

Kälteerzeugung moderner Hypothermiegeräte – physikalisch-technische Betrachtung

Matthias Pruckner, Global Product Manager, Alexander Vehling, Clinical Application Specialist
MAQUET Cardiopulmonary AG

Liebe Leserinnen und Leser,

in der Rubrik Fortbildung stellen wir Ihnen ausgewählte Funktions- oder Messprinzipien von Medizinprodukten aus der Herzchirurgie vor. Für die Vermittlung dieser technischen Basics wenden wir uns an Entwickler und Herstellerfirmen, um Ihnen die Kenntnisse aus erster Hand zu liefern.

Der Redaktion ist es ein großes Anliegen, die Rubrik weiterhin neutral und weitestgehend werbefrei zu gestalten. Aus diesem Grund dürfen Sie erwarten, dass wir Ihnen über den gesamten Zeitraum ein abwechslungsreiches Autorenspektrum bieten und zu den jeweiligen Beiträgen auch Produkte anderer Anbieter erwähnen. Gerne nimmt die Redaktion der KARDIOTECHNIK auch Anregungen und Vorschläge für Beiträge dieser Rubrik entgegen.

Die Redaktion

Einleitung

Die Erzeugung von kaltem Wasser und die präzise und schnelle Steuerung seiner Temperatur ist eine Grundvoraussetzung für die adäquate Kühlung von Patienten in extrakorporalen Kreisläufen. Moderne Hypothermiegeräte leisten dies über den Anschluss von Wärmetauschern – meist integriert in Oxygenatoren – und von speziellen Matten. Die heutigen „State-of-the-Art“-Wärmetauscher zeichnen sich durch eine sehr effiziente Wärme- bzw. Kälteübertragung zwischen zirkulierendem Wasser und Patientenblut aus. Die Wärmetauschereffizienz wird in der Regel durch einen Performance-Faktor von 0 bis 1 beschrieben. Grundsätzlich gelten Werte über 0,5 als effizient [1]. Unter AAMI-Testbedingungen weist beispielsweise der Blutwärmetauscher im QUADROX-i der Firma Maquet eine Wärmetauschereffizienz von über 0,85 auf.*

*Die American Association of Medical Instrumentation (AAMI) schreibt zur Ermittlung der Wärmetauschereffizienz die Einhaltung folgender Parameter vor: Wassertemperatur 40 °C, Bluttemperatur 30 °C, Wasserfluss 15 l/min, Blutfluss 4 l/min.

In der Literatur werden – nicht einheitlich verwendet – folgende Grade der Hypothermie (Rektaltemperatur gemessen) unterschieden [2]:

- milde (leichte) Hypothermie (36–32 °C)
- moderate Hypothermie (32–28 °C)
- tiefe Hypothermie (28–18 °C)
- ausgeprägte (profunde) Hypothermie (18–4 °C)

Die Absenkung der Körperkerntemperatur, aber auch die selektive Kühlung eines Organs reduziert die Stoffwechselaktivität und erhöht die Ischämietoleranz von Zellen und Gewebe. Durch Reduktion der Körpertemperatur um 10 °C sinkt die Stoffwechselrate bzw. der Sauerstoffverbrauch des menschlichen Organismus um die Hälfte (sog. Q10-Effekt). Darüber hinaus ermöglicht die Hypothermie eine Senkung der Blutflussrate und verringert somit Traumatisierungen und den Rückstrom von Blut über Bronchial- und nonkoronare Kollateralf Gefäße [3]. Somit stellt die induzierte Hypothermie eine sehr effektive und bewährte Form der Organprotektion dar, besonders in Situationen potenzieller Minderversorgung oder unmittelbar nach einer Unterversorgung wie dem asystolen Kreislaufstillstand.

Die Generierung von kaltem Wasser spielt aber auch bei der gezielten Wiedererwärmung von unterkühlten Patienten eine äußerst wichtige Rolle. Über das entsprechende Mischverhältnis von warmem und kaltem Wasser kann die Wiedererwärmung über das Hypo-/Hyperthermiegerät gezielt gesteuert werden.

Beim Kühlen und Erwärmen ist darauf zu achten, dass Temperaturgradienten zwischen venösem Blut und im Wärmetauscher zirkulierendem Wasser von über 10 °C vermieden werden, da sonst gasförmige Mikroembolien drohen [4]. Hypo-/Hyperthermiegeräte von Maquet verfügen aus diesem Grund über einen Gradienten- bzw. sog. Patientenmodus, der eine physiologisch optimierte Temperaturregulierung erlaubt. So passen die Geräte in diesem Modus die Wasserausgangstemperatur in konstanten Relationen – in Höhe des gewählten Gradienten – zur venösen Patiententemperatur an, bis die Ausgangstemperatur die Solltemperatur erreicht hat.

Die Erwärmung hypothermen und Aufrechterhaltung normothermen Blutes ist eine wichtige Funktion von Hypo-/Hyperthermiegeräten, der vorliegende Beitrag soll den Fokus jedoch auf die Kälteerzeugung und deren Nutzen für die extrakorporale Zirkulation richten.

Kälteerzeugung mit heutigen Hypothermiegeräten

In modernen Hypothermiegeräten wird die Erzeugung von Kälte durch sogenannte Siedekühlung realisiert. Der Kühleffekt entsteht dabei durch Verdampfungsenergie, die aufgebracht werden muss, um ein Kältemittel von einem flüssigen in einen gasförmigen Aggregatzustand zu überführen. Diese nötige Verdampfungsenergie wird der Umgebung bzw. dem Wasser in Form von Wärme entzogen und führt somit zu dem gewünschten Kühleffekt. Die Siedekühlung gilt als eine der effektivsten Möglichkeiten, einem System Wärme bzw. thermische Energie zu entziehen. Hypothermiegeräte, die diese Technologie nutzen, werden der Klasse der Kompressionskältemaschinen zugeordnet.

In den Hypothermiegeräten von Maquet basiert die Kühlfunktion gleichsam auf dem Prinzip der Siedekühlung. Konkret vollzieht sich der geschlossene Kühlkreislauf wie folgt: Zunächst wird ein gasförmiges Kältemittel von den Kühlspiralen bzw. Verdampferplatten des Hypothermiegeräts durch einen Kompressor angesaugt und verdichtet. Durch die Kompression des Kältemittels steigt dessen Temperatur. Das gasförmige Kühlmedium wird dann durch die Kühlschlangen des Verflüssigers geleitet und die Wärme über einen Lüfter an die Umgebung abgegeben, wodurch das Kühlmittel kondensiert. Das verflüssigte Kühlmittel strömt im weiteren Verlauf durch einen Trockner, der eventuell vorhandene Wasserpartikel vom Kühlmittel absorbiert. In der Folge gelangt das Kühlmedium zum Zweck der Druckabsenkung in ein Kapillarrohr, schließlich in die Verdampferplatten bzw. -spiralen innerhalb des Wassertanks. In diesen Verdampferplatten oder -spiralen beginnt das Kühlmittel aufgrund des niedrigen Drucks zu siedeln. Zum Verdampfen

benötigt das Kältemittel Wärme. Im Tank entnimmt das verdampfende Kältemittel daher dem umliegenden Wasser die erforderliche Verdampfungswärme (Siedekühlung) und reduziert in der Konsequenz die Wassertemperatur. Das Kühlmittel strömt weiter als Gas zum Kompressor und der beschriebene Kreislauf beginnt von Neuem (Abb. 1).

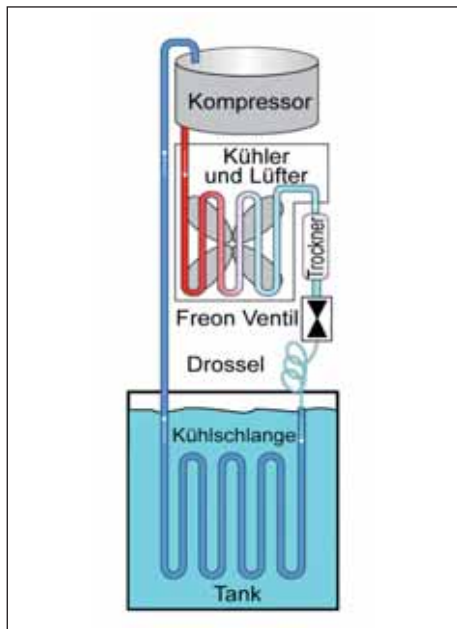


Abb. 1: Schematische Darstellung des internen Kühlkreislaufs

Einen besonders hohen Kühleffekt erzielen Hypothermiegeräte, die – je nach Bauform entweder an den Verdampferplatten oder -spiralen – einen Eisblock bilden. Bei Umspülung des Eises mit dem zirkulierenden Tankwasser wird unmittelbar eine sehr hohe initiale Kühlleistung ermöglicht – deutlich höher als bei Hypothermiegeräten, die ausschließlich mit einem Kompressor nach dem Prinzip eines Durchlaufkühlers betrieben werden. Auf diese Weise reduziert sich die Abkühlzeit des Patienten drastisch. Die schnelle, effektive Kühlung mittels Eis kann in Notsituationen von größter Wichtigkeit und letztlich lebensrettend sein.

Mit dem Hypo-/Hyperthermiegerät HCU 30 von Maquet können im 26 l fassenden Wassertank bis zu 14 kg Eis mit Hilfe modernster Vereisungstechnik binnen weniger als vier Stunden aufgebaut werden. Die extrem hohe, im Eis gebundene Kühlkapazität von 4.690 Kilojoule ermöglicht, dass die Maschine während der Operationen in den meisten Fällen ohne laufenden Kompressor betrieben werden kann, so dass kein Geräusch von Kompressor und Ventilator zu hören ist. Zwischen den Eingriffen sorgt der leistungsstarke Kompressor für

den Wiederaufbau des Eises. Die Leistung des Kompressors ist mit über 4.270 Kilojoule/Stunde so hoch dimensioniert, dass die Maschine, selbst ohne vorher Eis gebildet zu haben, für den sofortigen Einsatz zur Verfügung steht.

Hypo-/Hyperthermiegeräte mit zwei separaten internen Wasserkreisläufen bieten in der Regel die Möglichkeit, zwei verschiedene Temperaturen gleichzeitig an den externen Kreisläufen zu generieren. So unterstützt das moderne Zwei-Kreislauf-Kühlsystem HCU 30 eine unabhängige und rasche Regulierung der Temperatur des Patienten über den arteriellen Wärmetauscher und Hypo-/Hyperthermiematten sowie Kardioplegie. Eine leistungsstarke Kreiselpumpe lässt das Wasser im Patientenkreislauf zirkulieren. Im Kardioplegiekreislauf übernimmt eine kleiner dimensionierte Pumpe diese Funktion. Die Flussrate der Pumpe für den Patientenkreislauf sowie deren Druck sind bei der HCU 30 einfach über das Display einstellbar.

Das zirkulierende Wasser für den Patienten- und Kardioplegie-Kreislauf im System besteht jeweils aus einem Mix aus kaltem Wasser aus dem Tank und dem rückfließenden Wasser über die Heizer. Das Gemisch wird bei beiden Kreisläufen durch ein Drei-Wege-Ventil über einen elektrischen Motor reguliert. Wenn kein kaltes Wasser benötigt wird, um die Solltemperatur zu halten, wird das Drei-Wege-Ventil zum Tank hin geschlossen und das Wasser fließt in einem geschlossenen Kreislauf. Wenn kaltes Wasser erforderlich ist, um die eingestellte Solltemperatur zu erreichen, wird eine entsprechende Wassermenge vom Tank dem rückfließenden Wasser beigemischt. Um die gleiche Wassermenge im Kreislauf beizubehalten, wird eine entsprechende Wassermenge des rückfließenden

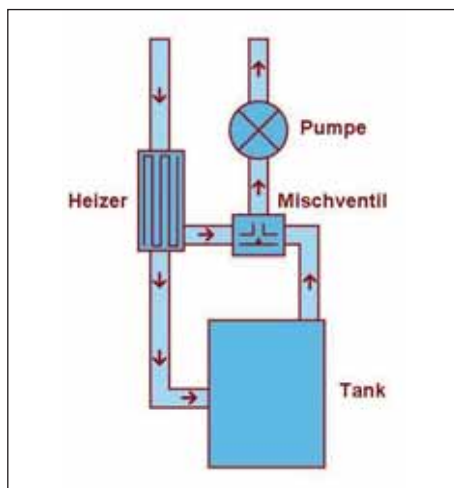


Abb. 2: Funktionsprinzip des internen Patienten- und Kardioplegie-Kreislaufs

Wassers von den Heizern in den Tank zugeführt (Abb. 2).

Sensoren überwachen präzise die Einhaltung der Temperaturvorgaben, die vorherrschende Temperatur in den Heizern, den Wasser- und Eisstand im Tank sowie die Drücke des ausgehenden Wassers. So ist jederzeit ein zuverlässiger und sicherer Einsatz des Hypo-/Hyperthermiegeräts garantiert.

Matthias.Pruckner@maquet-cp.com
Alexander.Vehling@maquet-cp.com

LITERATUR

[1] Böttger, PF: Hypothermie. In: Tschaut R (Hrsg.): Extrakorporale Zirkulation in Theorie und Praxis. Lengerich 2005, 237

[2] a. a. O., 238

[3] Schelkle H, Göritz S: Die EKZ beim Erwachsenen – Blutsparende Maßnahmen. In: Lauterbach G (Hrsg.): Handbuch der Kardiotechnik, 42002, 229

[4] a. a. O., 229

Weitere Anbieter von Hypo-/Hyperthermiegeräten für den Betrieb an der Herz-Lungen-Maschine wie die Sorin Group oder Terumo nutzen ebenfalls den Effekt der Siedekühlung. Dabei setzen nicht alle Systeme die Vereisungstechnik ein, stattdessen sorgt ein Durchlaufkühler für eine schnelle Kälteerzeugung.

Ein Anspruch auf vollständige Nennung sämtlicher Anbieter und Funktionsprinzipien ist nicht gegeben!

Die Redaktion