorliegen. Als Ursache dieses nicht-thermoregulatorisch bedingten Kältezitterns gelten das Anästhetikum selbst sowie postoperativer Schmerz.

Da in unserer Untersuchung alle Patienten eine standardisierte Narkose mit Fentanyl/Propofol/Lachgas erhielten, ist der anästhetikabedingte Einfluss bezüglich des Auftretens postoperativen Kältezitterns zwar vorhanden, aber für alle Patienten gleich groß.

In einer Studie von HORN et al. (1999) trat kein postoperatives Kältezittern auf, wenn die Patienten während einer Knieoperation aktiv gewärmt wurden und durch in das operierte Knie injiziertes Lokalanästhetikum nahezu schmerzfrei aufwachten. Dagegen trat bei 43% der Patienten, denen Kochsalz injiziert wurde und die initial hohe Werte anhand einer Visuellen Analog-Skala für Schmerz angaben, postoperatives Kältezittern auf.

Wir führten keine Untersuchungen hinsichtlich des Auftretens und der Intensität postoperativer Schmerzen durch, demzufolge kann keine Aussage darüber getroffen werden, in welchem Zusammenhang in dieser Studie postoperativer Schmerz und Kältezittern stehen. Postoperativer Schmerz kann jedoch durchaus als Ursache des Kältezitterns in Betracht kommen.

5.2.3 Effektivität der getesteten Wärmesysteme

Eine Dysbalance zwischen metabolischer Wärmeproduktion und Wärmeverlusten an die Umgebung unter Narkose führt zu einer Abnahme der Körperwärmemenge und der Entwicklung einer Hypothermie.

Ein Vergleich der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung mit früheren Studien soll zeigen, ob der Einsatz konvektiver oder konduktiver Patientenwärmung in Kombination mit Infusionswärmung perioperative Hypothermie effektiver vermeiden kann und ob der routinemässige Einsatz beider Verfahren zu empfehlen ist.

In einer Studie verglichen KURZ et al. (1993) während orthopädischer und kieferchirurgischer Operationen ein konvektives Luftwärmesystem mit konduktiver Patientenwärmung mittels Wassermatten. Der Verlauf von rektaler und ösophagealer Temperatur wurde untersucht. Dabei zeigte sich, dass die konvektive Wärmedecke den Heizmatten bezüglich der Aufrechterhaltung einer Normothermie überlegen war.

RUSSELL und FREEMAN (1995) untersuchten bei Lebertransplantationen konvektiv gewärmte Patienten und verglichen dieses Verfahren mit warmluftbeheizten und elektrischen Heizmatten, die unter den Patienten platziert wurden. Der Verlauf der Körperkerntemperatur wurde mit einem Pulmonalarterienkatheter gemessen. Die konvektive Wärmung eignete sich hier besser zur Prävention einer Hypothermie als beide konduktive Verfahren.

Auch EL-RAHMANY et al. (2000) verglichen hypotherme Patienten, die nach einer koronaren Bypassoperation entweder mit Warmwassermatratzen oder mit Warmluftgebläsen wiedererwärmt wurden. Es stellte sich heraus, dass die Körperkerntemperatur in beiden Patientengruppen vergleichbar schnell anstieg, die Hauttemperatur jedoch bei den konvektiv

gewärmten Patienten höher war. In dieser Gruppe war auch die Gabe von Vasodilanzien geringer, was auf stabilere hämodynamische Verhältnisse bei diesen Patienten schließen lässt.

Das in der vorliegenden Studie verwendete System zur konduktiven Wärmung (Barkey Paddytherm®) wurde bislang nicht in einer kontrollierten Studie untersucht. Es wird vom Hersteller unter anderem zur intraoperativen Wärmetherapie empfohlen. Daher wählten wir dieses System zum Vergleich mit einem bereits in kontrollierten Studien getesteten konvektiven System aus.

Die eigenen Ergebnisse bestätigen bezüglich der Effektivität konvektiver Luftwärmung gegenüber konduktiver Wärmung mehrere bereits vorliegende Untersuchungen, da intraoperative Temperaturverluste durch konvektive Wärmeapplikation signifikant gegenüber der konduktiven Methode reduziert werden konnten.

Möglichkeiten, die Effektivität des konduktiven Wärmesystems zu steigern, wären die Nutzung einer größeren Körperoberfläche zur aktiven Wärmung oder die Kombination mit anderen aktiven Wärmeverfahren.

5.3 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass eine konvektive Luftwärmung mittels Oberkörperdecken im Rahmen offener operativer Eingriffe im Unterbauch einer konduktiven Wärmung mittels 4 heizbarer Silikonplatten mit einer Gesamtfläche von 1728 cm² überlegen ist und bei gleichzeitiger Infusionswärmung eine perioperative Hypothermie sicher verhindern kann.

5.4 Physiologische Relevanz

Das Auftreten akzidenteller perioperativer Hypothermie ist ein häufiges Ereignis, das den Krankheitsverlauf ungünstig beeinflussen kann. Die negativen Auswirkungen betreffen primär die Wundheilung, die Blutgerinnung und die kardiovaskuläre Funktion.

• Wundheilung

Postoperative Wundinfektionen treten bei hypothermen Patienten vermehrt auf.

In einer randomisierten Studie beobachteten KURZ et al. (1996), dass die Wundinfektionsrate nach elektiven kolonchirurgischen Eingriffen etwa dreifach erhöht war, wenn keine

Maßnahmen getroffen wurden, um einen intraoperativen Temperaturabfall zu verhindern. Als mögliche Ursache für diesen negativen Einfluss auf die Wundheilung kommen unter anderem eine Hypothermie-assoziierte Beeinträchtigung der Hautdurchblutung, der Thrombozytenfunktion, der Bildung freier Sauerstoffradikale sowie eine Hemmung der Kollagensynthese in Betracht (PANNEN 2002).

WENISCH et al. (1996) berichteten, dass thermoregulatorisch bedingte Vasokonstriktion zu einer Minderperfusion im Operationsgebiet führt und somit dort den arteriellen Sauerstoffgehalt senkt. Konsekutiv nimmt die Bildung von Sauerstoffradikalen zur Keimbekämpfung ab, die Infektanfälligkeit steigt an.

• **Gerinnungsfunktion**

Perioperative Hypothermie führt zu einem erhöhten Blutverlust bei beeinträchtigtem Blutgerinnungssystem.

SCHMIED et al. (1996) untersuchten bei Patienten, die sich einem endoprothetischen Ersatz des Hüftgelenkes unterzogen, den Einfluss perioperativer Hypothermie auf die Blutgerinnung. Sowohl der kumulative Blutverlust am Tag nach der Operation als auch der Fremdblutbedarf waren nach intraoperativer Hypothermie im Vergleich zur normothermen Kontrollgruppe erhöht. Dieser Effekt wird nach einer Studie von MICHELSON et al. (1994) auf eine verminderte Thrombozytenfunktion und reduzierte Aktivität der an der Gerinnungskaskade beteiligten Enzyme durch eine Abnahme der Temperatur zurückgeführt.

• **Kardiovaskuläre Funktion**

Nach Beenden einer Anästhesie normalisieren sich die Thermoregulationsschwellen wieder. Durch die aktivierte Thermoregulation werden bei hypothermen Patienten Muskelzittern und eine erhöhte Katecholaminausschüttung induziert. Die gesteigerte Ausschüttung von Katecholaminen führt zu einer peripheren Vasokonstriktion, sowie zu einem Anstieg von Herzfrequenz, systemischem und pulmonalarteriellen Druck (SCHOSER und MESSMER 1999).

FRANK et al. (1993) beschrieben, dass bei Patienten nach gefäßchirurgischen Eingriffen an der unteren Extremität elektrokardiographische Veränderungen im Sinne einer myokardialen Ischämie häufiger auftraten, wenn die sublingual gemessene Temperatur bei Aufnahme auf die Intensivstation unter 35°C lag.

Das Risiko kardiovaskulärer Nebenwirkungen scheint nach einer weiteren Studie von FRANK et al. (1997) bei hypothermen Patienten nicht intraoperativ, sondern vor allem postoperativ erhöht zu sein.

Verglichen wurde eine passiv gewärmte Patientengruppe, die am Operationsende hypotherm war, mit einer aktiv gewärmten normothermen Patientengruppe. Intraoperativ war die Inzidenz myokardialer Ischämien und ventrikulärer Tachykardien in beiden Gruppen vergleichbar. Postoperativ hatten die hypothermen Patienten dreimal häufiger pathologische EKG-Veränderungen und es kam bei ihnen vermehrt zum Auftreten von Angina pectoris, Myokardinfarkt und Herzstillstand.

5.5 Klinische Relevanz – Konsequenzen für den klinischen Alltag

Es stehen verschiedene Verfahren der aktiven Wärmetherapie zur Verfügung, die sich in ihrer Effektivität und Anwendbarkeit erheblich voneinander unterscheiden. Wird aktive Wärmebehandlung bereits in der präoperativen Phase angewendet, kann durch eine Erhöhung des peripheren Gewebewärmegehaltes auch der durch Redistribution bedingte initiale Abfall der Körperkerntemperatur minimiert werden.

Die Prävention der Entstehung perioperativer Hypothermie ist effektiver als die Zufuhr bereits verloren gegangener Wärme (SCHERER 1997). Insbesondere bei kurzen Eingriffen scheint ein Vorwärmen sinnvoll, da bei kurzer Operationsdauer eine Wärmerückverteilung aus der aktiv gewärmten Peripherie in den Körperkern kaum möglich ist (SCHROEDER et al. 1999).

Daher wird empfohlen, möglichst frühzeitig mit einer perioperativen Wärmung des Patienten zu beginnen. BOCK et al. (1998) zeigten zusätzlich, dass perioperative Hypothermie mit höheren Kosten der Patientenbehandlung verbunden ist. Durch Erhaltung der Normothermie können somit nicht nur hypothermiebedingte Risiken und Komplikationen, sondern auch Folgekosten vermieden werden.

Je nach operativer Situation, bei spezieller Lagerung des Patienten und eingeschränkten Zugangsmöglichkeiten, ist die mit aktiver Wärmung erreichbare Körperoberfläche begrenzt. Daher muss bei jedem Eingriff individuell entschieden werden, welches Wärmeverfahren verwendet wird oder ob eine Kombination mehrerer wärmeerhaltender Maßnahmen sinnvoll erscheint.

6 Zusammenfassung

Perioperative Veränderungen der Körpertemperatur von Patienten im Sinne einer Hypothermie treten sehr häufig auf. Daher ist die Körpertemperatur ein wichtiger Parameter des intraoperativen Monitorings durch den Anästhesisten.

Eine perioperative Hypothermie supprimiert vitale Organfunktionen und verzögert die Medikamentenmetabolisierung, wobei negative Auswirkungen häufig erst in der postoperativen Phase sichtbar werden. Plötzlich auftretendes Muskelzittern und Vasokonstriktion können einen Blutdruckanstieg, Tachykardie, myokardiale Ischämie sowie eine Azidose zur Folge haben. Insbesondere für den kardial vorerkrankten Patienten stellt die akzidentelle Hypothermie ein erhöhtes perioperatives Risiko dar. Darüber hinaus wird das subjektive Wohlbefinden des Patienten durch unwillkürliches Kältezittern stark beeinträchtigt. Neben den gesundheitlichen Auswirkungen der Hypothermie führt eine eventuell erforderliche Nachbeatmung eines stark ausgekühlten Patienten zu einer nicht unerheblichen Bindung von Personal und Ressourcen.

Durch den sinnvollen Einsatz effektiver Wärmemaßnahmen können die Aufwachphase, der postoperative Heilungsprozess und die Patientenzufriedenheit deutlich positiv beeinflusst werden.

Ziel der vorliegenden Studie war es, Aussagen zur Effektivität konvektiver im Vergleich mit konduktiver Wärmung von Patienten zur Verhinderung intraoperativer Hypothermie bei intraabdominellen Eingriffen zu treffen.

Die Ergebnisse dieser Studie sollten Aufschluss darüber geben, ob eine Hypothermie durch den Einsatz konvektiver oder konduktiver Wärmezufuhr in Kombination mit Infusionswärmung vermieden werden kann und welches Verfahren diesbezüglich das effektivere von beiden ist.

Zur Auswertung wurden neben objektiven Parametern auch subjektive Beurteilungen durch die Patienten selbst sowie durch das betreuende Pflegepersonal im Aufwachraum hinsichtlich des Auftretens und des Schweregrades postoperativen Frierens und Kältezitterns herangezogen.

Ein konvektives Luftwärmesystem (Warm-Touch® 5800), bestehend aus einem Warmluftgebläse mit angeschlossener Wärmedecke, und ein über elektrisch gewärmte Silikonplatten konduktiv wirkendes System (Barkey paddytherm®) wurden verglichen.

Es wurden 24 volljährige männliche Patienten untersucht, die sich einer radikalen Prostatektomie unterziehen mussten. Je zwölf Patienten wurden mit konvektiver (Gruppe 1) bzw. konduktiver Wärmezufuhr (Gruppe 2) behandelt.

Die Untersuchung erfolgte unter standardisierten Rahmenbedingungen hinsichtlich Anästhesie, Beatmung, Gabe von Infusionslösungen und weiterer Parameter. Die Patientenwärmung und die Messung der nasalen sowie der ösophagealen Temperatur

begannen direkt nach Narkoseeinleitung und Ankunft im Operationssaal und endeten mit der Hautnaht. Die Auswertung der dabei erfassten Daten erfolgte bis zum Operationsende mittels deskriptiver Statistik.

Während der im Mittel ca. 2½ Stunden dauernden operativen Eingriffe mit großflächiger Eröffnung des Peritoneums verringerte die konvektive Wärmezufuhr die Wärmeverluste signifikant gegenüber der konduktiven Wärmung. Am Ende des Untersuchungszeitraumes zeigte sich für die Körpertemperatur im Mittelwert (Min↔Max) ein signifikanter Unterschied zwischen der konvektiven (Gruppe 1) (T_{nas} 36,79°C (36,0°C↔37,2°C); T_{oes} 36,73°C (36,0°C↔37,1°C)) und der konduktiven Wärmetherapiegruppe (Gruppe 2) (T_{nas} 35,73°C (35,2°C↔36,6°C); T_{oes} 35,73°C (35,0°C↔36,3°C)). Der Anteil hypothermer Patienten betrug am Operationsende für die konvektive Luftwärmung 0% und für die konduktive Wärmung 75%.

Wie vergleichbare Studien zeigen, kann aktive Wärmetherapie jedoch keinen Einfluss auf die Umverteilungsphase nehmen, so dass ein initialer Abfall der Körpertemperatur in beiden untersuchten Gruppen zu verzeichnen war. In der Gruppe der konvektiven Wärmung stieg die Körpertemperatur nach initialem Abfall wieder an, in der Gruppe der konduktiven Wärmung fiel sie zum Operationsende kontinuierlich ab.

Die subjektiven Beurteilungen der Patienten selbst und die Beurteilungen durch das betreuende Pflegepersonal im Aufwachraum hinsichtlich des Auftretens und des Schweregrades postoperativen Frierens und Kältezitterns zeigten im Gruppenvergleich keine signifikanten Unterschiede.

Eine Vermeidung perioperativer Temperaturverluste ist anzustreben, um das postoperative Risiko des Patienten zu verringern und sein subjektives Befinden positiv zu beeinflussen. Nicht zu vernachlässigen ist auch die Möglichkeit der Kostenersparnis durch effektive Wärmung des Patienten, da unter Normothermie die Aufenthaltsdauer im Aufwachraum verkürzt wird und eine Verlegung des Patienten auf eine Wach- oder Intensivstation nach einer langen Operation nicht zwangsläufig notwendig ist.

7 Literaturverzeichnis

1. Bennett J, Ramachandra V, Webster J, Carli F (1994):
Prevention of Hypothermia during Hip Surgery: Effect of Passive Compared With Active Skin Surface Warming
Br J Anesth 73, 180-183
2. Bland JM, Altman DG (1986):
Statistical Methods of Assessing Agreement between Two Methods of Clinical Measurement
Lancet 1986, 1, 307-310
3. Bock M, Müller J, Bach A, Böhrer H, Martin E, Motsch J (1998):
Effects of Preinduction and Intraoperative Warming during Major Laparotomy
Br J Anesth 80, 159-163
4. Bourke DL, Wurm H, Rosenberg M, Russell J (1984):
Intraoperative Heat Conservation Using a Reflective Blanket
Anesthesiology 60, 151-154
5. Bräuer A, Weyland W, Fritz U, Schuhmann MU, Schmidt JH, Braun U (1997):
Bestimmung der Körperkerntemperatur
Der Anästhesist 46, 683-688
6. Bräuer A, Perl T, Singer D (1998):
Thermoregulation und Anästhesie
in: Minisymposium Perioperative Hypothermie; hrsg. v. Weyland W, Braun U
Anaesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 33, 383-386
7. Bräuer A, English MJM, Lorenz N, Steinmetz N, Perl T, Braun U, Weyland W (2003):
Comparison of Forced-air Warming Systems with Lower Body Blankets Using a Copper Manikin of the Human Body
Acta Anaesthesiol Scand 47, 58-64
8. Brück K:
Wärmehaushalt und Temperaturregelung
in: Physiologie des Menschen; hrsg. v. Schmidt RF, Thews G, Springer Verlag
Berlin, Heidelberg, New York 1987, 660-682

9. Buggy D, Hughes N (1994):
Pre-emptive Use of the Space Blanket Reduces Shivering After General Anaesthesia
Br J Anesth 72, 393-396
10. Camus Y, Delva E, Just B, Lienhart A (1993):
Leg Warming Minimizes Hypothermia during Abdominal Surgery
Anesth Analg 77, 995-999
11. Carli F, Itiaba K (1986):
Effect of Heat Conservation During and After Major Abdominal Surgery on
Muscle Protein Breakdown in Elderly Patients
Br J Anesth 58, 502-507
12. Carli F, Emery PW, Freemantle CAJ (1989):
Effect of Perioperative Normothermia on Postoperative Protein Metabolism in
Elderly Patients Undergoing Hip Arthroplasty
Br J Anesth 63, 276-282
13. Chalon J, Loew DAY, Malebranch J (1992):
Effects of Dry Anaesthetic Gases on Tracheobronchial Ciliated Epithelium
Anesthesiology 37, 338-343
14. Chandon M, Paugam C, Just B, Trévien V, Baras E, Lienhart A (1994):
Prevention of Perioperative Shivering by Pre or Intraoperative Skin-Surface
Warming
Anesthesiology 81, A 3
15. Crossley AW (1992):
Perioperative Shivering
Anaesthesia 47, 193-195
16. DeGowin EL, Hardin RC, Swanson LW (1940):
Studies on Preserved Human Blood
JAMA 114, 859-861

17. El-Rahmany HK, Frank SM, Schneider GM, El-Gamal NA, Vannier CA, Ammar R, Okasha AS (2000):
Forced-air Warming Decreases Vasodilator Requirement After Coronary Artery Bypass Surgery
Anesth Analg 90, 286-291
18. English MJM, Scott A, Brown R, Hinchey J (1995):
Rapid Radiant Rewarming in Hypothermia
Anesthesiology Suppl. 83, A260
19. English MJM, Scott A, Weyland W (1998):
Grundlagen von Wärmeaustausch und Isolation im OP
in: Minisymposium Perioperative Hypothermie, hrsg. v. Weyland W, Braun U
Anaesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 33, 386-389
20. Frank SM, Beattie C, Christopherson R, Norris EJ, Perler BA, Williams GM, Gottlieb SO (1993):
Unintentional Hypothermia Is Associated with Postoperative Myocardial Ischemia
Anesthesiology 78, 468-476
21. Frank SM, Higgins MS, Breslow MJ, Fleisher LA, Gorman RB, Sitzmann JV, Raff H, Beattie C (1995a):
The Catecholamine, Cortisol, and Hemodynamic Responses to Mild Perioperative Hypothermia
Anesthesiology 82, 83-93
22. Frank SM, Fleisher LA, Olson KF, Gorman RB, Higgins MS, Breslow MJ, Sitzmann JV, Beattie C (1995b):
Multivariate Determinants of Early Postoperative Oxygen Consumption in Elderly Patients: Effects of Shivering, Body Temperature, and Gender
Anesthesiology 83, 241-249
23. Frank SM, Fleisher LA, Breslow MJ, Higgins MS, Olson KF, Kelly S, Beattie C (1997):
Perioperative Maintenance of Normothermia Reduces the Incidence of Morbid Cardiac Events
JAMA 227, 1127-1137

24. Fritz U, Weyland W:
Effektivität konvektiver Luftwärmung
in: Perioperative Hypothermie – Probleme, Prävention und Therapie, hrsg. v.
Weyland W, Braun U, Kettler D; Aktiv Druck & Verlag GmbH Ebelsbach 1997,
100-109
25. Giesbrecht GG, Ducharme MB, McGuire JP (1994):
Comparison of Forced-air Patient Warming Systems for Perioperative Use
Anesthesiology 80, 671-679
26. Goto H, Nonami R, Hamasaki Y, Zucker ML, Unruh GK, Arakawa K (1985):
Effect of Hypothermia on Coagulation
Anesthesiology 63, A 107
27. Goto T, Matsukawa T, Sessler DI, Uezono S, Ishiguro Y, Ozaki M, Morita S
(1999):
Thermoregulatory Thresholds for Vasoconstriction in Patients Anesthetized with
Various 1-Minimum Alveolar Concentration Combinations of Xenon, Nitrous
Oxide, and Isoflurane
Anesthesiology 91, 626-632
28. Harrison SJ, Ponte J (1996):
Convective Warming Combined With Vasodilator Therapy Accelerates Core
Rewarming After Coronary Artery Bypass Surgery
Br J Anesth 76, 511-514
29. Hausmann D, Stoeckel H, Krajewski W, Schüttler J (1991):
O₂-Aufnahme und CO₂-Produktion bei totaler intravenöser Propofol-Alfentanil-
Narkose unter Steady-State-Bedingungen. Ist die O₂-Aufnahme ein Parameter zur
Abschätzung der Narkosetiefe?
Anaesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 26, 12-16
30. Heier T, Caldwell JE, Sessler DI, Miller RD (1991):
Mild Intraoperative Hypothermia Increases Duration of Action and Spontaneous
Recovery of Vecuronium Blockade during Nitrous Oxide-Isoflurane Anesthesia in
Humans
Anesthesiology 74, 815-819

31. Heuer L (2003):
„Pre-warming“ – Einführung in ein Verfahren zur Vermeidung der perioperativen Hypothermie
Anaesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 38, 583-586
32. Hirose M, Hara Y, Matsusaki M (1995):
Premedication with Famotidine Augments Core Hypothermia during General Anesthesia
Anesthesiology 83, 1179-1183
33. Horn E-P (1999):
Postoperative Shivering: Aetiology and Treatment
Current Opinion in Anesthesiology 12, 449-453
34. Horn E-P (2002):
Perioperative Hypothermie: Pathophysiologie, Prophylaxe und Therapie
Anaesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 37, 409-428
35. Horn E-P, Standl T, Sessler DI, von Knobelsdorff G, Buchs C, Schulte am Esch J (1998):
Physostigmine Prevents Postanesthetic Shivering As Does Meperidine or Clonidine
Anesthesiology 88, 108-113
36. Horn E-P, Schroeder F, Wilhelm S, Sessler DI, Standl T, von dem Busche K, Schulte am Esch J (1999):
Postoperative Pain Facilitates Nonthermoregulatory Tremor
Anesthesiology 91, 979-984
37. Hynson JM, Sessler DI, Moayeri A, McGuire J, Schroeder M (1993):
The Effects of Pre-induction Warming on Temperature and Blood Pressure during Propofol/Nitrous Oxide Anesthesia
Anesthesiology 79, 219-228
38. Ikeda T, Sessler DI, Tayefeh F, Negishi C, Turakhia M, Marder D, Bjorksten AR, Larson MD (1998):
Meperidine and Alfentanil Do Not Reduce the Gain or Maximum Intensity of Shivering
Anesthesiology 88, 858-865

39. Imrie MM, Hall GM (1990):
Body Temperature and Anaesthesia
Br J Anesth 64, 346-354
40. Kaudasch G, Schempp P, Skierski P, Turner E (1996):
Einfluss konvektiver Wärmezufuhr während Abdominalchirurgie auf die früh-
postoperative Wärmebilanz
Anaesthesist 45, 1075-1081
41. Kurz A (1997):
Intraoperative Hypothermie: Pathophysiologie und klinische Folgen
Wien Klin Wochenschr 109 (8), 261-269
42. Kurz A, Kurz M, Poeschl G, Faryniak B, Redl G, Hackl W (1993):
Forced-Air Warming Maintains Intraoperative Normothermia Better Than
Circulating-Water Mattresses
Anesth Analg 77, 89-95
43. Kurz A, Sessler DI, Annadata R, Dechert M, Christensen R, Bjorksten AR
(1995a):
Midazolam Minimally Impairs Thermoregulatory Control
Anesth Analg 81, 393-398
44. Kurz A, Sessler DI, Christensen R, Dechert M (1995b):
Heat Balance and Distribution during the Core-Temperature Plateau in Anesthetized
Humans
Anesthesiology 83, 491-499
45. Kurz A, Sessler DI, Lenhardt R (1996):
The Study of Wound Infections and Temperature Group: Perioperative
Normothermia to Reduce the Incidence of Surgical Wound Infection and
Shorten Hospitalization
N Engl J Med 334, 1209-1215
46. Leben J, Tryba M (1997):
Prevention of Hypothermia during Surgery
Ann NY Acad Sci 813, 807-811

47. Lenhardt R, Spiss CK (1999):
Gefahren milder perioperativer Hypothermie
Anaesthesist 48, 727-732
48. Leslie K, Sessler DI, Bjorksten AR, Moayeri A (1995):
Mild Hypothermia Alters Propofol Pharmacokinetics and Increases Duration of
Action of Atracurium
Anesth Analg 80, 1007-1014
49. Lindwall R, Svensson H, Söderström S, Blomqvist H (1998):
Forced Air Warming and Intraoperative Hypothermia
Eur J Surg 164, 13-16
50. Michelson AD, MacGregor H, Barnard MR, Kestin AS, Rohrer MJ, Valeri CR
(1994):
Reversible Inhibition of Human Activation by Hypothermia in Vivo and in Vitro
Thromb Haemost 71, 633-640
51. Nelson EJ, Grissom TE, Poterack KA (1995):
Continuous Gastric Suctioning Decreases Measured Esophageal Temperature
during General Anesthesia
Anesthesiology 83, A400
52. Pannen BHJ (2002):
Ursachen und Folgen der perioperativen akzidentellen Hypothermie
Anaesthesiol Reanimat 27, 4-8
53. Ralley FE, Wynands JE, Ramsey JG, Carli F, MacSullivan R (1988):
The Effects of Shivering on Oxygen Consumption and Carbon Dioxide Production
in Patients Rewarming from Hypothermic Cardiopulmonary Bypass
Can J Anesth 35, 332-337
54. Rathgeber J, Weyland W, Bettka T, Züchner K, Kettler D (1996):
Reduktion intraoperativer Wärmeverluste und Behandlung hypothermer Patienten
durch atemgasklimatisierende Maßnahmen? Wärme- und Feuchtigkeitsaustauscher
versus aktive Befeuchter im beatmeten Lungenmodell
Anaesthesist 45, 807-813

55. Russell SH, Freeman JW (1995):
Prevention of Hypothermia during Orthotopic Liver Transplantation: Comparison of Three Different Intraoperative Warming Methods
Br J Anesth 74 (4), 415-418
56. Sanford MM (1997):
Rewarming Cardiac Surgical Patients: Warm Water vs Warm Air
Am J Care 1 (6), 39-44
57. Scherer R (1997):
Intraoperative Wärmekonservierung
Anaesthesist 46, 81-90
58. Schmidt JH, Mörer O (1998):
Vermeidung von Wärmeverlusten durch Infusionswärmung
in: Minisymposium Perioperative Hypothermie; hrsg. v. Weyland W, Braun U
Anaesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 33, 392-395
59. Schmidt JH, Weyland W, Fritz U, Bräuer A, Rathgeber J, Braun U (1996):
Experimentelle Untersuchung zur Effektivität verschiedener Infusions- und Blutwärmeverfahren
Anaesthesist 45, 1067-1074
60. Schmied H, Kurz A, Sessler DI, Kozek S, Reiter A (1996):
Mild Hypothermia Increases Blood Loss and Transfusion Requirements during Total Hip Arthroplasty
Lancet 347, 289-292
61. Schnoor J, Simon HB, Schälte G, Weber I, Rossaint R (2004):
Leistungskapazität von vier Infusionswärmesystemen bei niedrigen Flussraten
Anaesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 39, 477-481
62. Schoser G, Messmer M (1999):
Perioperative Hypothermie
Anaesthesist 48, 931-943

63. Schroeder F, Horn E-P, Redmann G, Standl T (1999):
Intraoperative Normothermie durch partielle Wärmung von Patienten während orthopädischer Operationen
Anaesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 34, 475-479
64. Sessler DI (1997):
Perioperative Thermoregulation and Heat Balance
Ann NY Acad Sci 813, 757-777
65. Sessler DI (2001):
Complications and Treatment of Mild Hypothermia
Anesthesiology 95, 531-543
66. Sessler DI, Moayeri A (1990):
Skin-Surface Warming: Heat Flux and Central Temperature
Anesthesiology 92, 218-224
67. Sessler DI, Schroeder M (1993):
Heat Loss in Humans Covered With Cotton Hospital Blankets
Anesth Analg 77, 73-77
68. Sessler DI, McGuire J, Sessler AM (1991):
Perioperative Thermal Insulation
Anesthesiology 74, 875-879
69. Sessler DI, Schroeder M, Merrifield B, Matsukawa T, Cheng C (1995):
Optimal Duration and Temperature of Prewarming
Anesthesiology 82, 674-681
70. Sheffield CW, Sessler DI, Hunt TK (1994):
Mild Hypothermia during Isoflurane Anesthesia Decreases Resistance to E. coli
Dermal Infection in Guinea Pigs
Acta Anaesthesiol Scand 38, 201-205
71. Silbernagl S, Despopoulos A:
Wärmehaushalt und Temperaturregulation
in: Taschenatlas der Physiologie; Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York 1991,
192-195

72. Sladen RN (1991):
Thermal Regulation in Anesthesia and Surgery
Am Soc Anesth 19, 165-187
73. Slotman GJ, Jed EH, Burchard KW (1985):
Adverse Effects of Hypothermia in Postoperative Patients
Am J Surg 149 (4), 495-501
74. Smith CE, Gerdes E, Sweda S, Myles C, Punjabi A, Pinchak AC, Hagen JF (1998):
Warming Intravenous Fluids Reduces Perioperative Hypothermia in Woman Undergoing Ambulatory Gynecological Surgery
Anesth Analg 87, 37-41
75. Stewart SMB, Lujan E, Ruff CL (1987):
Incidence of Adult Hypothermia in the Post Anesthesia Care Unit
Periop Nurs Q 3, 57-62
76. Stoneham M, Howell S, Neill F (2000):
Heat Loss during Induction of Anesthesia for Elective Aortic Surgery
Anaesthesia 55, 79-85
77. Ulmer HV:
Energiehaushalt
in: Einführung in die Physiologie des Menschen;
hrsg. v. Schmidt RF, Thews G,
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1987, 651-659
78. Valeri CR, Khabbaz K, Khuri SF, Marquardt C, Ragno G, Feingold H, Gray AD, Axford T (1992):
Effect of Skin Temperature on Platelet Function in Patients Undergoing Extracorporeal Bypass
J Thorac Cardiovasc Surg 104, 108-116
79. Vaughan MS, Vaughan RW, Cork RC (1981):
Postoperative Hypothermia in Adults: Relationship of Age, Anesthesia and Shivering to Rewarming
Anesth Analg 60, 746-751

80. Villamaria FJ, Baisden CE, Hillis A, Rajab MH, Rinaldi PA (1997):
Forced-air Warming Is No More Effective Than Conventional Methods for
Raising Postoperative Core Temperature After Cardiac Surgery
J Cardiothorac Vasc Anesth 11, 708-711
81. Wenisch C, Narzt E, Sessler DI, Parschalk B, Lenhardt R, Kurz A, Graninger W
(1996):
Mild Intraoperative Hypothermia Reduces Production of Reactive Oxygen
Intermediates by Polymorphonuclear Leukocytes
Anesth Analg 82, 810-816
82. Weyland W, Rathgeber J, Fritz U (1998):
Strategien zur Optimierung einer Wärmekonservierung
in: Minisymposium Perioperative Hypothermie; hrsg. v. Weyland W, Braun U
Anaesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 33, 395-398
83. Zink RS, Iaizzo PA (1993):
Convective Warming Therapy Does Not Increase the Risk of Wound
Contamination in the Operating Room
Anesth Analg 76, 50-53

8 Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 3-1: Gruppeneinteilung	23
Tab. 4-1: Demographische Patientendaten (Mittelwert (Min↔Max))	30
Tab. 4-2: Behandlungszeiträume (Mittelwert (Min↔Max))	31
Tab. 4-3: Verlauf der ösophagealen Temperatur (Mittelwert (Min↔Max))	32
Tab. 4-4: Verlauf der nasopharyngealen Temperatur (Mittelwert (Min↔Max))	34
Tab. 4-5: Flüssigkeitshaushalt (Mittelwert (Min↔Max))	37
Tab. 4-6: Laborchemische Parameter (Mittelwert (Min↔Max))	40
Tab. 4-7: Postoperatives Frieren und Kältezittern	40
Tab. 4-8: Postoperative Analgesie	41

9 Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 2-1: Modell der Thermoregulation	5
Abb. 4-1: Zeitliche Änderung der Körperkerntemperatur (Mittelwerte)	32
Abb. 4-2: Verlauf der Körperkerntemperatur (Mittelwerte)	33
Abb. 4-3: Zeitliche Änderung der nasopharyngealen Temperatur	34
Abb. 4-4: Verlauf der nasopharyngealen Temperaturen	35
Abb. 4-5: Bland-Altman-Diagramm zum Zusammenhang zwischen	36
Abb. 4-6: Bland-Altman-Diagramm zum Zusammenhang zwischen	36
Abb. 4-7: Systolischer Blutdruck (MW±SD)	37
Abb. 4-8: Diastolischer Blutdruck (MW±SD)	38
Abb. 4-9: Herzfrequenz (MW±SD)	38
Abb. 4-10: Sauerstoffsättigung (MW±SD)	39
Abb. 4-11: Endexpiratorisches CO ₂ (MW±SD)	39