

Differenzierte Betrachtungen von Temperaturmessungen unter EKZ

ZUSAMMENFASSUNG

Bei komplexen herzchirurgischen Eingriffen wird die Hypothermie genutzt, um über eine Reduzierung des Sauerstoffverbrauchs eine effektive Organprotektion zu bewirken. Die dafür notwendige messtechnische Erfassung der Temperaturwerte im Patienten bzw. im EKZ-System ist heutzutage technisch problemlos durchführbar. In diesem Zusammenhang haben zwei Aspekte bislang nur wenig Berücksichtigung gefunden:

- Welchen Einfluss hat, in Bezug auf einen definierten Messort, die Position der arteriellen Kanüle auf die Abkühlgeschwindigkeit?
- Welche Temperaturmesspunkte korrelieren zuverlässig mit der Gehirntemperatur?

Zur Beantwortung dieser Fragestellungen wurden drei Gruppen von Patienten, die unter Zuhilfenahme der induzierten Ganzkörperhypothermie operiert wurden, retrospektiv untersucht:

Gruppe I: 5 Patienten, die im hypothermen Kreislaufstillstand am Aortenbogen operiert wurden.

Gruppe II: 35 Patienten, bei denen eine „Ross-Operation“ in Hypothermie ($T_{\min \text{ Blase}} = 26,1 \pm 2,0^\circ\text{C}$) durchgeführt wurde.

Gruppe III: 18 Patienten, die mittels HLM im hypothermen Kreislaufstillstand an intrakraniellen Aneurysmen operiert wurden.

Die Auswertung der Temperaturmesskurven der Gruppe II ergab eine deutliche Temperaturdifferenz von Tympanon- und Rektaltemperatur nach einer definierten Abkühlphase. Dieses Ergebnis ist besonders bedeutend, wenn es im Zusammenhang mit den Temperaturanalysen der Gruppe III betrachtet wird. Hier konnte eine hoch signifikante Übereinstimmung der Gehirntemperatur mit der Tympanontemperatur nachgewiesen werden.

Die Analyse der Temperaturverläufe aus der Gruppe I zeigte, dass die Abkühldauer bei Kanülierung der A. subclavia deutlich geringer ist als bei der Kanülierung der A. femoralis, insbesondere wenn als Bezugswert die Tympanontemperatur herangezogen wird. Damit kann ein ausreichender zerebraler Schutz früher induziert werden.

Darüber hinaus führt die verkürzte Abkühlzeit zu einer kürzeren EKZ-Zeit.

SCHLÜSSELWÖRTER

Temperaturmessung, Tympanontemperatur, Hypothermie, Gehirntemperatur, Kanülen, Kreislaufstillstand, Ross-Operation.

ABSTRACT

Hypothermia during complex cardiac surgery is normally used to reduce metabolic activity and to prevent ischemia of organs and tissues.

Measurements to assess a patient's temperature in ECC are technically not complex. Up to now two aspects of hypothermia were considered with minor interest:

- How does the position of the arterial cannula influence the time of cooling?
- Which method of temperature measurement shows the best correlation with the target temperature usually assessed in the brain.

A retrospective analysis was performed to evaluate these aspects comprising 3 groups of patients undergoing different procedures of surgery in hypothermia:

Group I: 5 Patients undergoing aortic repair with circulatory arrest in deep hypothermia.

Group II: 35 Patients, receiving a "Ross Procedure" in hypothermia ($T_{\min \text{ urinary bladder}} = 26,1 \pm 2,0^\circ\text{C}$).

Group III: 18 Patients, undergoing intracerebral aneurysm clipping with circulatory arrest in deep hypothermia using an ECC.

Analysis of the time-dependent temperature course in group I revealed a significantly shorter cooling time to reach target temperature in the brain when using a cannula inserted in the arteria subclavia compared to the use of the cannula inserted via the arteria femoralis, resulting in a significantly reduced duration of ECC.

The temperature development in group II indicated a distinct difference between rectal and the tympanic temperature following a defined cooling time.

Temperature assessment in group III showed a significant correlation between brain temperature and tympanic tempera-

ture. This result attains importance considering the measured temperature gap between rectal and tympanic temperature in group II.

KEY WORDS

Brain temperature and tympanic temperature, hypothermia, cannula, circulatory arrest, Ross-Procedure.

EINLEITUNG

Die Temperaturmessung während der extrakorporalen Zirkulation (EKZ) gehört zum Standardmonitoring der Herz-Lungen-Maschinen-Technologie. Patienten, die mit Hilfe der EKZ operiert werden, unterliegen beträchtlichen Temperaturschwankungen. Die Anwendung der EKZ ermöglicht eine definierte und kontrollierte Absenkung bzw. Erwärmung des Perfusates und damit der Patientenkerntemperatur. Mit zeitlicher Verzögerung gleichen sich die im Patienten gemessenen Temperaturen der arteriellen Bluttemperatur an. Für komplexe herzchirurgische Eingriffe wird die Absenkung der Körpertemperatur (Hypothermie) routinemäßig genutzt, um damit primär eine Abnahme des Sauerstoffverbrauchs $\dot{V}\text{O}_2$ der Gewebe zu erreichen. Erst durch die Reduktion der Körpertemperatur können beispielsweise bestimmte Korrekturoperationen bei Säuglingen oder Eingriffe am Aortenbogen im Kreislaufstillstand durchgeführt werden. Eine spezielle Indikation stellt die mittels EKZ induzierte Hypothermie bei neurochirurgischen Operationen dar.

Die Vorteile, die sich aus der Anwendung der Hypothermie ergeben (Blutleere, temporäres Entfernen der Kanülen, Low-Flow-Perfusion sowie die Vermeidung des Auswaschens der kardioplegischen Lösung) sind für die chirurgische Durchführbarkeit des Eingriffs oft entscheidend. Durch die Absenkung der Körpertemperatur kommt es zu einer signifikanten Verminderung aller metabolischen und zellulären Prozesse. Mit Beendigung der EKZ sollte der Patient wieder normotherm sein.

Die Erfassung von Temperaturwerten (Temperatur-Monitoring) im Patienten

bzw. im EKZ-System ist messtechnisch problemlos möglich. Schwierigkeiten liegen eher in der Vielfalt der verfügbaren Messmethoden und Messorte sowie der Relevanz der gemessenen Temperaturwerte in der speziellen Situation. Die Aufzeichnung der Temperaturmessverläufe erfolgte online mit der HLM-Software (HL20/HL30; Jostra Maquet AG, 72145 Hirrlingen). Dabei verdeutlicht die Analyse des Temperatur-Monitorings in verschiedenen Körperregionen während der EKZ die Unterschiede der Temperaturkinetik der einzelnen Organe in den Phasen der Abkühlung und der Erwärmung. Unklarheit besteht allgemein darüber, welcher Temperaturwert für die jeweilige Situation den optimalen Referenzwert bietet.

THERMOKINETIK UND TEMPERATURMESSUNG

Die Temperaturmessung unter den Bedingungen der EKZ kann man sich als Regelkreis vorstellen. Der Chirurg definiert für den individuellen Patienten bzw. für eine bestimmte Operation eine Zieltemperatur. Dieser Temperaturpunkt wird dadurch erreicht, dass sich die arterielle Bluttemperatur deutlich unterhalb dieses Fixpunktes befindet. Die Regelung der arteriellen Bluttemperatur erfolgt über die Wasservorlauftemperatur des Hypothermiegerätes. Folgende Faktoren beeinflussen die Geschwindigkeit des Temperaturabfalls bzw. den Temperaturanstieg im Patienten:

- arterielle Bluttemperatur
- Körpermasse (Körperoberfläche, Fettanteil)
- Hämoglobingehalt
- gefördertes Pumpminutenvolumen
- Effizienz des Wärmetauschers (Oxygenator)
- Temperaturgradient zwischen dem venösen Blut und der Wasservorlauftemperatur am Oxygenator
- peripherer Widerstand des Patienten
- Lagerung des Patienten auf einer Wärmematte
- Raum- und Umgebungstemperatur

Die Erfassung der Temperatur erfolgt mit hoher Genauigkeit über Temperaturmessfühler, die sich entweder im extrakorporalen Kreislaufsystem befinden oder am Patienten an unterschiedlichen Körperstellen platziert werden. Für die Positionierung von Temperaturmesssonden im Patienten ist zu fordern, dass sie einfach einzuführen sind, kein Verletzungsrisiko mit sich bringen und während der Operation positionsstabil ohne Dislokationsgefahr bleiben.

Bei Routineeingriffen mit EKZ begnügt man sich allgemein mit der Messung an drei Temperaturpunkten: einen im Patienten (z. B. der Rektal- oder der Oesophagealtemperatur) und zwei im EKZ-System. Dort wird üblicherweise die Wasservorlauftemperatur zum Oxygenator und die arterielle Bluttemperatur gemessen.

TEMPERATURMESSUNG IM EKZ-SYSTEM

Arterielle Bluttemperatur: Die Temperatur wird über einen Messfühler erfasst, der sich im Ausstromkonnector des Oxygenators befindet. Bei passgenauen Sonden kann hier mit hoher Zuverlässigkeit die Temperatur gemessen werden. Eine weitere Option stellen die so genannten Durchflusszellen für Online-Blutgasmessungen dar. Hier können sich jedoch leicht Messfehler einschleichen, insbesondere wenn die zu- und abführenden Katheter dünnlumig sind und somit eine Temperaturdrift durch Konvektion besteht.

Venöse Bluttemperatur: Der Messfühler befindet sich normalerweise am Eingangsstutzen des venösen Reservoirs. Fehlt dieser Temperaturkonnector, so kann mittels „Inserts“ (Standardmessfühler „YSI 400“), die in jede Luer-Verbindung eingesetzt werden können, gemessen werden.

Wasserzu- und Wasserrücklauf am Oxygenator: Normalerweise wird im Wassertank des Heaters/Coolers die Temperatur erfasst. Mit speziellen Messgeräten (z. B.: HCU-Test; EMTEC GmbH, 86923 Finning) kann die Wasservor- und -rücklauftemperatur und die Wassermenge (L/min) zum Oxygenator gemessen werden. Diese Messwerte sind für die Evaluierung der Effizienz von Wärmetauschern erforderlich.

Kardioplegieperfusatemperatur: Sie entspricht der Temperatur der Koronarperfusion des Herzens. Diese Art der Temperaturmessung wird vorwiegend bei der Applikation von kalter Blutkardioplegie (Buckberg) eingesetzt.

TEMPERATURMESSUNG IM PATIENTEN

Rektaltemperatur: Diese Art der Temperaturmessung ist relativ ungenau und mit einer hohen zeitlichen Trägheit behaftet. Sie ist deshalb als Voraussetzung für den hypothermen Kreislaufstillstand die am wenigsten Geeignete, da Artefakte durch suboptimale Positionierung im Mastdarm und Stuhlverunreinigung möglich sind.

Harnblasentemperaturmessung: Sie liefert zuverlässige Ergebnisse. Notwendig ist ein spezieller Blasenkatheter mit integrierter Temperaturfühler (z. B. „Curity-Foley-Katheter mit Temperaturfühler“; TYCO Healthcare Deutschland GmbH, 44879 Bochum). Bei Sistieren der Urinproduktion kann der Messwert einer zeitlichen Verzögerung unterliegen.

Oesophagustemperatur: Empfohlen wird die Positionierung des Sensors im unteren Drittel oder Viertel des Oesophagus. Die Oesophagustemperatur wird von der Temperatur der Atemgase beeinflusst und ist unter den Bedingungen der EKZ nur eingeschränkt repräsentativ.

Tympanontemperatur: Die im äußeren Gehörgang in unmittelbarer Nähe zum Hypothalamus (Wärmeregulationszentrum) gemessene Temperatur bietet bei korrekter Sondenlage die beste Korrelation zur Gehirntemperatur. Diese Relation macht die Messung der Tympanontemperatur bei Eingriffen mit künstlicher Hypothermie (Induzierte Hypothermie), Low-Flow-Perfusion oder hypothermem Kreislaufstillstand besonders interessant. Dabei steht die Protektion des Gehirns durch Temperaturabsenkung im Mittelpunkt. Bei Einführen des Temperaturfühlers (z. B. Mon-a-therm™ Tympanic, Mallinckrodt, St. Louis, USA) in den Gehörgang ist vorsichtig vorzugehen, da es zu Verletzungen des Trommelfells kommen kann. Inwieweit hier intermittierende Infrarot-Temperaturmessungen (z. B. Infrarot-Ohrthermometer First Temp Genius; TYCO Healthcare Deutschland GmbH) anwendbar sind, muss noch evaluiert werden.

Bluttemperatur in der Pulmonalarterie: Sie wird über einen im Swan-Ganz®-Katheter integrierten Temperatursensor gemessen und ist vergleichbar mit der venösen Bluttemperatur an der HLM, solange die Pulmonalarterie (PA) perfundiert wird. In der Phase der Aortenklammzeit kann die PA-Temperatur deutlich schwanken. Insbesondere dann, wenn eine perikardiale Eiswasserkühlung zur Absenkung der Myokardtemperatur zum Einsatz kommt.

Myokardtemperatur: Mittels der 0,75 mm dicken Punktionssonden (Mon-a-therm® Myocardial; Mallinckrodt) wird die Temperatur im punktierten Areal erfasst. Durch die Myokardtemperaturmessung kann die Verteilung der kardioplegischen Lösung im Herz überprüft werden.

Direkte Temperaturmessung im Gehirn:

Sie kann nur bei neurochirurgischen Eingriffen (mit EKZ und tiefer Hypothermie) [1] durch den Neurochirurgen mittels Temperatursonde (identisch zur Myokardtemperatursonde) im Gehirn gemessen werden.

Hauttemperatur: Dient der Temperaturbestimmung der Körperoberfläche. Die nicht-invasive Platzierung der Temperatursonde (z.B. Mon-a-therm™ Skin, Mallinckrodt) erfolgt mittels hypoallergenem Klebeband.

GRUNDLAGEN DER HYPOTHERMIE

Die konsequente Absenkung der Körpertemperatur (Hypothermie) wird bei komplizierten herzchirurgischen Eingriffen genutzt, um damit eine Reduzierung des Sauerstoffverbrauchs $\dot{V}O_2$ zu erreichen. Diese bewirkt eine Verlängerung der Ischämietoleranz der Gewebe und Organe.

Klinisch werden folgende, nicht einheitlich verwendete Hypothermiegrade (Tab. 1) unterschieden:

Im Verlauf von biochemischen Prozessen zeigt sich ein direkt proportionales Verhältnis von Temperatur T und Reaktionsgeschwindigkeit v_R . So bewirkt eine Tempe-

Leichte Hypothermie	37–32 °C
Moderate Hypothermie	32–28 °C
Tiefe Hypothermie	28–20 °C
Profunde Hypothermie	<20 °C

Tab. 1: Hypothermiegrade

raturerniedrigung von 10–15 °C eine Halbierung der Reaktionsgeschwindigkeit [2]. Für die Reaktionsgeschwindigkeit gilt:

$$v_r \sim [A] \cdot [B]$$

Demnach ist die Reaktionsgeschwindigkeit proportional den Konzentrationen der Moleküle [A] und [B]. Je höher die Temperatur T, desto höher ist die Kollisionswahrscheinlichkeit der Moleküle. Ohne Kollision wäre eine Reaktion nicht möglich. Außerdem wächst mit steigender Temperatur die mittlere Energie der Moleküle und damit der Prozentsatz jener, die die Freie Aktivierungsenthalpie ΔE überschreiten. Dieser Faktor wird durch die temperaturabhängige Geschwindigkeitskonstante $k(T) = e^{-\Delta E / RT}$ erfasst. Somit folgt:

$$v_r = k(T) \cdot [A] \cdot [B] = e^{-\Delta E / RT} \cdot [A] \cdot [B]$$

mit

T = Temperatur in Kelvin

R = allgemeine Gaskonstante =

$$8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

Die Darstellung [3] dieser Gleichung zeigt einen „S“-förmigen (sigmoidalen) graphischen Verlauf, der dem der Sauerstoffbindungskurve (Abb. 1) ähnelt.

Der sigmoidale Verlauf der Sauerstoffbindungskurve ist von großer Bedeutung für die O₂-Transportfähigkeit des Blutes [4]. Im Bereich von 60 mmHg (alveolärer Bereich) ist die Kurve flach, und Veränderungen des pO₂ verändern die O₂-Sättigung nur wenig. Demnach bewirkt eine Einatmung von O₂-angereicherter Luft im Bereich des normalen alveolären pO₂ keine nennenswerte Mehraufnahme von Sauerstoff in das Blut, denn das alveoläre Blut ist schon bei Luftatmung nahezu vollständig gesättigt. Der steile Abfall im unteren Bereich der Bindungskurve ermöglicht, dass der pO₂ im kapillären Blut der peripheren Gewebe hoch genug bleibt, um die Gewebe durch Diffusion zu versorgen [5].

Die Hypothermie verschiebt die Sau-

erstoffbindungskurve nach links, das heißt bei einem definierten pO₂ wird mehr Sauerstoff an Hämoglobin gebunden als bei Normothermie.

Weitere Faktoren, die eine Linksverschiebung der Sauerstoffbindungskurve bewirken können, sind: ein erhöhter pH-Wert, ein erniedrigtes pCO₂ und ein erniedrigtes 2,3-DPG (Diphosphoglycerat)¹ im Erythrozyten.

Aus der nicht linearen Gleichung

$$v_r = e^{-\Delta E / RT} \cdot [A] \cdot [B]$$

folgt weiter, dass keine lineare Beziehung zwischen Abnahme der Körpertemperatur und Abnahme des Gesamt-O₂-Verbrauchs besteht.

Nach der Reaktionsgeschwindigkeits-Temperatur-Regel (RGT-Regel nach van't Hoff) ergibt sich eine Abnahme des O₂-Verbrauchs um 50 %, wenn die Körperkerntemperatur um 10 °C reduziert wird. Damit erhöht die Hypothermie die Ischämietoleranz der Gewebe ganz wesentlich.

Neben der Abnahme des Sauerstoffverbrauchs hat die Hypothermie weitere Auswirkungen auf den Organismus:

- die Sauerstoff-Bindungskurve wird nach links verschoben
- die Viskosität des Blutes nimmt zu
- die Gerinnungsaktivität wird vermindert
- der pH-Wert nimmt mit fallender Temperatur aufgrund der geringeren Dissoziation zu

¹Diphosphoglycerat stammt aus der Glykolyse und bindet sich an Hämoglobin, wodurch die Sauerstoff-Affinität verringert und die Sauerstoffbindungskurve nach rechts verschoben wird.

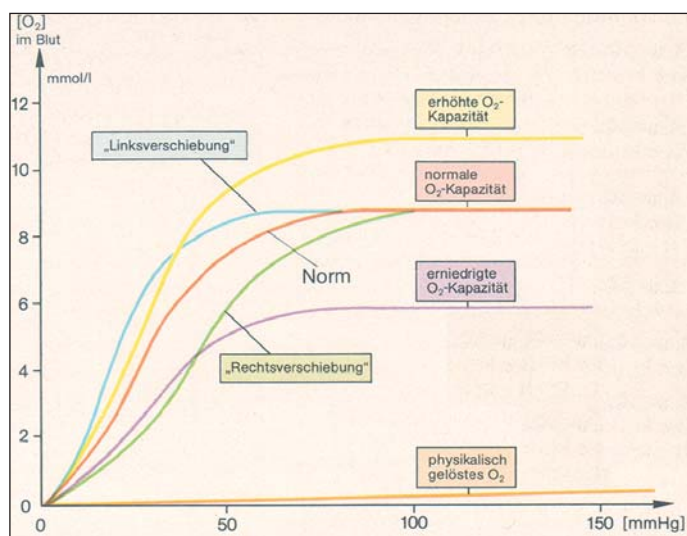


Abb. 1: Sauerstoffbindungskurve [4]

Tempwert °C	ΔT	Multiplikationsfaktor für CO ₂	Multiplikationsfaktor für O ₂	Summant für pH
37	0	1,00	1,00	0,000
36	1	0,96	0,93	0,015
35	2	0,92	0,87	0,029
34	3	0,88	0,81	0,044
33	4	0,84	0,75	0,058
32	5	0,81	0,70	0,074
31	6	0,77	0,65	0,088
30	7	0,74	0,61	0,103
29	8	0,71	0,57	0,118
28	9	0,68	0,53	0,132
27	10	0,65	0,50	0,147
26	11	0,63	0,46	0,162
25	12	0,60	0,43	0,176

Tab. 2: Einfluss der Temperatur auf pO₂, pCO₂ und pH [6].

Beispiel: Wird bei einer Temperatur von 37 °C ein pO₂ von 150 mmHg gemessen, so erniedrigt sich dieser Wert bei Umrechnung auf die aktuelle Bluttemperatur (pH-stat) von 25 °C auf 64,5 mmHg (150 mmHg · 0,43).

Ebenso werden die Blutgase $p\text{CO}_2$ und $p\text{O}_2$ von der Temperatur beeinflusst (Tab. 2), indem die Gaslöslichkeit im Blutplasma in Hypothermie zunimmt.

Die Auswirkungen der hypothermiebedingten Veränderungen des Säure-Basen-Haushalts auf die Funktion und die Struktur der Organe, Gewebe und Zellen sind nur unzureichend bekannt.

Das Blutgasmanagement kann außerordentlich differenziert betrachtet werden. Da es für das Temperaturmanagement während der EKZ nur von untergeordnetem Interesse ist, soll hier nur in verkürzter Form auf die zwei Vorgehensweisen in der Handhabung des Säure-Basen-Haushalts während der EKZ eingegangen werden:

pH-stat

Bei diesem Verfahren werden die Blutgase und pH-Werte auf die aktuelle Bluttemperatur des Patienten umgerechnet.

Die Löslichkeit von CO_2 nimmt mit fallender Temperatur zu, dadurch kommt es bei der pH-stat-Regulation zur Anhäufung von CO_2 und zu einer relativen intrazellulären Azidose.

α -stat

Bei diesem Verfahren erfolgt keine Umrechnung der Blutgase und der pH-Werte auf die jeweilige Bluttemperatur. Die Blutprobe wird dabei unabhängig von der aktuellen Patiententemperatur im Blutgasgerät bei 37°C analysiert und angezeigt. Das α -stat-Verfahren erhält den pH-Wert im Intrazellulärraum aufrecht.

EIGENE UNTERSUCHUNGEN

Bedeutsam für operative Interventionen mit induzierter Hypothermie bzw. hypothermem Kreislaufstillstand ist die Messung der Körperkerntemperatur. Üblicherweise werden die Rektal- oder die Harnblasentemperatur als Referenzwert herangezogen. Entscheidenden Einfluss auf die Temperaturveränderung an einem definierten Referenzpunkt hat die Position der arteriellen Kanüle.

Mit einem umfassenden Temperatur-Monitoring (Tab. 3) wurden in den zurückliegenden zwei Jahren differenzierte Messungen zur Temperaturkinetik bei Patienten, die in unterschiedlichen Hypothermiegraden operiert wurden, durchgeführt.

METHODE

Es wurden drei Gruppen von Patienten untersucht:

Gruppe I: Bei 5 Patienten mit Operationen des Aortenbogens und hypothermem

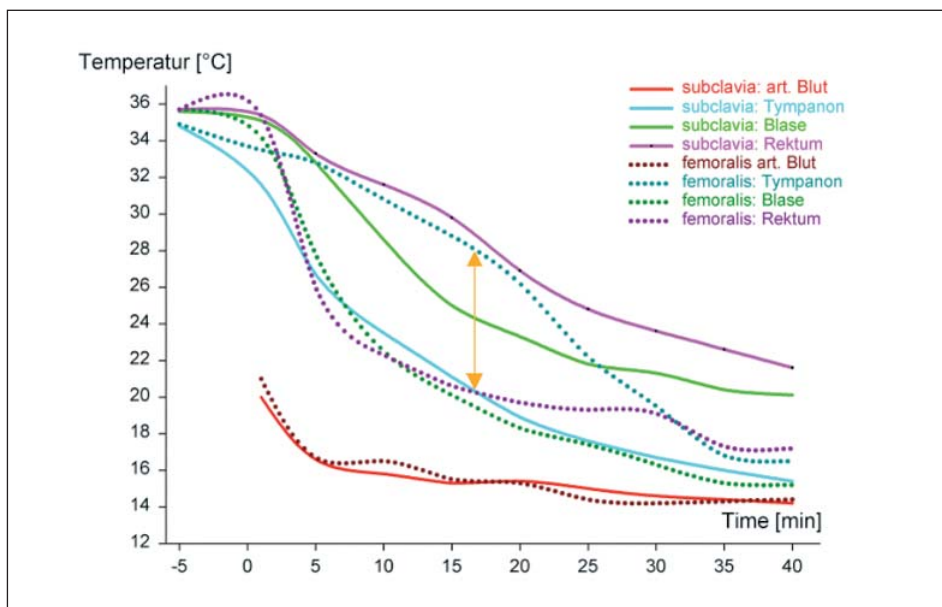


Abb. 2: Gruppe I: Temperaturprofil in Abhängigkeit von der Position der arteriellen Kanüle. Bei den gepunkteten Graphen befindet sich die arterielle Kanüle in der A. femoralis. Die durchgezogenen Temperaturverläufe sind bei der Kanülierung der A. subclavia rechts erfasst worden. Nach 16 Minuten ist die Tympanontemperatur bei der Subclavia-Kanülierung bei 20°C und bei der Femoral-Kanülierung erst bei $28,2^\circ\text{C}$.

Kreislaufstillstand wurde das Temperaturprofil unter Berücksichtigung der Kanülierungsstelle (A. subclavia versus A. femoralis) analysiert (Abb. 2). Das Abkühlprotokoll war in beiden Gruppen identisch. Die Wasservorlauftemperatur lag bei 10°C , und die Kühlung erfolgte verzögerungsfrei mit Aufnahme der EKZ. Der Kreislaufstillstand wurde bei einer Tympanontemperatur von 21°C eingeleitet. Hierbei handelte es sich um dringliche Operationen, bei denen möglichst schnell der hypotherme Kreislaufstillstand eingeleitet werden sollte.

Gruppe II: In einer Gruppe von 35 Patienten, bei denen eine „Ross-Operation“ durchgeführt wurde, betrug die Wasservorlauftemperatur zum Membranoxygenator (MO) zu Beginn der Operation 25°C . Nach exakt 20 min Abkühldauer erfolgte in einem zeitlichen Intervall von 20 min eine

Erwärmung (Abb. 3) um jeweils 3°C Wasservorlauftemperatur. Dabei wurde der Temperaturverlauf an 8 Messstellen untersucht. Das Messfenster lag innerhalb der Aortenabklemmzeit (148 ± 26 min).

Gruppe III: Im Rahmen der Versorgung von intrakraniellen Aneurysmen mit der HLM in der Neurochirurgie wurden bei 18 Patienten, die im hypothermen Kreislaufstillstand operiert wurden, die Temperatur im Gehirn und im Tympanon gemessen (Abb. 4). Die Kanülierung bei allen 18 Patienten erfolgte femoro-femoral. Kein Patient dieser Gruppe wurde sternotomiert. Eine Augmentation der venösen Drainage erfolgte teilweise pumpengesteuert (Zentrifugalpumpe) und teilweise mit Vakuum.

ERGEBNISSE

Es gilt zu beachten, dass die Abkühlgeschwindigkeit (siehe Abb. 2) für das Gehirn entscheidend durch den Kanülierungsort der arteriellen Kanüle bestimmt wird. So wird bei gleichem Kühlechema und identischem Pumpenflussindex von $2,6 \text{ l/min/m}^2 \text{ KOF}$ bei Kanülierung der A. subclavia bereits nach im Mittel 16 min eine Tympanon- bzw. Gehirntemperatur von ca. 20°C erreicht. Hingegen ist bei Kanülierung der A. femoralis eine mittlere Kühldauer von 28 min notwendig, um eine identische Tympanontemperatur zu erreichen. Die schnellere Abkühlung führt letztlich auch zu einer Verkürzung der EKZ-Zeit.

In der Gruppe II (Tab. 4 und Abb. 3) ergab sich, ausgehend von der Tympanon-

Wasservorlauftemperatur zum Membranoxygenator
Arterielle Bluttemperatur
Venöse Bluttemperatur
Harnblasentemperatur
Rektaltemperatur
Tympanontemperatur
Hauttemperatur
Pulmonalarterientemperatur (Swan-Ganz®-Katheter)
Gehirntemperatur (bei neurochirurgischen Eingriffen mit EKZ)

Tab. 3: Temperaturmonitoring bei Patienten, die in Hypothermie operiert wurden

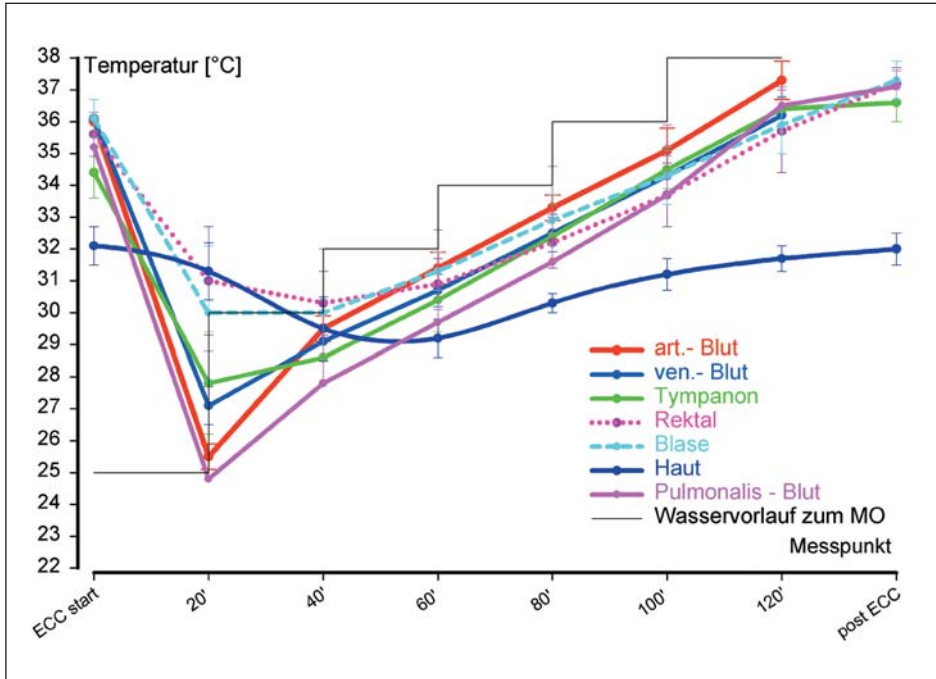


Abb. 3: Gruppe II: Temperaturverläufe (Mittelwerte mit Standardabweichung) bei Ross-Operationen (n=35)

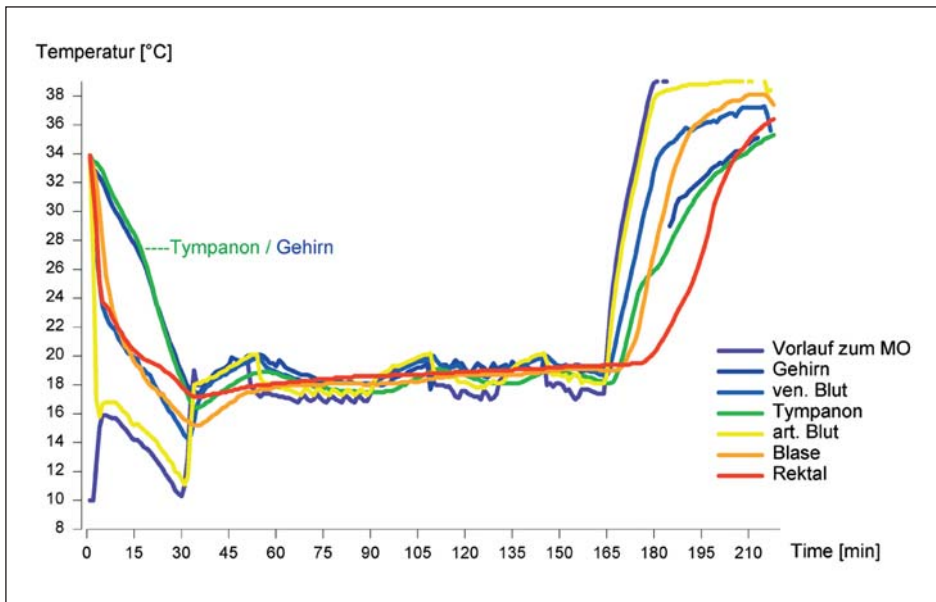


Abb. 4: Gruppe III: Multiple Temperaturmessungen während der Abkühl-, Kreislaufstillstands- und Aufwärmphase. Deutlich ist die Übereinstimmung von Tympanon- und Gehirntemperatur. Die rektal und in der Blase gemessene Temperatur fällt bedingt durch die Kanülierung der A. femoralis besonders schnell ab.

temperatur ($27,3 \pm 1,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$) und der definierten Abkühldauer, ein Temperaturgradient $\Delta T_{\text{T}_{\text{y}}-\text{R}_{\text{e}}}$ zur Rektaltemperatur ($30,9 \pm 1,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$) im Mittel von $\Delta T_{\text{T}_{\text{y}}-\text{R}_{\text{e}}} = 3,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Die Temperaturdifferenz $\Delta T_{\text{T}_{\text{y}}-\text{B}_{\text{L}}}$ von Tympanontemperatur zur Harnblasentemperatur liegt im Mittel bei $\Delta T_{\text{T}_{\text{y}}-\text{B}_{\text{L}}} = 2,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

In der Gruppe III (Abb. 4) ergibt sich durch die Wasservorlauftemperatur von $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ und die Kanülierung der A. femoralis der schnelle Temperaturabfall in Blase und Rektum zu Beginn der Abkühlphase. Deutlich sind die unterschiedlichen Abkühlgeschwindigkeiten der einzelnen Organe

(Blase, Gehirn, Rektum) zu sehen. Ein Vergleich der beiden Temperaturmesskurven (Gehirn vs. Tympanon) zeigt eine hoch signifikante Übereinstimmung. Die beiden Temperaturverläufe sind praktisch kongruent.

In der fortgeschrittenen Kühlphase jedoch gleichen sich die Temperaturen wieder an, ein deutliches Indiz für eine homogene Kühlung des gesamten Körpers.

SCHLUSSBEMERKUNG

Basierend auf dem kongruenten Verlauf von Tympanon- und Gehirntemperatur (Er-

Tympanontemperatur	$27,3 \pm 1,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Rektaltemperatur	$30,9 \pm 1,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Harnblasentemperatur	$29,6 \pm 2,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Pulmonalarterientemperatur	$25,2 \pm 3,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Hauttemperatur	$31,0 \pm 0,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Arterielle Bluttemperatur	$25,4 \pm 0,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Venöse Bluttemperatur	$26,8 \pm 0,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Wasservorlauftemperatur zum MO	$25,0 \pm 0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Tab. 4: Gruppe II: Messtemperaturen nach 20 min definierter Abkühldauer

gebnis Gruppe III) erfolgt in unserer Klinik die Einleitung des Kreislaufstillstands bei einer Tympanontemperatur von $21 \text{ }^{\circ}\text{C}$, unabhängig von der gemessenen Rektal- bzw. Blasentemperatur.

Damit diese Zieltemperatur, bedingt durch die höhere Abkühlgeschwindigkeit möglichst schnell erreicht werden kann, wird in unserer Klinik die Kanülierung der A. subclavia (sofern das aus operativer Sicht unproblematisch ist) der Kanülierung der A. femoralis vorgezogen. Darüber hinaus kann die Kanülierung der A. subclavia zur partiellen antegraden Gehirnpfusion während des Kreislaufstillstands direkt genutzt werden.

Generell gilt, dass sich bei der Wiedererwärmung der Patienten die Sauerstoffbindungskurve (siehe Abb. 1) nach rechts verschiebt und die Löslichkeit der Gase im Blut sinkt. Damit steigt die Gefahr von Mikroembolien im arteriellen Blut. Eine kontinuierliche Blutgasüberwachung, besonders in dieser Phase, ist hilfreich. Denn in der Wiedererwärmungsphase ist strikt darauf zu achten, dass der arterielle Sauerstoffpartialdruck $\text{paO}_2 < 150 \text{ mmHg}$ ist, um ein Ausgasen zu vermeiden.

LITERATUR

- [1] Brawanski A, Philipp A: „Die EKZ bei der Versorgung von Aneurysmen in der Neurochirurgie“, in: *Handbuch der Kardiotechnik*, München-Jena 2002; 4: 354–361
- [2] Breuer H: *Atlas zur Chemie. Band 2: Organische Chemie*, München 1985, 2: 307
- [3] Knobl HJ, Dramburg W, Kind K, Beymann T, Körfer R: „Perfusionsführung bei Korrekturoperationen kongenitaler Vitien“, in: *Handbuch der Kardiotechnik*, München-Jena 2002; 248
- [4] Silbernagel S, Despopoulos A: *Taschenatlas der Physiologie*. Stuttgart 1991: 100–102
- [5] Klink R, Silbernagel S: *Lehrbuch der Physiologie*. Stuttgart 2000, 2: 100–102
- [6] Mitchell BA: *Profound Hypothermia with circulatory arrest*. New Orleans 1980; 1: 23