

Prävention der Hypothermie bei Kaiserschnittenbindungen mittels Zero-Heat-Flux Thermometrie und aktiver Luftwärmung

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

der Hohen Medizinischen Fakultät

der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

Bonn

Laurentiu Marin

aus Drăgășani / Rumänien

2022

Angefertigt mit der Genehmigung
der Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter*in: Prof. Dr. med. Stefan Schröder
2. Gutachter*in: Prof. Dr. Ulrich Gembruch

Tag der Mündlichen Prüfung: 27.10.2022

Aus der Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin
Direktor*in: Univ.-Prof. Dr. med. Mark Coburn

für Esther und Amelia

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	6
1. Deutsche Zusammenfassung	7
1.1 Einleitung	7
1.2 Material und Methoden	8
1.2.1 Ethik	8
1.2.2 Patientenkollektiv	8
1.2.3 Messmethode und Datenerhebung	9
1.2.4 Statistische Analyse	10
1.3 Ergebnisse	11
1.4 Diskussion	16
1.5 Zusammenfassung	21
1.6 Literaturverzeichnis der deutschen Zusammenfassung	21
2. Veröffentlichung	27
Abstract	27
Introduction	28
Methods	28
Results	30
Discussion	32
References	34
3. Danksagung	36

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	Varianzanalyse (<i>ANalysis Of VAriance</i>)
AUC36	Fläche unter der Kurve (<i>Area Under the Curve</i>) für eine Körperkerntemperatur <36,0°C
AW	Aktive Wärmung
AWR	Aufwachraum
BE	Basenüberschuss (<i>Base Excess</i>)
BMI	Körpermasseindex (<i>Body-Mass-Index</i>)
NICE	National Institute for Health and Clinical Excellence
NG	Neugeborene
OR	Operationsraum
PW	Passive Wärmung
SC	Sectio Caesarea
STROBE	Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology
T	Temperatur
Tmin	niedrigste aufgezeichnete Temperatur während der Beobachtungszeit
ZHF	Zero-Heat-Flux
χ^2	Chi-Quadrat

1. Deutsche Zusammenfassung

1.1 Einleitung

Der Anteil der Kaiserschnittentbindungen nimmt weltweit kontinuierlich zu (Betran et al., 2016). Es wird geschätzt, dass Kaiserschnittentbindungen heute etwa 7 % aller chirurgischen Eingriffe weltweit ausmachen (Weiser et al., 2012). Aktuelle Studien zeigen, dass bei etwa 94 % der Kaiserschnittentbindungen in den USA eine neuraxiale Anästhesie angewendet wird (Juang et al., 2017).

Veröffentlichte Leitlinien definieren die ungewollte Absenkung der Körperkerntemperatur eines Patienten auf unter 36°C als unbeabsichtigte perioperative Hypothermie (NICE Guideline, 2016; Torossian et al., 2019). Die Hypothermie kann das Risiko von Komplikationen wie Infektionen an der Operationsstelle, Myokardischämie, Koagulopathien, verändertem Arzneimittelstoffwechsel und verlängerter Aufenthaltsdauer erhöhen (Billeter et al., 2014; Melling et al., 2001; Schmied et al., 1996).

Es wird postuliert, dass eine Hypothermie nach neuraxialen Blockaden durch Umverteilung der Körperwärme vom Körperkern zur Peripherie durch eine Sympathektomie des Unterkörpers und veränderte Schwellenwerte für thermoregulatorische Mechanismen, wie Vasokonstriktion und Zittern, verursacht wird (Horn et al., 2002; Sessler, 2016). In diesem Zusammenhang sollte berücksichtigt werden, dass nur ein kleiner Teil der Patientinnen, die sich einem Kaiserschnitt unter Spinalanästhesie unterziehen, mit einer Hypothermie symptomatisch werden (Hess et al., 2005; Sessler, 2016). Vor diesem Hintergrund bleiben in der klinischen Praxis die meisten Patientinnen mit einer Hypothermie unentdeckt, wenn die Körperkerntemperatur nicht richtig überwacht wird. Die Häufigkeit einer perioperativen Hypothermie wird in gebärender Population zwischen 32 % bis 91 % angegeben (Cobb et al., 2016; Hess et al., 2005).

Frühere Studien haben gezeigt, dass die mütterliche Temperatur bei der Geburt auch für die Temperatur des Neugeborenen verantwortlich ist und zudem Auswirkungen auf die pH-Werte und den Apgar-Score hat (Horn et al., 2014; Lavesson et al., 2018). Darüber hinaus liegen die Hypothermieraten der Neugeborenen nach Kaiserschnittentbindungen während des Bondings nachweislich bei bis zu 80 % (Horn et al., 2014).

Mit der vorliegenden Studie soll das Ausmaß der Hypothermie sowohl im Operationsaal als auch bis zu drei Stunden postoperativ in der Erholungsphase untersucht werden. Ein weiteres Ziel ist, eine mögliche direkte Kausalität der mütterlichen Hypothermie auf die Körpertemperatur der Neugeborenen bei der Geburt und nach der Entlassung aus dem Aufwachraum (AWR) zu untersuchen. Unsere Hypothese ist, dass der Einsatz von intraoperativer aktiver Luftwärmung den Temperaturabfall der Mutter während eines Kaiserschnitts unter Spinalanästhesie und damit die Hypothermie bei Neugeborenen während des Bondings an der Brust der Mutter verhindern könnte. Eine Besonderheit im Rahmen der Studie ist die Verwendung der kontinuierlichen Thermometrie mittels ZHF-Technologie. Dabei werden die Temperaturdaten automatisch durch einen innovativen Datenlogger aufgenommen.

1.2 Material und Methoden

1.2.1 Ethik

Die vorliegende Studie wurde von der Ethikkommission der Ärztekammer Nordrhein in Düsseldorf begutachtet (236/2019). Eine Einwilligung der Patientinnen war aufgrund des retrospektiven Studiendesigns mit vollständiger Anonymisierung der Daten nicht erforderlich.

Unsere retrospektive Kohortenstudie erfolgte auf der Basis der STROBE Empfehlungen und wurde in der Anästhesieabteilung des St. Marien-Hospitals in Düren, Deutschland, durchgeführt (von Elm et al., 2008). Das Studienprotokoll wurde unter www.ClinicalTrials.gov mit der Registrierungsnummer NCT04132154 am 18.10.2019 registriert.

1.2.2 Patientenkollektiv

Die Daten umfassen alle Kaiserschnittgeburten in Spinalanästhesie, die vom 01.04.2019 bis 31.08.2019 im Rahmen eines internen Qualitätsaudits erhoben wurden. Es wurden zwei Gruppen gebildet: Die erste Gruppe umfasste Patientinnen, die nach unserem früheren Protokoll in Form von passiver Wärmung mit Baumwolldecken behandelt wur-

den, während die zweite Gruppe die Patientinnen einschloss, die nach der Umsetzung der deutschen S3-Leitlinie zur Vermeidung perioperativer Hypothermie behandelt wurden und in diesem Kontext zusätzlich auch konvektiv mit Luftwärmung durch eine Unterkörperdecke gewärmt wurden (Torossian et al., 2019). Die Ausschlusskriterien zur Aufnahme in die Studie waren Folgende: anderes Anästhesieverfahren (z.B. Intubationsnarkose, Periduralanästhesie etc.), BMI > 45 kg·m⁻², Patientinnen mit unvollständiger Dokumentation, geschätzter perioperativer Blutverlust > 500 ml, infundiertes Gesamtfüssigkeitsvolumen > 2000 ml und andere perioperative Komplikationen (z. B. unzureichende Analgesie und Änderung des Narkoseverfahrens).

1.2.3 Messmethode und Datenerhebung

Die Körperkerntemperatur wurde kontinuierlich mit dem 3M[®] Bair Hugger[®] Temperature Monitoring System (ehemals SpotON[®], 3M[®] USA, St. Paul, USA) überwacht und automatisch von einem 3M[®] Temperature Hard Drive (3M[®] Deutschland GmbH, Neuss Deutschland) aufgenommen.

Bei der Ankunft im Operationssaal wurde eine Standardüberwachung durchgeführt, die aus einem Elektrokardiogramm, einem Pulsoximeter und einer nicht-invasiven Blutdruckmessung bestand. Der ZHF-Temperatursensor wurde auf der rechten Stirnseite angebracht. Alle Patientinnen erhielten eine Baumwolldecke, die über den Armen und dem Oberkörper ausgebreitet wurde. Die Patientinnen der Gruppe mit der aktiven Wärmung bekamen zusätzlich bis zur Entlassung aus dem Operationssaal eine konvektive Luftwärmung durch eine Unterkörperdecke (Modell 585 der 3M[®] BairHugger[®]-Serie). Beide Gruppen erhielten weder Vorwärmung noch aktive Wärmung in der postoperativen Phase.

Die Spinalanästhesie wurde von einem zufällig zugewiesenen Anästhesisten eingeleitet. Die Punktionsstelle wurde zuerst mit Mepivacain infiltriert, woraufhin eine Spinalpunktion auf L3/4- oder L4/5-Niveau mit einer 25G Whitacre-Spinalnadel folgte. Gemäß der institutionellen Standardpraxis wurden hyperbares Bupivacain in der Dosis von 0,05mg·cm⁻¹ (Größe der Patientin) mit 2,5µg Sufentanil und 1µg·kg⁻¹ Morphin (maximale Dosis von 80µg) in den Spinalraum injiziert. Vor Beginn der Operation wurde das Ausmaß der sen-

sorischen Blockade durch einen Nadelstich getestet und die Anästhesie wurde als ausreichend bewertet, wenn die sensorische Blockierung mindestens auf T6-Dermatomniveau lag. In diesem Rahmen liefert unsere Studie eine hochauflösende Körperkerntemperaturüberwachung bei geburtshilflichen Patientinnen von der Einleitung des thermischen Insults bis zur Erholungsphase.

Die Blutabnahme wurde bei der Geburt durch Punktion der Nabelvene von den Gynäkologen durchgeführt und die rektalen Temperaturen sowie die APGAR-Scores wurden durch Pädiater aufgezeichnet. Am Ende der Operation erhielten alle Patientinnen eine passive Isolierung mit Baumwolldecken. Die Entlassung aus dem Aufwachraum lag im Ermessen der Hebammen, wobei die Patientinnen gemäß der institutionellen Praxis nicht entlassen werden konnten, solange das Niveau der Spinalanästhesie über L1 blieb.

Die mütterliche Hypothermie wurde als Körperkerntemperatur von weniger als 36°C definiert, während die Hypothermie bei Neugeborenen gemäß den aktuellen Richtlinien und früheren Studien bei einer Körperkerntemperatur von weniger als 36,5°C definiert wurde (McCall et al., 2018; NICE Guideline, 2016; Torossian et al., 2019). Primärer Endpunkt war der Temperaturabfall und die Hypothermierate mit und ohne aktiver Wärmung sowohl in der peri- als auch in der postoperativen Phase. Die neonatalen Outcome-Parameter (Rektaltemperatur bei Geburt und Entlassung aus dem Aufwachraum, pH-Wert und Basenüberschuss des Nabelvenenbluts und APGAR-Score) wurden im Rahmen des Bondingkonzepts überprüft.

1.2.4 Statistische Analyse

Die Daten aus dem Datenlogger wurden als Datenbank exportiert und die Artefakte wurden vor der statistischen Analyse filtriert, wobei alle Werte unter 30°C entfernt wurden. Zusätzlich wurden Datenpunkte, die sich innerhalb von 10 Sekunden um 0,1°C oder mehr vom vorherigen Wert unterschieden, aufgrund der fehlenden physiologischen Plausibilität entfernt.

Demografische Daten, Fallmerkmale und Temperaturlaufzeichnungen wurden unter Verwendung deskriptiver Statistik zusammengefasst. Die Verteilungsmuster der Maße

wurden durch Histogramme, Quantil-Quantil-Plots und den Shapiro-Wilk-Test beobachtet. Der Tiefpunkt der Temperatur wurde durch einen T-Test oder, wenn keine Gauß-Verteilung angegeben war, mit Hilfe von Einweg-ANOVA analysiert. Um Unterschiede in nominalen oder kategorialen Variablen zu testen, wurde der χ^2 -Test angewendet. Der exakte Test nach Fisher wurde angewendet, wenn die Anzahl der Messungen fünf oder weniger betrug. Wiederholte Messungen zwischen den beiden Gruppen im Zeitverlauf wurden mittels verallgemeinerter linearer gemischter Modelle analysiert. Die Zeit wurde als Zufallsfaktor behandelt und für den Mehrfachvergleich durch einen Tukey-Test angepasst. Heteroskedastizität wurde durch die Kenward-Roger-Approximation behandelt. Die Fläche unter der Kurve der mittleren Temperatur beider Gruppen (unter 36°C, AUC36) wurde im Modell als abhängige Variable behandelt. Als unabhängige Prädiktoren wurden die Anwendung einer Wärmedecke (Dichotomie ja/nein) und die Zeitpunkte analysiert.

1.3 Ergebnisse

Insgesamt konnten 111 Patientinnen identifiziert werden, die in die Analyse aufgenommen werden konnten: 59 Patientinnen wurden in die Gruppe aufgenommen, die keine aktive Luftwärmung erhielt (PW-Gruppe) und 52 Patientinnen zählen zu der aktiv erwärmten Gruppe (AW-Gruppe). Es existieren keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen bezüglich demografischer, geburtshilflicher und chirurgischer Daten oder Behandlungsprotokollen.

Tab. 1: Demografische und klinische Daten. Die Ergebnisse werden als Mittelwerte \pm Standardabweichung oder als Prozentsatz entsprechend dargestellt. Modifiziert nach Marin et al., 2022.

	PW-Gruppe (n=59)	AW-Gruppe (n=52)	P-Wert
Alter (Jahre)	31,6 \pm 4,95	30,2 \pm 6,79	0,21
BMI (kg*m ⁻²)	31,3 \pm 6,40	30,9 \pm 4,97	0,67
Gestationsalter (Wochen)	38,7 \pm 1,84	38,7 \pm 1,67	0,88
Anästhesie zur Entlassung OR (min)	57,2 \pm 11,7	60,3 \pm 16,1	0,24
Diabetes, n (%)	8 (13,6)	8 (15,4)	0,78
Schilddrüsenerkrankung, n (%)	14 (23,7)	8 (15,4)	0,27
Primäre SC, n (%)	45 (76,3)	45 (86,5)	0,168
Sekundäre SC, n (%)	14 (23,7)	7 (14,5)	0,168
Zwillingsgeburten, n (%)	3 (5,1)	2 (3,9)	0,75

Obwohl die Ausgangskerntemperatur der Patientinnen in der PW-Gruppe signifikant höher war als die Ausgangskerntemperatur der AW-Gruppe (37,6°C \pm 0,41 vs. 37,4°C \pm 0,33, P=0,048), erreichte die PW-Gruppe im Operationssaal eine deutlich niedrigere Temperatur von 36,4°C \pm 0,46 (P=0,005) verglichen mit 36,6°C \pm 0,44 (P=0,005) der AW-Gruppe. Darüber hinaus war die Temperatur zum Zeitpunkt der Hautnaht in der PW-Gruppe ebenfalls signifikant niedriger (36,5°C \pm 0,43 vs. 36,7°C \pm 0,46, P=0,017). Die Hypothermierate lag bei 22 % in der PW-Gruppe, während in der AW-Gruppe 11,5 % der Patientinnen während des gesamten Beobachtungszeitraums hypotherm waren (P=0,207).

Tab. 2: Ergebnisse. Die Ergebnisse werden als Mittelwerte \pm Standardabweichung oder als Prozentsatz entsprechend dargestellt. Die Hypothermie der Neugeborenen wurde als eine Körperkerntemperatur $< 36,5^{\circ}\text{C}$ definiert. Modifiziert nach Marin et al., 2022.

	PW-Gruppe (n=59)	AW-Gruppe (n=52)	P-Wert
Mütterliche Ergebnisse			
T Ausgangswert ($^{\circ}\text{C}$)	37,6 \pm 0,41	37,4 \pm 0,33	0,048
Tmin OR ($^{\circ}\text{C}$)	36,4 \pm 0,44	36,6 \pm 0,42	0,08
Tmin AWR ($^{\circ}\text{C}$)	36,4 \pm 0,46	36,6 \pm 0,44	<0,01
T Schnitt ($^{\circ}\text{C}$)	37,3 \pm 0,47	37,1 \pm 0,39	0,06
T Partus ($^{\circ}\text{C}$)	37,1 \pm 0,44	37,0 \pm 0,37	0,21
T Hautnaht ($^{\circ}\text{C}$)	36,5 \pm 0,44	36,7 \pm 0,46	0,02
AUC 36 ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{hr}^{-1}$)	1,90 \pm 5,37	0,52 \pm 2,20	0,12
Hypothermie insgesamt, n (%)	13 (22,0)	6 (11,5)	0,21
Hypothermie OR, n (%)	7 (11,9)	5 (9,6)	0,70
Neonatale Ergebnisse			
T _{NG} Geburt ($^{\circ}\text{C}$), (n)	37,4 \pm 0,3 (29)	37,4 \pm 0,4 (39)	0,67
T _{NG} AWR ($^{\circ}\text{C}$), (n)	36,7 \pm 0,5 (44)	37,0 \pm 0,4 (42)	<0,01
Hypothermie-Fälle AWR, n (%)	13 (15,1)	3 (3,5)	0,016
Gewicht (g)	3236,7 \pm 368,0	3243,5 \pm 623,8	0,32
pH	7,30 \pm 0,05	7,31 \pm 0,05	0,96
BE ($\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$)	-1,47 \pm 2,29	-1,72 \pm 1,76	0,52
APGAR1	8,7 \pm 0,8	8,8 \pm 0,6	0,59
AGPAR5	9,7 \pm 0,7	9,8 \pm 0,5	0,26
APGAR10	9,8 \pm 0,5	9,9 \pm 0,2	0,06

Nach der Narkoseeinleitung kam es in beiden Gruppen zu signifikanten Abfällen der Körperkerntemperatur, wobei für die ersten 45 Minuten der Operation kein bedeutender statistischer Unterschied aufzuweisen war. Ab diesem Zeitpunkt wurde der Unterschied in der Körperkerntemperatur zwischen den beiden Gruppen statistisch signifikant.

Im AWR stieg die Körperkerntemperatur in beiden Gruppen an, jedoch zeigte die AW-Gruppe eine signifikant höhere mittlere Körperkerntemperatur als die Kontrollgruppe.

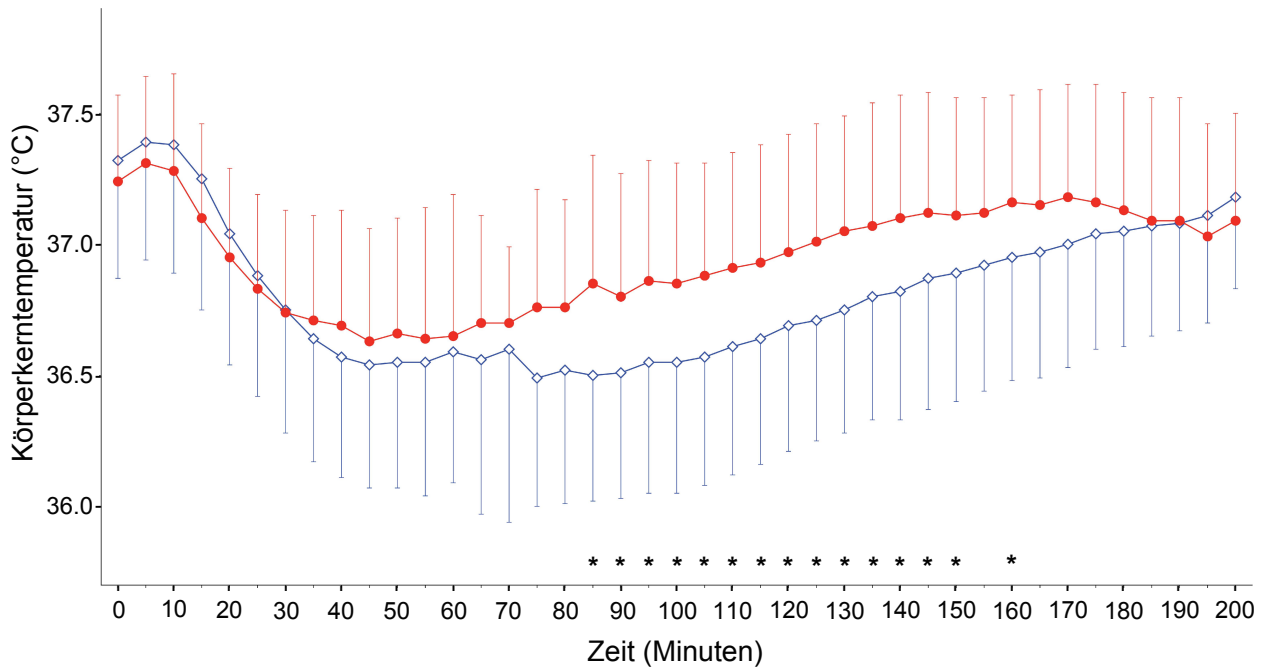


Abb. 1: Mütterliche Körperkerntemperatur. Die Werte werden als Mittelwert dargestellt, die Whisker sind Standardabweichungen. Der Zeitpunkt 0 repräsentiert den Beginn der Spinalanästhesie; Rot = AW-Gruppe; Blau = PW-Gruppe; * = statistisch signifikante Unterschiede AW-Gruppe vs. PW-Gruppe ($P < 0,05$). Modifiziert nach Marin et al., 2022.

Durch Anwendung des neuen Wärmesystems wurde eine deutlich schnellere Erholung der Körperkerntemperatur erreicht.

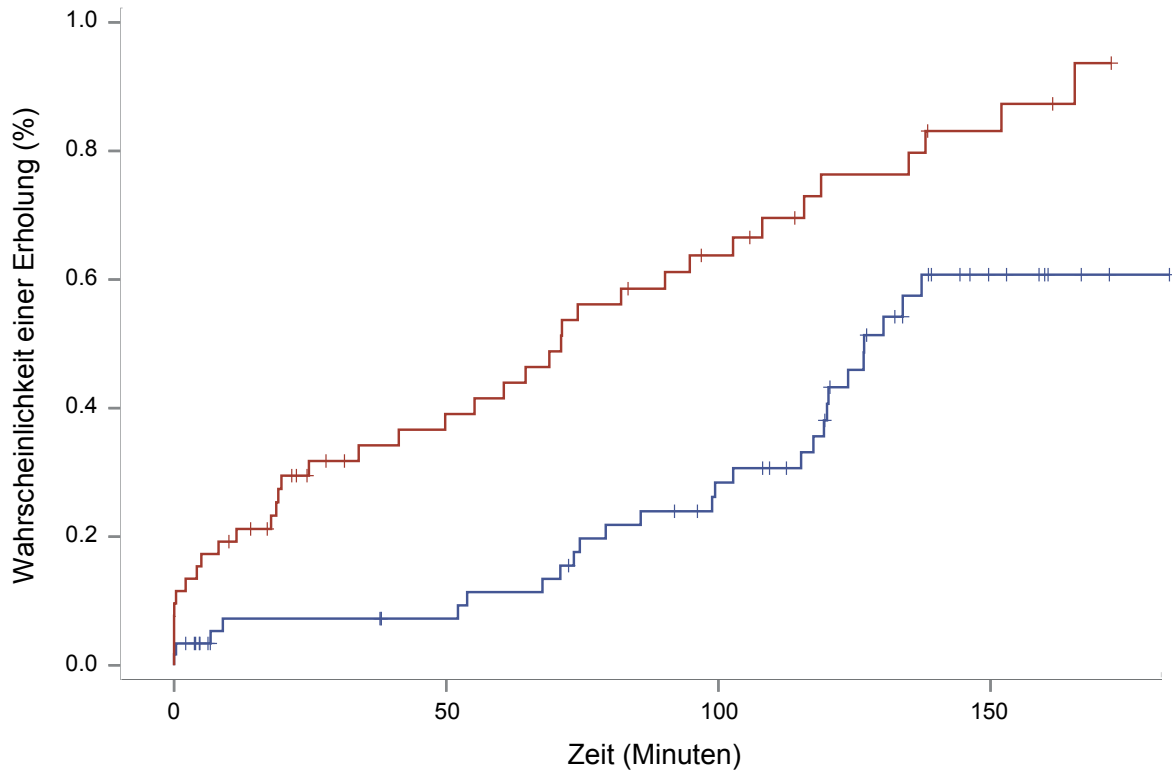


Abb. 2: Wahrscheinlichkeit einer Erholung von einer Hypothermie. Die Kaplan-Meier-Kurve zeigt die Wahrscheinlichkeit, sich von der Hypothermie auf 90 % der Basistemperatur zu erholen. Die Unterschiede sind statistisch signifikant ($P < 0,001$). Zeitpunkt 0 = Tiefpunkt der Temperatur, definiert als die niedrigste aufgezeichnete Temperatur während der Beobachtungszeit; Rot = AW-Gruppe; Blau = PW-Gruppe; Rechtszensierte Daten werden durch “|” dargestellt. Modifiziert nach Marin et al., 2022.

Die Temperaturen der Neugeborenen bei der Geburt waren in beiden Gruppen ähnlich, jedoch waren sie nach der Entlassung aus dem AWR in der PW-Gruppe signifikant niedriger ($36,7^{\circ}\text{C} \pm 0,5$ vs. $37,0^{\circ}\text{C} \pm 0,4$, $P=0,002$).

15,1 % der Neugeborenen in der PW-Gruppe wiesen bei der Entlassung aus dem AWR eine Hypothermie auf, verglichen mit 3,5 % ($P=0,016$) in der AW-Gruppe. Basierend auf pH-, BE- oder APGAR-Werten der Neugeborenen wurde kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen gefunden (siehe Tab. 2).

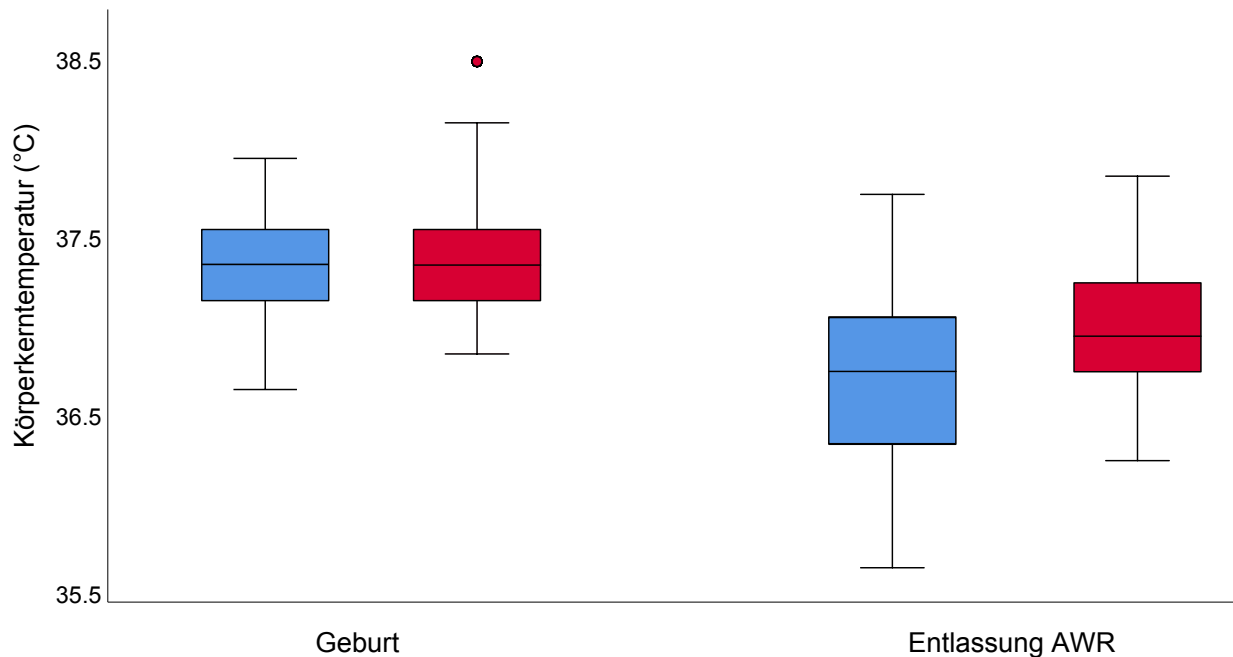


Abb. 3: Körperkerntemperatur der Neugeborenen. Hier dargestellt als Box-Whisker-Plot. Die Boxen geben das untere und obere Quartil an. Die horizontale Linie in jeder Box stellt die mittlere Temperatur dar. Vertikale Linien repräsentieren die minimalen und maximalen aufgezeichneten Temperaturen. Der Punkt außerhalb der Boxen zeigt die Ausreißer. Rot = AW-Gruppe; Blau = PW-Gruppe. Modifiziert nach Marin et al., 2022.

1.4 Diskussion

Durch die Überwachung der Patientinnen sowohl in der operativen als auch in der postoperativen Phase konnte gezeigt werden, dass eine aktive Luftwärmung die Inzidenz von Hypothermie bei Sectioentbindungen wirksam verringert. Das Erwärmen der Patientinnen während des Bondings verhinderte jedoch nicht vollständig eine Hypothermie der Neugeborenen nach der Entlassung aus dem AWR.

Andere Studien zur Vorbeugung von Hypothermie bei gebärenden Patientinnen unter Spinalanästhesie haben zu gemischten Ergebnissen geführt. Butwick et al. (2007) kamen zu dem Schluss, dass eine intraoperative aktive Luftwärmung allein die mütterliche Hypothermie während der Kaiserschnittentbindung nicht verhindern könne. Die Studien von de Bernardis et al. (2016) und Horn et al. (2002) zeigten signifikant höhere mütterli-

che Körperkerntemperaturen bei aktiv gewärmten Sectiopatientinnen. Die Ergebnisse von Cotoia et al. (2021) legen nahe, dass eine Kombination aus Infusionswärmung und aktiver Luftwärmung für einen Kaiserschnitt unter Spinalanästhesie wirksam bei der Verhinderung einer perioperativen Hypothermie sein könnte. Im Gegensatz dazu folgte eine frühere Studie, dass die Kombination schwierig sei und nur mäßige Vorteile bieten könnte (Cobb et al., 2016).

In ihrem prospektiven Design sind diese Studien bei weitem nicht erschöpfend. Eine wesentliche Einschränkung früherer Studien ist das Fehlen einer automatischen kontinuierlichen Körperkerntemperaturmessung. Horn et al. (2014) verwendeten eine sublinguale Sonde, um die Körperkerntemperatur der Patientinnen zeitweise zu bestimmen, während Butwick et al. (2007) ein orales Digitalthermometer benutzte. In einer aktuellen retrospektiven Fall-Kontroll-Studie ermittelten Munday et al. (2018) die Temperaturen über ein Genius First Temp C® (Covidien Ltd., Dublin, Irland) Infrarot Ohrthermometer. Die Daten wurden retrospektiv gesammelt und konzentrierten sich auf die Temperaturen zum präoperativen Zeitpunkt, bei der Ankunft im AWR und bei der AWR-Entlassung.

Es gibt mehrere Veröffentlichungen mit hochauflösenden Daten zum thermischen Insult und zur thermischen Erholung im Zusammenhang mit einer Spinalanästhesie bei Kaiserschnittentbindungen. Die erste ist eine prospektive Studie von Cobb et al. (2016), in der die ZHF-Thermometrie angewendet wurde, wobei bei den 56 in die Studie eingeschlossenen Patientinnen eine postoperative Überwachung nach einem geplanten elektiven Kaiserschnitt für lediglich eine Stunde erfolgte. Du Toit et al. (2018) benutzten in ihrer Beobachtungsstudie an 28 Patientinnen einen einnehmbaren – nicht für den klinischen Alltag geeigneten – telemetrischen Sensor. Cotoia et al. (2021) untersuchten mittels ZHF-Methode die Wirksamkeit kombinierter Erwärmungsstrategien zur Prävention von Hypothermie und die 2021 veröffentlichte prospektive randomisierte kontrollierte Studie von Thorburn et al. ist die bisher größte Studie zur Untersuchung der Hypothermie bei Notkaiserschnittentbindungen.

Die beste Messmethode für die Ermittlung der Körperkerntemperatur wird noch diskutiert. Pulmonalarterienkatheter gelten nach wie vor als die präziseste Messmethode für

die Überwachung der Körperkerntemperatur. Sie sind jedoch für gebärende Patientinnen ungeeignet (Iden et al., 2015).

Die innovative ZHF-Technologie gehört zu den nicht-invasiven und indirekten Methoden der Körperkerntemperaturmessung. Durch die Verwendung von hochisolierendem Schaum, der benutzt wird, um den Wärmeverlust von der Haut an die äußere Umgebung zu verhindern, wird ein isothermer Tunnel zum Kern des Körpers geschaffen. Durch diesen Tunnel steigt die Körperkerntemperatur der Patientin an der Hautoberfläche, wo sie nicht-invasiv gemessen werden kann. Da die Stirn auch bei adipösen Patientinnen fast kein Unterhautgewebe aufweist, ist sie ein optimaler Platz für den ZHF-Temperatursensor (Pesonen et al., 2019). Die Genauigkeit des Geräts von $-0,23^{\circ}\text{C}$ (95 % Konfidenzintervall, $\pm 0,82^{\circ}\text{C}$) im Vergleich zu den Pulmonalarterienkathetermessungen macht es zum bisher genauesten kontinuierlichen nicht-invasiven Körperkerntemperaturmesssystem (Eshraghi et al., 2014). Die Anwendung der ZHF Methode kann in über 90% der Fälle zur richtigen klinischen Entscheidung führen (Bräuer et al., 2020; Lee et al., 2021).

Die Unterkörperdecke wurde aufgrund der Praktikabilität und der Überlegung ausgewählt, Neugeborene nicht in direkten Kontakt mit dem erwärmten Luftstrom zu bringen, auch wenn andere Studien keine Komplikationen bei der Verwendung einer Oberkörperdecke über dem Neugeborenen und der Mutter zeigten (Horn et al., 2014). Hoefnagel et al. (2020) verwendeten eine ähnliche intraoperative Erwärmungsstrategie, wobei die Patientinnen vor der Operation ebenfalls vorgewärmt wurden. Die aktive Wärmung führte zu höheren intra- und postoperativen Körperkerntemperaturen, wobei die Vorwärmung jedoch anfänglich keine höheren Körperkerntemperaturen zu Beginn der Sectio bewirkte.

Auch die Verwendung angewärmter Infusionslösungen in Kombination mit und ohne aktiver Wärmung wurde in verschiedenen Studien bei Kaiserschnittentbindungen untersucht (Canturk et al., 2019; Cotoia et al., 2021; Jun et al., 2019). Ein Cochrane Review zeigte jedoch, dass ihre Wirksamkeit zusammen mit anderen Wärmungsstrategien möglicherweise nicht klar sei (Campbell et al., 2015). Für die vorliegende Studie wurden ba-

lancierte Vollelektrolytlösungen auf Raumtemperatur verwendet. Eine Vorwärmung der Patientinnen war gemäß der Praxis der Einrichtung nicht verfügbar.

Die Vorwärmung kann unpraktisch sein und erfordert manchmal eine völlige Neugestaltung der Logistik der Klinik und des Arbeitsablaufs. Eine standardmäßige Überwachung der Körperkerntemperatur und der Einsatz aktiver Wärmung werden allerdings von den aktuell veröffentlichten Leitlinien für die intraoperative Versorgung bei Kaiserschnittentbindungen nachdrücklich unterstützt (Caughey et al., 2018). Eine genaue und kontinuierliche Temperaturmessung ist unerlässlich, um die Wirksamkeit der Temperaturmanagementstrategie sicherzustellen; dies kann bei Sectiopatinnen durch die Verwendung eines ZHF-Thermometers erreicht werden (Cotoia et al., 2021; Thorburn et al., 2021).

Abgesehen von der aktiven Wärmungstechnik könnten variable Raumtemperaturbedingungen die vorliegenden Ergebnisse beeinflusst haben. Duryea et al. (2016) belegen, dass eine Erhöhung der Temperatur im Operationssaal während eines Kaiserschnitts die Rate der neonatalen und mütterlichen Hypothermie verringern kann.

Die Anästhesietechnik in der vorliegenden Studie basiert auf der Anwendung von intrathekalem hyperbare Bupivacain, ergänzt durch Sufentanil und Morphin, um eine anhaltende analgetische Wirkung zu erzielen. Die perioperative Hypothermie scheint durch intrathekale Opioide verstärkt zu werden; der pathophysiologische Mechanismus, der beschreibt, wie die Opioide die Hypothermie beeinflussen, konnte nicht genau erklärt werden (Butwick et al., 2007). Es wird angenommen, dass die zerebrale Wirkung von Opioiden sowohl für die Änderung des Temperatursollwertes verantwortlich ist, als auch dafür, dass die obere Temperaturschwelle unter dem normalen Zwischenschwellenbereich bleibt (Hess et al., 2005; Sessler, 2016). Munday et al. (2018) konnten keinen Zusammenhang zwischen der Gabe von intrathekalem Morphin und einem stärkeren Körperkerntemperaturabfall nachweisen.

In unserer Studie wurde außerdem die Hypothese überprüft, dass die mütterliche Temperatur und das Fehlen eines angemessenen Wärmemanagements während des operativen Eingriffs das neonatale Outcome beeinflussen könnten. Dabei ist das Haut-zu-

Haut-Bonding während des Kaiserschnitts ein Standardverfahren für gesunde Neugeborene. Eine bessere thermische Stabilität wurde zuvor unter den zahlreichen Vorteilen dieses Verfahrens erwähnt (Moore et al., 2016). Im Vergleich zu anderen Studien, die in einer Metaanalyse von Sultan et al. (2015) ausführlich dargestellt wurden, waren die Körperkerntemperaturen der Neugeborenen unserer Studie bei der Geburt zwischen den beiden Gruppen vergleichbar (siehe Tab. 2). Unsere Studie zeigt zudem, dass ein unzureichendes Wärmemanagement während eines Kaiserschnitts eine Hypothermie bei Neugeborenen fördern kann.

Die vorliegende Studie weist Limitationen auf. Darunter fallen beispielsweise das retrospektive Design sowie das Fehlen von Randomisierung und Verblindung. Im Gegensatz zu früheren Studien wurden Patientinnen mit Stoffwechselstörungen wie Hypothyreose oder vorbestehendem Diabetes mellitus (ausgenommen Typ-1-Diabetes) aus dieser Studie nicht ausgeschlossen, um das primäre Ziel der Studie zu verfolgen, thermische Auswirkungen basierend auf dem aktuellen Krankenhausbehandlungsprotokoll zu untersuchen. Derartige Vorerkrankungen könnten die Thermoregulation nachteilig beeinträchtigen (Iwen et al., 2018; Kitamura et al., 2000).

An dieser Stelle soll noch erwähnt werden, dass die ZHF-Thermometrie möglicherweise nicht geeignet für die Überwachung schneller Änderungen der Körperkerntemperatur ist (Boisson et al., 2018; Lauronen et al., 2022). Sie wurde jedoch in früheren Studien erfolgreich bei Gebärenden eingesetzt (Cobb et al., 2014; Cotoia et al., 2021; Thorburn et al., 2021) und wird als valide Methode der Körperkerntemperaturüberwachung in neu veröffentlichten Leitlinien zur Prävention von Hypothermie unterstützt (NICE Guideline, 2016; Torossian et al., 2019). Aktuelle Studien empfehlen sie als eine wertvolle Alternative auch für die perioperative Temperaturüberwachung anderer Patientenkollektive (Fiorini et al., 2022; Lee et al., 2021; Morettini et al., 2020; Nemeth et al., 2021;). Die Benutzerfreundlichkeit, die gute Patientenverträglichkeit und die kontinuierliche Überwachungsfunktion legen nahe, dass die ZHF-Thermometrie eine praktikable Option zur Umsetzung der Empfehlungen aus der Leitlinie zur Vorbeugung der perioperativen Hypothermie bieten könnte (Munday et al., 2021).

1.5 Zusammenfassung

Aus der vorliegenden Studie können praktische Hinweise für die klinische Standardroutine abgeleitet werden, indem sie neue Erkenntnisse hinsichtlich der Notwendigkeit der Prävention von Hypothermie und Standardisierung der Temperaturüberwachung bei Kaiserschnittentbindungen mit Haut-zu-Haut-Bonding liefert.

Hierbei konnten wir zeigen, dass die Inzidenz einer perioperativen Hypothermie gebärender Patientinnen bei Kaiserschnittentbindungen durch die alleinige Anwendung perioperativer aktiver Luftwärmung wirksam verringert werden kann. Unsere perioperative Wärmungsstrategie konnte jedoch die Hypothermie bei den Neugeborenen nach der Entlassung aus dem AWR nicht verhindern. Weitere Studien sind nötig, die auch das neonatale Outcome einschließen, um ein genaueres Bild davon zu bekommen, inwieweit eine aktive Wärmung während des Haut-zu-Haut-Bondings einen Einfluss auf die Hypothermie der Neugeborenen hat und wie man sie am besten vermeiden kann.

1.6 Literaturverzeichnis der deutschen Zusammenfassung

Betran AP, Ye J, Moller AB, Zhang J, Gulmezoglu AM, Torloni MR. The Increasing Trend in Caesarean Section Rates: Global, Regional and National Estimates: 1990-2014. *PLoS One* 2016; 11: e0148343

Billeter AT, Hohmann SF, Druen D, Cannon R, Polk HC, Jr. Unintentional perioperative hypothermia is associated with severe complications and high mortality in elective operations. *Surgery* 2014; 156: 1245-1252

Boisson M, Alaux A, Kerforne T, Mimoz O, Debaene B, Dahyot-Fizelier C, Frasca D. Intra-operative cutaneous temperature monitoring with zero-heat-flux technique (3M SpotOn) in comparison with oesophageal and arterial temperature: A prospective observational study. *Eur J Anaesthesiol* 2018; 35: 825-830

Bräuer A, Fazliu A, Perl T, Heise D, Meissner K, Brandes IF. Accuracy of zero-heat-flux thermometry and bladder temperature measurement in critically ill patients. *Sci Rep* 2020; 10: 21746

Butwick AJ, Lipman SS, Carvalho B. Intraoperative forced air-warming during cesarean delivery under spinal anesthesia does not prevent maternal hypothermia. *Anesth Analg* 2007; 105: 1413-1419

Campbell G, Alderson P, Smith AF, Warttig S. Warming of intravenous and irrigation fluids for preventing inadvertent perioperative hypothermia. *Cochrane Database Syst Rev* 2015; 4: CD009891

Canturk M, Canturk FK, Kocaoglu N, Hakki M. The effects of crystalloid warming on maternal body temperature and fetal outcomes: a randomized controlled trial. *Rev Bras Anesthesiol* 2019; 69: 13-19

Caughey AB, Wood SL, Macones GA, Wrench IJ, Huang J, Norman M, Pettersson K, Fawcett WJ, Shalabi MM, Metcalfe A, Gramlich L, Nelson G, Wilson RD. Guidelines for intraoperative care in cesarean delivery: Enhanced Recovery After Surgery Society Recommendations (Part 2). *Am J Obstet Gynecol* 2018; 219: 533-544

Cobb B, Cho Y, Hilton G, Ting V, Carvalho B. Active Warming Utilizing Combined IV Fluid and Forced-Air Warming Decreases Hypothermia and Improves Maternal Comfort During Cesarean Delivery: A Randomized Control Trial. *Anesth Analg* 2016; 122: 1490-1497

Cotoia A, Mariotti PS, Ferialdi C, Del Vecchio P, Beck R, Zaami S, Cinnella G. Effectiveness of Combined Strategies for the Prevention of Hypothermia Measured by Noninvasive Zero-Heat Flux Thermometer During Cesarean Section. *Front Med (Lausanne)* 2021; 8: 734768

de Bernardis RC, Siaulys MM, Vieira JE, Mathias LA. Perioperative warming with a thermal gown prevents maternal temperature loss during elective cesarean section. A randomized clinical trial. *Braz J Anesthesiol* 2016; 66: 451-455

du Toit L, van Dyk D, Hofmeyr R, Lombard CJ, Dyer RA. Core Temperature Monitoring in Obstetric Spinal Anesthesia Using an Ingestible Telemetric Sensor. *Anesth Analg* 2018; 126: 190-195

Duryea EL, Nelson DB, Wyckoff MH, Grant EN, Tao W, Sadana N, Chalak LF, McIntire DD, Leveno KJ. The impact of ambient operating room temperature on neonatal and maternal hypothermia and associated morbidities: a randomized controlled trial. *Am J Obstet Gynecol* 2016; 214: 505.e1-505.e7

Eshraghi Y, Nasr V, Parra-Sanchez I, Van Duren A, Botham M, Santoscoy T, Sessler DI. An evaluation of a zero-heat-flux cutaneous thermometer in cardiac surgical patients. *Anesth Analg* 2014; 119: 543-549

Fiorini K, Tamasi T, Dorie J, Hegazy AF, Lee TY, Slessarev M. Non-Invasive Monitoring of Core Body Temperature for Targeted Temperature Management in Post-Cardiac Arrest Care. *Front Med (Lausanne)* 2022; 9: 810825

Hess PE, Snowman CE, Wang J. Hypothermia after cesarean delivery and its reversal with lorazepam. *Int J Obstet Anesth* 2005; 14: 279-283

Hoefnagel AL, Vanderhoef KL, Anjum A, Damalanka V, Shah SJ, Diachun CA, Mongan PD. Improving intraoperative temperature management in elective repeat cesarean deliveries: a retrospective observational cohort study. *Patient Saf Surg* 2020; 14: 14

Horn EP, Schroeder F, Gottschalk A, Sessler DI, Hiltmeyer N, Standl T, Schulte Am Esch J. Active warming during cesarean delivery. *Anesth Analg* 2002; 94: 409-414

Horn EP, Bein B, Steinfath M, Ramaker K, Buchloh B, Hocker J. The incidence and prevention of hypothermia in newborn bonding after cesarean delivery: a randomized controlled trial. *Anesth Analg* 2014; 118: 997-1002

Iden T, Horn EP, Bein B, Bohm R, Beese J, Hocker J. Intraoperative temperature monitoring with zero heat flux technology (3M SpotOn sensor) in comparison with sublingual and nasopharyngeal temperature: An observational study. *Eur J Anaesthesiol* 2015; 32: 387-391

Iwen KA, Oelkrug R, Brabant G. Effects of thyroid hormones on thermogenesis and energy partitioning. *J Mol Endocrinol* 2018; 60: R157-R170

Juang J, Gabriel RA, Dutton RP, Palanisamy A, Urman RD. Choice of Anesthesia for Cesarean Delivery: An Analysis of the National Anesthesia Clinical Outcomes Registry. *Anesth Analg* 2017; 124: 1914-1917

Jun JH, Chung MH, Jun IJ, Kim Y, Kim H, Kim JH, Choi YR, Choi EM. Efficacy of forced-air warming and warmed intravenous fluid for prevention of hypothermia and shivering during caesarean delivery under spinal anaesthesia: A randomised controlled trial. *Eur J Anaesthesiol* 2019; 36: 442-448

Kitamura A, Hoshino T, Kon T, Ogawa R. Patients with diabetic neuropathy are at risk of a greater intraoperative reduction in core temperature. *Anesthesiology* 2000; 92: 1311-1318

Lauronen SL, Kalliomäki ML, Kalliovalkama J, Aho A, Huhtala H, Yli-Hankala AM, Mäkinen MT. Comparison of zero heat flux and double sensor thermometers during spinal anaesthesia: a prospective observational study (Epub ahead of print, 2022 Jan 3). *J Clin Monit Comput* 2022; doi: 10.1007/s10877-021-00799-6

Lavesson T, Kallen K, Olofsson P. Fetal and maternal temperatures during labor and delivery: a prospective descriptive study. *J Matern Fetal Neonatal Med* 2018; 31: 1533-1541

Lee SY, Bong CL, Siow YN, Allen JC. Tympanic membrane-infrared thermometry against zero heat flux thermometry for detection of postoperative hypothermia in children. *Eur J Anaesthesiol* 2021; 38: 1299-1302

Marin L, Höcker J, Esser A, Terhorst R, Sauerwald A, Schröder S. Forced-air warming and continuous core temperature monitoring with zero-heat-flux thermometry during cesarean section: a retrospective observational cohort study. *Braz J Anesthesiol* 2022; 72: 484-492

McCall EM, Alderdice F, Halliday HL, Vohra S, Johnston L. Interventions to prevent hypothermia at birth in preterm and/or low birth weight infants. *Cochrane Database Syst Rev* 2018; 2: CD004210

Melling AC, Ali B, Scott EM, Leaper DJ. Effects of preoperative warming on the incidence of wound infection after clean surgery: a randomised controlled trial. *Lancet* 2001; 358: 876-880

Moore ER, Bergman N, Anderson GC, Medley N. Early skin-to-skin contact for mothers and their healthy newborn infants. *Cochrane Database Syst Rev* 2016; 11: CD003519

Morettini E, Turchini F, Tofani L, Villa G, Ricci Z, Romagnoli S. Intraoperative core temperature monitoring: accuracy and precision of zero-heat flux heated controlled servo sensor compared with esophageal temperature during major surgery; the ESOSPOT study. *J Clin Monit Comput* 2020; 34: 1111-1119

Munday J, Osborne S, Yates P. Intrathecal Morphine-Related Perioperative Hypothermia in Women Undergoing Cesarean Delivery: A Retrospective Case-Control Study. *J Perianesth Nurs* 2018; 33: 3-12

Munday J, Higgins N, Jones L, Vagenas D, Van Zundert A, Keogh S. Zero-Heat-Flux and Esophageal Temperature Monitoring in Orthopedic Surgery: An Observational Study. *J Multidiscip Healthc* 2021; 14: 1819-1827

Nemeth M, Lovric M, Asendorf T, Bräuer A, Miller C. Intraoperative zero-heat-flux thermometry overestimates esophageal temperature by 0.26 °C: an observational study in 100 infants and young children. *J Clin Monit Comput* 2021; 35: 1445-1451

NICE Guideline, 2016. The management of inadvertent perioperative hypothermia in adults. The National Collaborating Centre for Nursing and Supportive Care commissioned by National Institute for Health and Clinical Excellence (NICE). www.nice.org.uk/guidance/cg65. (Zugriffsdatum: 08.01.2021)

Pesonen E, Silvasti-Lundell M, Niemi TT, Kivisaari R, Hernesniemi J, Mäkinen MT. The focus of temperature monitoring with zero-heat-flux technology (3M Bair-Hugger): a clinical study with patients undergoing craniotomy. *J Clin Monit Comput.* 2019; 33: 917-923.

Schmied H, Kurz A, Sessler DI, Kozek S, Reiter A. Mild hypothermia increases blood loss and transfusion requirements during total hip arthroplasty. *Lancet* 1996; 347: 289-292

Sessler DI. Perioperative thermoregulation and heat balance. *Lancet* 2016; 387: 2655-2664

Sultan P, Habib AS, Cho Y, Carvalho B. The Effect of patient warming during Caesarean delivery on maternal and neonatal outcomes: a meta-analysis. *Br J Anaesth* 2015; 115: 500-510

Thorburn PT, Monteiro R, Chakladar A, Cochrane A, Roberts J; South East Anaesthetic Research Chain (SEARCH), Mark Harper C. Maternal temperature in emergency caesarean section (MATES): an observational multicentre study. *Int J Obstet Anesth* 2021; 46: 102963

Torossian A, Becke K, Bein B, Bräuer A, Gantert D, Greif R, Höcker J, Horp EP, Kimberger O, Klar E, Nuhn P, Ruchholtz S, Schwappach D, Welk I, Wulf H, 2019. S3 Leitlinie „Vermeidung von perioperativer Hypothermie“. www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/001-018l_S3_Vermeidung_perioperativer_Hypothermie_2019-08.pdf (Zugriffsdatum: 07.07.2021)

von Elm E, Altman DG, Egger M, Pocock SJ, Gøtzsche PC, Vandenbroucke JP. The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. *J Clin Epidemiol* 2008; 61: 344-349

Weiser TG, Haynes AB, Molina G, Lipsitz SR, Esquivel MM, Uribe-Leitz T, Fu R, Azad T, Chao TE, Berry WR, Gawande AA. Size and distribution of the global volume of surgery in 2012. *Bull World Health Organ* 2016; 94: 201-209F

2. Veröffentlichung

Brazilian Journal of Anesthesiology 2022;72(4): 484–492



Brazilian Journal of ANESTHESIOLOGY



ORIGINAL INVESTIGATION

Forced-air warming and continuous core temperature monitoring with zero-heat-flux thermometry during cesarean section: a retrospective observational cohort study



Laurentiu Marin ^{a,*}, Jan Höcker^b, André Esser ^c, Rainer Terhorst^a, Axel Sauerwald^d, Stefan Schröder ^e

^a St. Marien-Hospital, Department of Anesthesiology and Intensive Care Medicine, Düren, Germany

^b Friedrich-Ebert-Hospital, Department of Anesthesiology and Intensive Care Medicine, Neumünster, Germany

^c RWTH Aachen University, Medical Faculty, Department of Occupational, Social and Environmental Medicine, Aachen, Germany

^d St. Marien-Hospital, Department of Gynecology and Obstetrics, Düren, Germany

^e Krankenhaus Düren, Department of Anesthesiology and Intensive Care Medicine, Düren, Germany

Received 23 March 2021; accepted 30 October 2021

Available online 27 November 2021

KEYWORDS

Cesarean section;
Core temperature;
Hypothermia;
Newborn bonding;
Zero-heat-flux

Abstract

Background: Over 30% of parturients undergoing spinal anesthesia for cesarean section become intraoperatively hypothermic. This study assessed the magnitude of hypothermic insult in parturients and newborns using continuous, high-resolution thermometry and evaluated the efficiency of intraoperative forced-air warming for prevention of hypothermia.

Methods: One hundred and eleven parturients admitted for elective or emergency cesarean section under spinal anesthesia with newborn bonding over a 5-month period were included in this retrospective observational cohort study. Patients were divided into two groups: the passive insulation group, who received no active warming, and the active warming group, who received convective warming through an underbody blanket. Core body temperature was continuously monitored by zero-heat-flux thermometry and automatically recorded by data-loggers. The primary outcome was the incidence of hypothermia in the operating and recovery room. Neonatal outcomes were also analyzed.

Results: The patients in the passive insulation group had significantly lower temperatures in the operating room compared to the actively warmed group (36.4°C vs. 36.6°C, $p = 0.005$), including temperature at skin closure (36.5°C vs. 36.7°C, $p = 0.017$). The temperature of the newborns after discharge from the postanesthetic care unit was lower in the passive insulation group (36.7°C vs. 37.0°C, $p = 0.002$); thirteen (15%) of the newborns were hypothermic, compared to three (4%) in the active warming group ($p < 0.01$).

* Corresponding author.

E-mail: laurentiu.marin@hotmail.com (L. Marin).

<https://doi.org/10.1016/j.bjane.2021.10.007>

0104-0014/© 2021 Sociedade Brasileira de Anestesiologia. Published by Elsevier Editora Ltda. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Conclusion: Forced-air warming decreases perioperative hypothermia in parturients undergoing cesarean section but does not entirely prevent hypothermia in newborns while bonding. Therefore, it can be effectively used for cesarean section, but special attention should be given to neonates.

© 2021 Sociedade Brasileira de Anestesiologia. Published by Elsevier Editora Ltda. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introduction

Nowadays, cesarean sections account for about 7% of all surgical procedures worldwide¹ and over 85% of them are performed under neuraxial anesthesia.² Unintentional cooling of the patient's core temperature under 36.0°C is defined as inadvertent perioperative hypothermia.³ Hypothermia can increase the risk of complications such as surgical site infection, myocardial ischemia, coagulopathy, altered drug metabolism, and increased length of stay.^{4,6} The pathophysiological mechanism responsible for hypothermia after neuraxial blockades seems to be the core-to-peripheral redistribution of body heat through a lower body sympathectomy and altered thresholds for vasoconstriction and shivering.^{7,8}

Only 6% of the hypothermic patients undergoing a cesarean section under spinal anesthesia are symptomatic,^{7,9} and in clinical practice most of them will remain undetected if the core temperature is not properly monitored. Rates of perioperative hypothermia among this population have been estimated in a range from 32%⁹ to as high as 91%¹⁰ despite the use of intraoperative warming techniques.

Previous studies have demonstrated how maternal temperature at birth is also responsible for the temperature of newborns and have shown the impact on the neonatal umbilical vein, arterial pH and APGAR scores.^{11,12} Moreover, the concept of bonding implies an immediate and uninterrupted skin-to-skin contact between the newborn and the mother, and hypothermia rates of newborns during this procedure has proven to be as high as 80%.¹²

The thermal insult and the effect of forced-air warming on a broad heterogenous parturient population including both elective and emergency cesarean sections, corresponding to the majority of the obstetric clinics, has yet to be studied by using modern high-resolution thermometry.

We hypothesize that the use of intraoperative forced-air warming could prevent maternal temperature loss during cesarean section under spinal anesthesia, lead to faster recovery to baseline temperature and prevent hypothermia in newborns while bonding on the mother's chest.

Methods

The corresponding Institutional Review Board - Ärztekammer Nordrhein, Düsseldorf, Germany - waived the requirement for written informed consent due to the retrospective study design and granted full approval for this trial on October 14, 2019 (Ethics Committee No. 236/2019). The study protocol was registered on www.ClinicalTrials.gov (registration number: NCT04132154; date of registration: October 18, 2019).

This analysis followed the Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE)

recommendations¹³ and was carried out in the anesthesia department of the St. Marien-Hospital in Düren, Germany. Over 1,500 deliveries, of which over 37% under cesarean section, were performed at our institution in 2018. Our standard anesthetic technique for cesarean sections is spinal anesthesia with hyperbaric bupivacaine supplemented with sufentanil and morphine.

The data were acquired as part of an internal quality audit between April 1 and August 31, 2019, including all cesarean sections under spinal anesthesia at our facility (Fig. 1). For the first half of the study period, we did not change our standard passive warming protocol using cotton blankets in the operating room. During the second phase, our institution implemented the German S3 Guidelines on prevention of hypothermia,¹⁴ and in addition to passive warming, patients also received convective warming at 43°C through an underbody blanket. Only room temperature balanced full electrolyte solutions were used during our study. Detailed operating room temperature data were not available due to the retrospective design of this study. Patients were divided into two groups: the passive insulation (PI) group and the active warming (AW) group. Neither group received prewarming nor did they receive active warming following surgery.

The exclusion criteria were: different anesthetic procedures (e.g., intubation anesthesia, peridural anesthesia, etc.), BMI > 45 kg m⁻², patients with incomplete documentation, estimated perioperative blood loss > 500 mL, total infused fluid volume > 2,000 mL, and other perioperative complications (ex. insufficient analgesia and change in anesthesia procedure).

Temperature measurements

For this study, the same equipment was used in the operating and recovery rooms. Core temperature was continuously monitored using Zero-Heat-Flux (ZHF) technology (supplementary material) with the 3M™ Bair Hugger™ Temperature Monitoring System (former SpotON™, 3M™ USA, St. Paul, MN, USA, accuracy -0.23°C),¹⁵ and a 3M™ Temperature Hard Drive (3M™ Deutschland GmbH, Neuss, Germany) logging system was used to continuously and automatically record the data to ensure user-error free data acquisition from the induction of thermal insult to the recovery phase. The newborns' rectal temperature was measured using a standard hospital digital thermometer (AMPri Med-Comfort Modell 09801, Winsen, Germany, accuracy ± 0,05°C).

Anesthetic and temperature management

Preoperatively, all patients received 30 mL sodium citrate oral premedication and an infusion of 1,000 ml full balanced

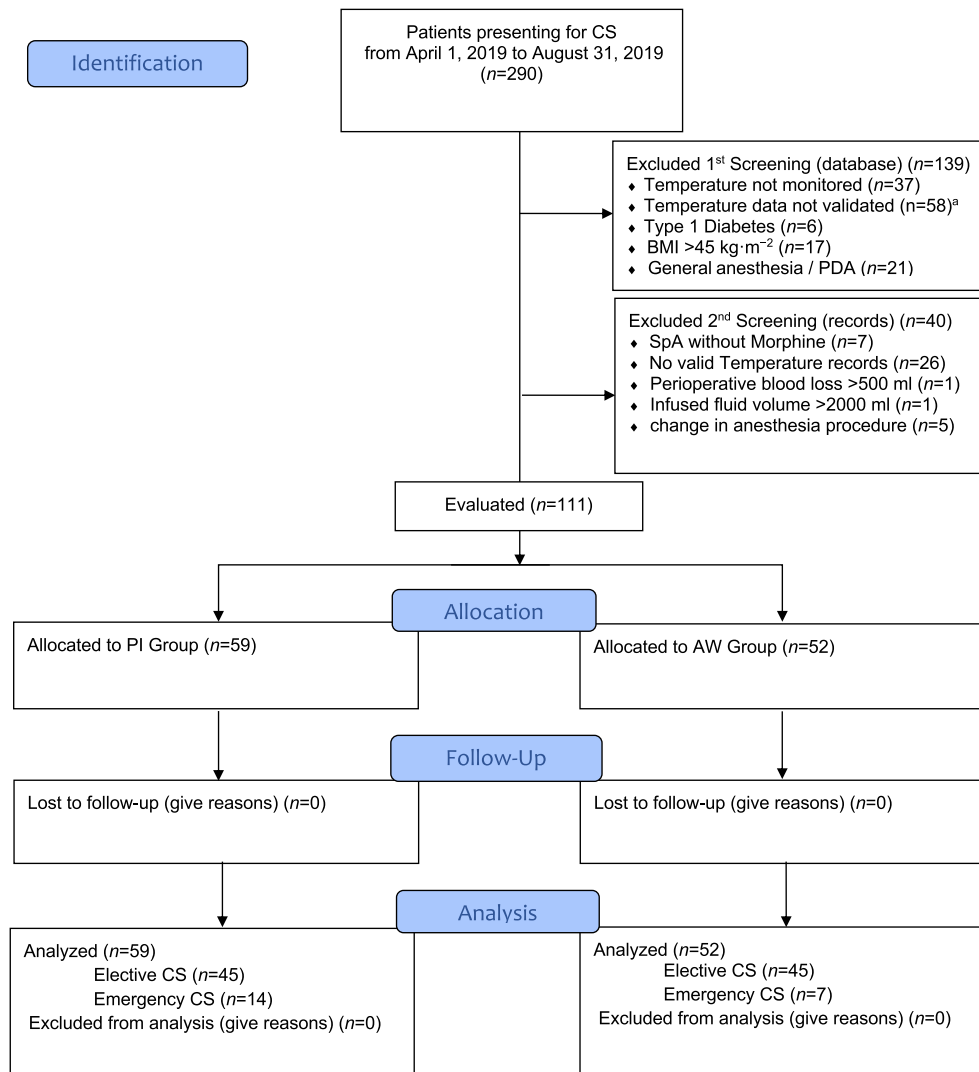


Figure 1 Flow Diagram of the study based on the STROBE Statement. Explanatory footnote: CS, cesarean section; PDA, peridural anesthesia; SpA, spinal anesthesia; PI, passive insulation; AW, active warming.

^a Data were considered valid if temperature monitoring was started prior to induction of anesthesia and the calibration of the ZHF sensor was completed.

electrolyte solution at room temperature. In the operating room standard monitoring – ECG (electrocardiogram), pulse oximeter, non-invasive blood pressure and ZHF temperature monitor sensor on the right side of the forehead – was applied on arrival. All parturients received a cotton blanket over their arms and upper torso, whereas the AW group patients additionally received active warming through an underbody blanket with forced-air flow at 43 °C (model 585, 3M™ Bair Hugger™ series) upon the application of the sterile sheets and until discharge from the operating room. Spinal anesthesia was induced by one of our randomly assigned anesthesiologists. The puncture site was first infiltrated with mepivacaine, and then dural puncture was performed at the L3/4 or L4/5 level with a 25G Whitacre spinal needle. As per our institutional standard practice, after confirmation of

free-flowing, clear cerebrospinal fluid, 0.05 mg·cm⁻¹ (patient's height) hyperbaric bupivacaine with 2.5 μg sufentanil and 1 μg·kg⁻¹ morphine (maximum dose of 80 μg) were injected into the subarachnoid space. Balanced electrolyte solutions at room temperature, vasoconstrictors (Akrinor™, ratiopharm GmbH, Ulm, Germany) and Atropine were used at the discretion of the primary anesthesiologist. In this setting, we were able to continuously monitor the core temperature of our patients before and during the induction of the spinal anesthesia, throughout the entire operative procedure, and also up to 3 hours postoperatively in the recovery room.

As per standard practice, newborn umbilical vein pH samples were collected at birth by the gynecologists and the rectal temperatures as well as the APGAR Scores were

recorded by the pediatricians. If the newborn was deemed stable, he/she was positioned naked on the mother's chest and secured with an elastic strap. The skin-to-skin contact was carried out in the operating room during surgery and in the postanesthetic care unit (PACU).

After the operating procedure, all parturients received passive insulation with cotton blankets in the maternity ward. Discharge from the maternity ward was at the disposition of the midwives; however, as per institutional practice, the patients could not be discharged while the level of spinal anesthesia remained above L1.

According to current guidelines and previous studies,^{3,14,16} maternal hypothermia was defined as a core body temperature lower than 36°C while hypothermia among newborns was recorded at a core temperature less than 36.5°C.

Baseline temperature was defined as the first recorded temperature validated after the calibration of the ZHF sensor while nadir temperature was defined as the lowest recorded temperature during the observation time.

The primary outcome was incidence of hypothermia during the peri- and postoperative phases. Neonatal outcomes (rectal temperature at birth and discharge from the recovery room, umbilical venous blood pH, base excess and APGAR score) were also reviewed in the context of the concept of bonding.

Data collection

The data from the data loggers were imported into the corresponding 3M™ Bair Hugger Temperature Intelligence™ software application (Version 1.0.3, 3M™ Deutschland GmbH, Neuss Germany). At this point the constructed database was visually processed and patients with incomplete data were excluded from further analysis. Data were considered valid if temperature monitoring was started prior to induction of anesthesia and the calibration of the ZHF sensor was completed. The remaining data were exported in a datasheet format and further handled and processed with Microsoft Excel (Mac 2019, Microsoft Inc, Redmond, WA). Raw core temperature data were processed to filter artefactual data before statistical analysis whereby all values under 30°C were removed, after which data points varying by 0.1°C or more in 10 seconds from the preceding value were removed on the basis of physiological implausibility. Through visual comparison of raw and processed temperature data, we confirmed that no critical information was accidentally deleted during

processing. It is plausible to assume that the excluded data were missing completely at random and no adjustments have been made in this regard. The datasets used during this study can be provided by the corresponding author on request.

Statistical analysis

Patient demographics, case characteristics, and temperature recordings were summarized using descriptive statistics. All statistical analyses were performed using SAS version 9.4 software (Windows x64, SAS Institute Inc. Cary, NC). Descriptive statistics were performed and distribution patterns of measures were observed by histograms, quantile-quantile plots and the Shapiro-Wilk test. We analyzed measures at single time points like temperature at time of skin closure or nadir of temperature by *t*-test or, if Gaussian distribution was not given, by one-way ANOVA. The χ^2 test was applied to test for differences in nominal or categorical variables. If the number of measures was five or lower, we applied Fisher's exact test.

For the analyses of repeated measurement between the two groups over time, we established generalized linear mixed models. We blocked patient ID, treated time as a random factor, and adjusted for multiple comparisons by a Tukey test. Heteroscedasticity was treated by Kenward-Roger approximation.

Nadir temperature and baseline temperature were used to calculate probability to recover from hypothermia. The time from nadir temperature to 30%, 50%, 70%, and 90% recovery to baseline temperature was obtained. SAS Proc Lifetest was used to conduct time-to-event analysis and generate Kaplan-Meier curves. Estimates of median recovery times were obtained. Homogeneity of time-to-event curves between treatments was tested using log-rank statistics. Data were right censored at the last available temperature measurement or 200 minutes post nadir temperature.

Results

Out of 290 reviewed records, we identified a total of 111 patients to be enrolled in the final analysis; 59 patients were included in the PI group, leaving 52 parturients for the AW group. There were no statistically significant differences between the two groups based on demographic, obstetric, or surgical data or based on treatment protocols.

Demographic data are summarized in Table 1; maternal and newborn outcomes are presented in Table 2.

Table 1 Demographic and perioperative data.

	PI group (n = 59)	AW group (n = 52)	p-value
Age (years)	31.6 ± 4.95	30.2 ± 6.79	0.21
BMI (kg·m ⁻²)	31.3 ± 6.40	30.9 ± 4.97	0.67
Gestational age (weeks)	38.7 ± 1.84	38.7 ± 1.67	0.88
Anesthesia to discharge OR (min)	57.2 ± 11.7	60.3 ± 16.1	0.24
Diabetes, n (%)	8 (13.6)	8 (15.4)	0.78
Thyroid disorder, n (%)	14 (23.7)	8 (15.4)	0.27
Primary CS, n (%)	45 (76.3)	45 (86.5)	0.168
Emergency CS, n (%)	14 (23.7)	7 (14.5)	0.168
Twin births, n (%)	3 (5.1)	2 (3.9)	0.75

Values are expressed as mean ± SD, and percentage as appropriate. There was no statistically significant difference between groups (*p* > 0.05 for all comparisons). PI, passive insulation; AW, active warming; OR, operating room; CS, cesarean section.

Table 2 Maternal and neonatal outcomes.

	PI group (n = 59)	AW group (n = 52)	p-value
Maternal outcomes			
T Baseline (°C)	37.6 ± 0.41	37.4 ± 0.33	0.048
T _{min} OR (°C)	36.4 ± 0.44	36.6 ± 0.42	0.08
T _{min} PACU (°C)	36.4 ± 0.46	36.6 ± 0.44	< 0.01
T Incision (°C)	37.3 ± 0.47	37.1 ± 0.39	0.06
T Partus (°C)	37.1 ± 0.44	37.0 ± 0.37	0.21
T Skin Closure (°C)	36.5 ± 0.44	36.7 ± 0.46	0.02
AUC 36 (°C*hr ⁻¹)	1.90 ± 5.37	0.52 ± 2.20	0.12
Hypothermia overall, n (%)	13 (22.0)	6 (11.5)	0.21
Hypothermia OR, n (%)	7 (11.9)	5 (9.6)	0.70
Neonatal outcomes			
T _{NB} OR (°C), (n)	37.4 ± 0.3 (29)	37.4 ± 0.4 (39)	0.67
T _{NB} PACU (°C), (n)	36.7 ± 0.5 (44)	37.0 ± 0.4 (42)	< 0.01
Hypothermia cases PACU ^a , (%)	13 (15.1)	3 (3.5)	0.016
Weight (g)	3236.7 ± 368.0	3243.5 ± 623.8	0.32
pH	7.30 ± 0.05	7.31 ± 0.05	0.96
BE (mmol*l ⁻¹)	-1.47 ± 2.29	-1.72 ± 1.76	0.52
APGAR1	8.7 ± 0.8	8.8 ± 0.6	0.59
AGPAR5	9.7 ± 0.7	9.8 ± 0.5	0.26
APGAR10	9.8 ± 0.5	9.9 ± 0.2	0.06

$p < 0.05$ was considered statistically significant. T, temperature; AUC36, area under the time-temperature curve for a core temperature < 36.0°C; PI, passive insulation; AW, active warming; PACU, postanesthetic care unit; T_{NB} OR, newborn's core temperature at birth; T_{NB} PACU, newborns core temperature at discharge from PACU; BE, base excess; APGAR1/5/10 APGAR score at 1, 5 and respectively 10 minutes after birth.

^a Newborn hypothermia was defined as a core body temperature lower than 36.5°C.

The changes in core temperature during the peri- and postoperative periods in the two groups are presented in Figure 2. The baseline core temperature of the patients in the PI group was significantly higher than the baseline core temperature of the AW group (37.6°C ± 0.41 vs. 37.4 ± 0.33°C, $p = 0.048$). A significantly lower temperature of 36.4°C ± 0.46 ($p = 0.005$) was reached by the PI group in the operating room, compared to 36.6°C ±

0.44, ($p = 0.005$) reached by the AW group. Further, temperature at the time of skin closure was also significantly lower in the PI group (36.5°C ± 0.43 vs. 36.7°C ± 0.46, $p = 0.017$). Thirteen patients (22%) in the PI group and six (11.5%) in the AW group were hypothermic during the entire observation period ($p = 0.207$).

A significant, faster recovery to baseline temperature was achieved if active warming was applied (Fig. 3). In all

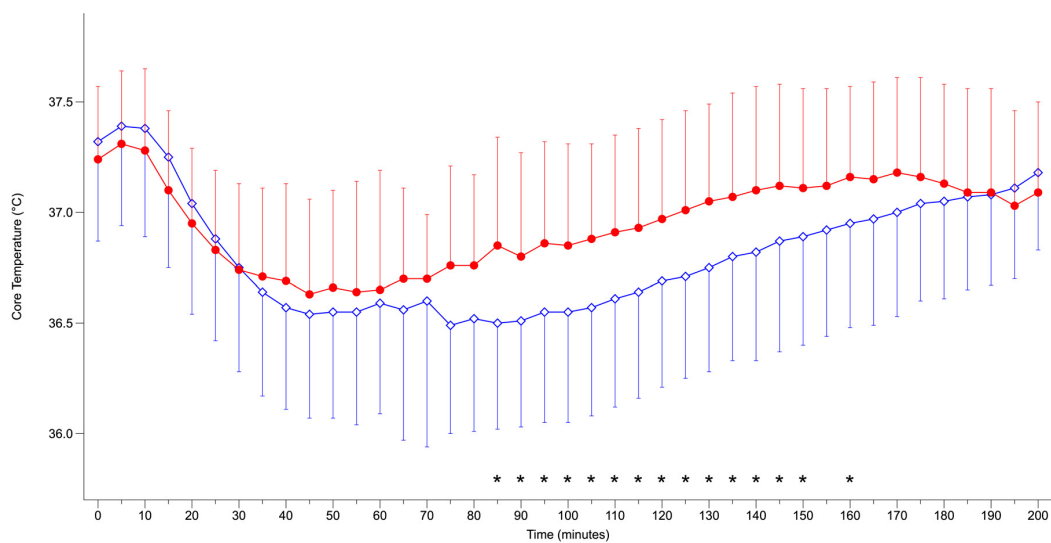


Figure 2 Maternal core temperature. Explanatory footnote: Values are presented as the mean and the whiskers are SD. Time 0 represents onset of spinal anesthesia; continuous red line: active warming (AW) group; continuous blue line: passive insulation (PI) group; *: statistically significant differences AW group vs. PI group ($p < 0.05$).

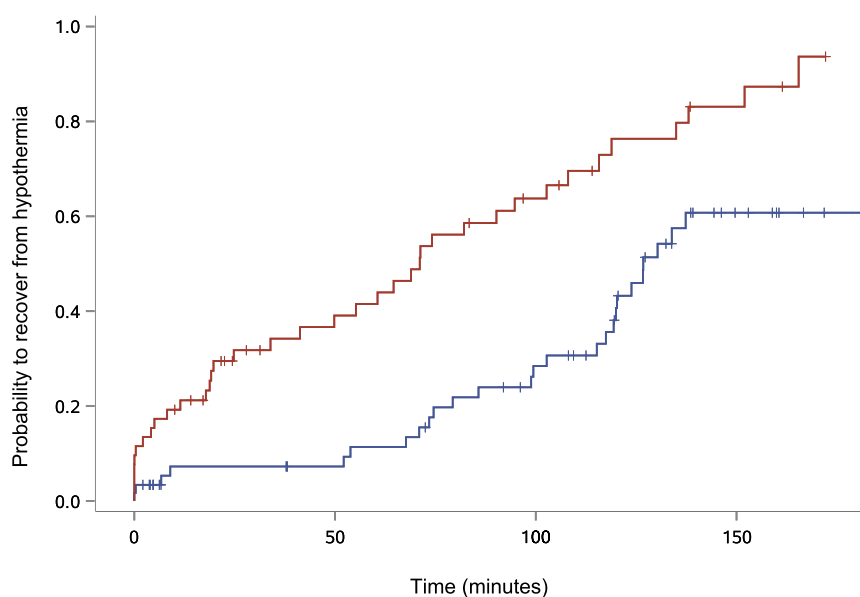


Figure 3 Probability to recover from hypothermia. Explanatory footnote: Kaplan-Meier curve showing the probability to recover from hypothermia to 90% of the baseline temperature. Differences are statistically significant ($p < 0.001$). Time 0: nadir of temperature, defined as the lowest recorded temperature during the observation time; continuous red line: active warming (AW) group; continuous blue line: passive insulation (PI) group; right censored data represented by “|”.

time-to-event analyses, the difference between groups was statistically significant; actively warmed patients reached the percent temperature recovery milestones faster than did the patients in the PI group (Table 3).

Neonatal temperatures at birth were similar between the two groups; however, as shown in Figure 4, newborns' temperature after discharge from PACU was significantly lower in the PI group ($36.7^{\circ}\text{C} \pm 0.5$ vs. $37.0^{\circ}\text{C} \pm 0.4$, $p = 0.002$). Thirteen (15.1%) of the newborns in the PI group were hypothermic at discharge from PACU, compared to three (3.5%, $p = 0.016$) in the AW group. No statistically significant difference between the groups was found based on neonate pH, BE or APGAR scores.

Table 3 Recovery from hypothermia based on time-to-event analysis.

Recovery milestone	PI group (n = 59)	AW group (n = 52)	p-value
30%	56 (46-70)	13 (5-44)	< 0.001
50%	78 (65-86)	44 (11-50)	< 0.001
70%	104 (98-112)	59 (25-77)	< 0.001
90%	127 (117-182)	71 (41-102)	< 0.001
Censored (n =)			
30%	10	7	
50%	13	9	
70%	25	10	
90%	32	15	

Values are expressed in minutes with 95% CI. $p < 0.05$ was considered statistically significant. The time median is the estimate of how long it would take patients in the group to recover from the lowest recorded temperature to a specific percent milestone of baseline temperature. PI, passive insulation; AW, active warming.

Discussion

The objective of this retrospective cohort study was to assess the magnitude of hypothermia in the parturient population undergoing cesarean section under spinal anesthesia and to investigate the implication of hypothermia in newborns while bonding on the mother's chest. We found that intraoperative forced-air warming for cesarean section could be effective in decreasing the incidence of hypothermia in parturients; however, warming the patients while bonding did not completely prevent hypothermia in the newborns after discharge from PACU.

Our research could provide new insight in regard to the necessity of standardizing temperature monitoring and forced-air warming during cesarean section with skin-to-skin bonding immediately after birth. Furthermore, it could derive practical implications for the standard clinical routine.

Proper core temperature monitoring and the use of active warming are strongly supported by current published guidelines for intraoperative care in cesarean delivery.¹⁷ Yet, core temperature in parturient patients under spinal anesthesia is poorly monitored due to practical difficulties,^{17,18} and studies in this area have produced mixed results.^{8,10,12,19-22} An optimum approach for clinicians on monitoring patients' core temperature and preventing hypothermia during cesarean sections remains to be determined.^{17,23}

The positive impact of our intraoperative warming strategy on inadvertent hypothermia in obstetric patients can be visualized in Figure 2. Reliable and regular intervals of core temperature measurements should be used, since after induction of anesthesia, the decline in core temperature is rapid and can be seen in both actively warmed and passively insulated patients. After approximately 45 minutes of

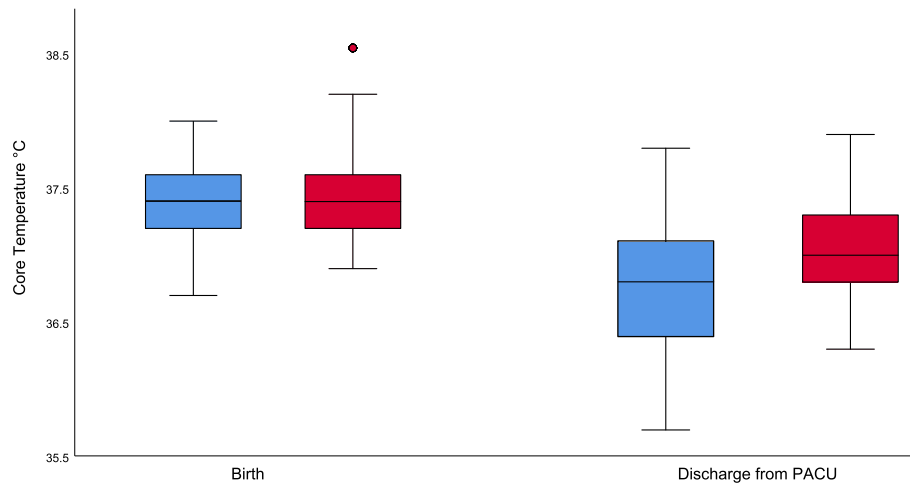


Figure 4 Newborn core temperature. Explanatory footnote: Box and whisker plot of newborns core temperature. No statistically significant difference at birth ($p = 0.67$); statistically significant difference ($p = 0.002$) at discharge from the postanesthetic care unit (PACU). Boxes indicate the lower and upper quartile. Horizontal line in each box represents the median temperature. Vertical lines represent the minimum and maximum recorded temperatures. The dot outside the boxes represents mean temperature outside the expected distribution. Red boxes: active warming group; blue boxes: passive insulation group.

intraoperative active warming, the temperature of the AW group started an uptrend while the temperature of the PI group continued to decline for another 30 minutes. In the PACU, the core temperature increased in both groups; however, the AW group exhibited a statistically significant higher mean core temperature than the control group (Table 2), and patients recovered significantly faster from hypothermia (Fig. 3). The hypothermia rate (22%; $p = 0.207$) in the PI group was slightly lower compared to previous studies.^{9,10}

Our warming strategy was selected based on a practical approach in the context of bonding newborns to their mothers' chest. Prewarming was not available due to logistical reasons and this could be seen as a limitation. A similar intraoperative warming strategy was used by Hoefnagel and her team, but they also warmed the patients before surgery.²² While they concluded that prewarming did not result in higher initial core temperatures in the OR, active warming was associated with higher intra- and postoperative temperature measurements.

A significant limitation of many studies in the area is the lack of automatic continuous core temperature measurement and of a high accuracy device to avoid user error and provide high-resolution data on thermal insult and recovery. Furthermore, there is limited research on the parturient population undergoing cesarean section that investigates recovery from hypothermia in the postoperative period. Our data compare with high-resolution data on thermal insult and thermal recovery associated with spinal anesthesia for cesarean section provided by duToit and his colleagues¹⁸; however, for this descriptive study, the authors used an ingestible telemetric sensor and no active warming. Cobb and his team used the 3M™ ZHF thermometer to compare the possibility of combining warmed IV fluid and lower body forced-air warmer against no warming and concluded that multimodal active warming for the parturient population is difficult and has only modest benefits.¹⁰

We did not use fluid warming and excluded from the final analysis the cases with a total infused volume $>2,000$ ml. A Cochrane Review showed that the efficacy of fluid warming along with other warming strategies may not be clear.²⁴ In a randomized controlled trial, Cantürk and his team demonstrated that isotherm warmed fluids could attenuate the incidence of perioperative hypothermia in parturients and improve APGAR Scores.²⁵

Intrathecal hyperbaric bupivacaine supplemented with sufentanil and morphine, for a prolonged analgesic effect, was the standard anesthesia technique in this study. Despite findings suggesting that perioperative hypothermia may be exacerbated by intrathecal opioids, the pathophysiological mechanism on how opioids influence thermoregulation is still not clear.¹⁹ A recent retrospective case-controlled study failed to prove this hypothesis.²⁶

Besides applying active warming and measuring core temperature, room temperature conditions also play an important role. In fact, increasing operating room temperature during cesarean sections may reduce the rate of neonatal and maternal hypothermia.²⁷

Our study also tried to address the hypothesis that maternal temperature and lack of proper thermal management during the operative procedure could influence neonatal outcomes. In our clinic, bonding during cesarean section is a standard procedure for healthy neonates. Better thermal stability was previously mentioned among the numerous benefits of this procedure.²⁸ Comparably to previous trials,²³ neonatal outcomes at birth were similar between the two groups (Table 2). Yet, our data shows how insufficient thermal management during cesarean section could drive hypothermia in newborns (Fig. 4).

At this point, it should be mentioned that the interpretation of neonatal outcomes could be difficult since several factors during the postoperative period could influence those outcomes.

There are some limitations to our study. The retrospective design and lack of randomization and blinding may have influenced the results. Since our primary goal was to investigate hypothermic insult based on our current hospital treatment protocol, we did not discard the patients with metabolic disorders such as hypothyroidism or diabetes from the analysis, as in most previous studies. Such conditions could impair thermoregulation and this could also be considered a bias of our research.^{29,30} We excluded the patients diagnosed with type 1 diabetes from the final analysis, but we maintained those diagnosed with gestational diabetes.

We were not able to consider other parameters such as the incidence of shivering and maternal comfort, or detailed room temperature measurements, and our report does not provide equivalent data to be compared with previous studies. We could also criticize a selection bias since a total of 179 patients were excluded from the final analysis based on our previously defined inclusion criteria (Fig. 1).

Published Guidelines for prevention of hypothermia support ZHF thermometry for perioperative core temperature monitoring^{3,14} and previous studies have successfully implemented it on parturients.¹⁰ Still, there is evidence suggesting that this method might not be adequate for monitoring rapid changes in core temperature.³¹

Conclusions

To conclude, we were able to show that forced-air warming alone for cesarean section is effective in decreasing the incidence of perioperative hypothermia in parturients, and could be used as a standalone warming solution. However, special attention should be given to neonates, since active warming during the skin-to-skin bonding period did not prevent hypothermia in the newborns after their discharge from PACU.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors. The Bair Hugger™ temperature sensors and warming blankets were provided by 3M™ Deutschland GmbH, Neuss Germany; the company has played no role in this research nor in the decision to submit the article for publication.

Conflicts of interest

LM has received payments for lectures from 3M. JH has received payments for lectures from 3M, The Surgical Company and Abbvie. The other authors have no conflicts of interest to declare. The Bair Hugger™ temperature sensors and warming blankets were provided by 3M™ Deutschland GmbH, Neuss Germany; the company has played no role in this research nor in the decision to submit the article for publication.

Supplementary materials

Supplementary material associated with this article can be found in the online version at [doi:10.1016/j.bjane.2021.10.007](https://doi.org/10.1016/j.bjane.2021.10.007).

References

- Weiser TG, Haynes AB, Molina G, et al. Size and distribution of the global volume of surgery in 2012. *Bull World Health Organ.* 2016;94:201–209F.
- Juang J, Gabriel RA, Dutton RP, et al. Choice of Anesthesia for Cesarean Delivery: An Analysis of the National Anesthesia Clinical Outcomes Registry. *Anesth Analg.* 2017;124:1914–7.
- Clinical-Practice-Guideline. The management of inadvertent perioperative hypothermia in adults. The National Collaborating Centre for Nursing and Supportive Care commissioned by National Institute for Health and Clinical Excellence (NICE): Updated 14 December 2016. Available at: www.nice.org.uk/guidance/cg65. [accessed 08 January 2021].
- Melling AC, Ali B, Scott EM, et al. Effects of preoperative warming on the incidence of wound infection after clean surgery: a randomised controlled trial. *Lancet.* 2001;358:876–80.
- Schmied H, Kurz A, Sessler DI, et al. Mild hypothermia increases blood loss and transfusion requirements during total hip arthroplasty. *Lancet.* 1996;347:289–92.
- Billeter AT, Hohmann SF, Druen D, et al. Unintentional perioperative hypothermia is associated with severe complications and high mortality in elective operations. *Surgery.* 2014;156:1245–52.
- Sessler DI. Perioperative thermoregulation and heat balance. *Lancet.* 2016;387:2655–64.
- Horn EP, Schroeder F, Gottschalk A, et al. Active warming during cesarean delivery. *Anesth Analg.* 2002;94:409–14.
- Hess PE, Snowman CE, Wang J. Hypothermia after cesarean delivery and its reversal with lorazepam. *Int J Obstet Anesth.* 2005;14:279–83.
- Cobb B, Cho Y, Hilton G, et al. Active Warming Utilizing Combined IV Fluid and Forced-Air Warming Decreases Hypothermia and Improves Maternal Comfort During Cesarean Delivery: A Randomized Control Trial. *Anesth Analg.* 2016;122:1490–7.
- Lavesson T, Kallen K, Olofsson P. Fetal and maternal temperatures during labor and delivery: a prospective descriptive study. *J Matern Fetal Neonatal Med.* 2018;31:1533–41.
- Horn EP, Bein B, Steinfath M, et al. The incidence and prevention of hypothermia in newborn bonding after cesarean delivery: a randomized controlled trial. *Anesth Analg.* 2014;118:997–1002.
- von Elm E, Altman DG, Egger M, et al. The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. *J Clin Epidemiol.* 2008;61:344–9.
- Torossian A, Becke K, Bein B, et al. S3 Leitlinie „Vermeidung von perioperativer Hypothermie“ (German only). AWMF Register number 001-018. Available at: https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/001-018l_S3_Vermeidung_perioperativer_Hypothermie_2019-08.pdf [accessed 07 July 2021].
- Eshraghi Y, Nasr V, Parra-Sanchez I, et al. An evaluation of a zero-heat-flux cutaneous thermometer in cardiac surgical patients. *Anesth Analg.* 2014;119:543–9.
- McCall EM, Alderdice F, Halliday HL, et al. Interventions to prevent hypothermia at birth in preterm and/or low birth weight infants. *Cochrane Database Syst Rev.* 2018;2:CD004210.
- Caughey AB, Wood SL, Macones GA, et al. Guidelines for intraoperative care in cesarean delivery: Enhanced Recovery After

- Surgery Society Recommendations (Part 2). *Am J Obstet Gynecol.* 2018;219:533–44.
18. du Toit L, van Dyk D, Hofmeyr R, et al. Core Temperature Monitoring in Obstetric Spinal Anesthesia Using an Ingestible Telemetric Sensor. *Anesth Analg.* 2018;126:190–5.
 19. Butwick AJ, Lipman SS, Carvalho B. Intraoperative forced air-warming during cesarean delivery under spinal anesthesia does not prevent maternal hypothermia. *Anesth Analg.* 2007;105:1413–9.
 20. Chen WA, Liu CC, Mnisi Z, et al. Warming strategies for preventing hypothermia and shivering during cesarean section: A systematic review with network meta-analysis of randomized clinical trials. *Int J Surg.* 2019;71:21–8.
 21. de Bernardis RC, Siaulyis MM, Vieira JE, et al. Perioperative warming with a thermal gown prevents maternal temperature loss during elective cesarean section. A randomized clinical trial. *Braz J Anesthesiol.* 2016;66:451–5.
 22. Hoefnagel AL, Vanderhoef KL, Anjum A, et al. Improving intraoperative temperature management in elective repeat cesarean deliveries: a retrospective observational cohort study. *Patient Saf Surg.* 2020;14:14.
 23. Sultan P, Habib AS, Cho Y, et al. The Effect of patient warming during Caesarean delivery on maternal and neonatal outcomes: a meta-analysis. *Br J Anaesth.* 2015;115:500–10.
 24. Campbell G, Alderson P, Smith AF, et al. Warming of intravenous and irrigation fluids for preventing inadvertent perioperative hypothermia. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015:CD009891.
 25. Canturk M, Canturk FK, Kocaoglu N, et al. The effects of crystalloid warming on maternal body temperature and fetal outcomes: a randomized controlled trial. *Rev Bras Anesthesiol.* 2019;69:13–9.
 26. Munday J, Osborne S, Yates P. Intrathecal Morphine-Related Perioperative Hypothermia in Women Undergoing Cesarean Delivery: A Retrospective Case-Control Study. *J Perianesth Nurs.* 2018;33:3–12.
 27. Duryea EL, Nelson DB, Wyckoff MH, et al. The impact of ambient operating room temperature on neonatal and maternal hypothermia and associated morbidities: a randomized controlled trial. *Am J Obstet Gynecol.* 2016;214:505.e1–505.e7.
 28. Moore ER, Bergman N, Anderson GC, et al. Early skin-to-skin contact for mothers and their healthy newborn infants. *Cochrane Database Syst Rev.* 2016;11:CD003519.
 29. Iwen KA, Oelkrug R, Brabant G. Effects of thyroid hormones on thermogenesis and energy partitioning. *J Mol Endocrinol.* 2018;60:R157–70.
 30. Kitamura A, Hoshino T, Kon T, et al. Patients with diabetic neuropathy are at risk of a greater intraoperative reduction in core temperature. *Anesthesiology.* 2000;92:1311–8.
 31. Boisson M, Alaux A, Kerforne T, et al. Intra-operative cutaneous temperature monitoring with zero-heat-flux technique (3M SpotOn) in comparison with oesophageal and arterial temperature: A prospective observational study. *Eur J Anaesthesiol.* 2018;35:825–30.

3. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich ganz besonders bei meinem Doktorvater, Herrn Professor Dr. med. Stefan Schröder, bedanken, der mir die Möglichkeit gegeben hat, diese Arbeit unter seiner Leitung durchzuführen. Seine hervorragende Betreuung, seine ständige Diskussions- und Hilfsbereitschaft und die sorgfältigen und zügigen Korrekturen haben zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Unsere Gespräche, die mir auch persönlich große Freude bereitet haben, werden mir immer in Erinnerung bleiben.

Weiterhin möchte ich mich bei meinem Chef Dr. med. Rainer Terhorst bedanken, der diese Promotion überhaupt erst möglich gemacht hat, mich ständig unterstützt und mir Kraft und Mut zur Anfertigung und Vollendung dieser Dissertation gespendet hat.

Professor Dr. med. Jan Höcker und Dr. rer. medic. André Esser möchte ich ganz besonders für die zahlreichen konstruktiven Beiträge, die wertvollen Anregungen und den moralischen Beistand zum Gelingen des Projektes danken.

Für ihre tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung dieses Projektes möchte ich mich auch bei den Mitarbeitenden der Klinik für Anästhesiologie, der Klinik für Gynäkologie und Geburtshilfe, der Klinik für Pädiatrie und der Geschäftsführung des St. Marien Hospitals Düren bedanken.

Tief verbunden und dankbar bin ich meinen Freunden Ema, Adrian, Florin, Dan und Amanda für ihre unglaublich hilfreiche Unterstützung bei der Datenbankverarbeitung, beim Lösen von EDV-Schwierigkeiten und beim Korrekturlesen des Manuskripts.

Nicht genug kann ich meiner wunderbaren Familie danken, die an vielen Abenden und Wochenenden auf mich verzichten musste und mir die Zeit für diese Arbeit geschenkt hat.