

# Praktische Durchführung der Myokardprotektion mittels Blutkardioplegie in der Kinderherzchirurgie

## ZUSAMMENFASSUNG

Durch den Einsatz von kardioplegischen Lösungen können optimale Bedingungen für Operationen am offenen Herzen gewährleistet werden, ohne dass dabei eine postoperative Beeinträchtigung der Myokardfunktion erfolgt. Die Überlegenheit der Blutkardioplegie zur Protektion des Herzens kann heute aufgrund von zahlreichen Studien als gesichert gelten. In verschiedenen Zentren weltweit werden allerdings ganz unterschiedliche Verfahren zur Myokardprotektion eingesetzt. Unser Ziel war es, die Myokardprotektion mittels Blutkardioplegie nach Buckberg bei Neugeborenen, Säuglingen und Kindern technisch zu realisieren.

In unserer Klinik wird bei allen Kinderherzoperationen, bei denen die Aorta abgeklemmt werden muss, ausschließlich Blutkardioplegie verwendet. Zwischen Juli 2001 und Januar 2008 haben wir 754 Kinder mit angeborenen Herzfehlern mit Hilfe der Blutkardioplegie zur Myokardprotektion behandelt.

Unsere Strategie zur Myokardprotektion hat dazu beigetragen, dass in unserer Klinik sehr gute Ergebnisse bei Kinderherzoperationen erzielt werden. Die 30-Tage-Sterblichkeit lag im Untersuchungszeitraum bei 1,9 %. In keinem Fall war die Sterblichkeit auf eine unzureichende Myokardprotektion zurückzuführen. Wir sind davon überzeugt, dass durch unser Blutkardioplegiemanagement mit antegrader und retrograder Applikation die Komplexität der kinderherzchirurgischen Eingriffe unabhängig von der Größe der Patienten in keiner Weise erhöht wird.

## SCHLÜSSELWÖRTER

Blutkardioplegie, Herz-Lungen-Maschine, Myokardprotektion, Kinderherzoperation

## ABSTRACT

The use of cardioplegia leads to optimal conditions for open-heart surgeries without a postoperative impairment of the patients' myocardial function. The superiority of blood cardioplegia for the protection of the heart is evident today. The goal of this

work was to technically realize the application of blood cardioplegia after Buckberg in newborn, infants and children.

Our strategy for myocardial protection is the application of blood cardioplegia after Buckberg. Therefore we have a modified heart-lung machine (SIII; Stöckert, München) and designed an adjusted, optimized tubing set. With this setup we achieve a very low priming volume of approximately 50 ml for the whole cardioplegia tubing set.

In every cardiac surgery in neonates and children – when we need to clamp the aorta – we use blood cardioplegia. During 07/2001 and 01/2008 we operated 754 children with congenital heart defects. These defects contained the whole spectrum of congenital malformations including the hypoplastic left heart syndrome, the transposition of the great arteries and single ventricles. About half of the patients were at the time of the surgery younger than one year.

Our strategy for myocardial protection by the administration of blood cardioplegia resulted in very good outcomes for our patients. We are confident that our blood cardioplegia management with antegrade and retrograde application doesn't affect the complexity of the surgical interventions independent from the age of the patients.

## KEY WORDS

Blood cardioplegia, heart-lung machine, myocardial protection

## EINLEITUNG

Durch den Einsatz von kardioplegischen Lösungen können optimale Bedingungen für Operationen am offenen Herzen gewährleistet werden, ohne dass dabei eine postoperative Beeinträchtigung der Myokardfunktion erfolgt.

Ferner wird eine unzureichende Myokardprotektion – trotz der signifikant höheren Ischämietoleranz des kindlichen gegenüber des erwachsenen Myokards – als Hauptgrund für Morbidität und Letalität bei Kinderherzoperationen genannt. [1, 2, 3, 4]

Schon seit zwei Jahrzehnten (Bull et al., 1984) ist erwiesen, dass die Kardioplegie

die Methode der Wahl ist – gegenüber Hypothermie oder intermittierendem Klemmen – zur Protektion des kindlichen Myokards. [1, 5]

Die Überlegenheit der Blutkardioplegie zur Protektion des Herzens kann heute aufgrund von zahlreichen Studien als gesichert gelten. In verschiedenen Zentren weltweit werden allerdings ganz unterschiedliche Verfahren zur Myokardprotektion eingesetzt. [6] Unser Ziel war es, die Myokardprotektion mittels Blutkardioplegie nach Buckberg bei Neugeborenen, Säuglingen und Kindern technisch zu realisieren.

Ziel dieser Arbeit sollte daher nicht die Diskussion über die Überlegenheit der Blutkardioplegie gegenüber anderen Verfahren sein, sondern vielmehr die technische Realisierung der Myokardprotektion mittels Blutkardioplegie nach Buckberg.

## MATERIAL UND METHODEN

### Konzept der Blutkardioplegie nach Buckberg

Diese Strategie, entwickelt von Buckberg et al., kombiniert die Protektion mittels Hypothermie und Depolarisation des Myokards unter Einsatz von warmer und kalter Blutkardioplegie bei ante- und retrograder Applikation. (Abb. 1)

Das Verfahren ist dabei so auf den chirurgischen Ablauf abgestimmt, dass bei der Kardioplegiegabe die Operation nicht unterbrochen werden muss. Dabei verbleibt das Operationsfeld weitgehend blutleer. Eine Wiedererwärmung des Myokards, unnötige Myokardischämie sowie eine Überdosierung der Kardioplegielösung werden ebenfalls vermieden. [9, 10]

### Technische Durchführung von Blutkardioplegie bei Kinderherzoperationen

Unsere Strategie zur Myokardprotektion bei Kinderherzoperationen umfasst die intermittierende Gabe von kalter blutkardioplegischer Lösung nach Buckberg.

Die kardioplegische Lösung besteht zu 4 Teilen aus oxygeniertem Blut und einem Teil aus kristalloider Lösung. Nach einer initialen Gabe von Blutkardioplegie über die Aortenwurzel wird kalte Blutkardiople-

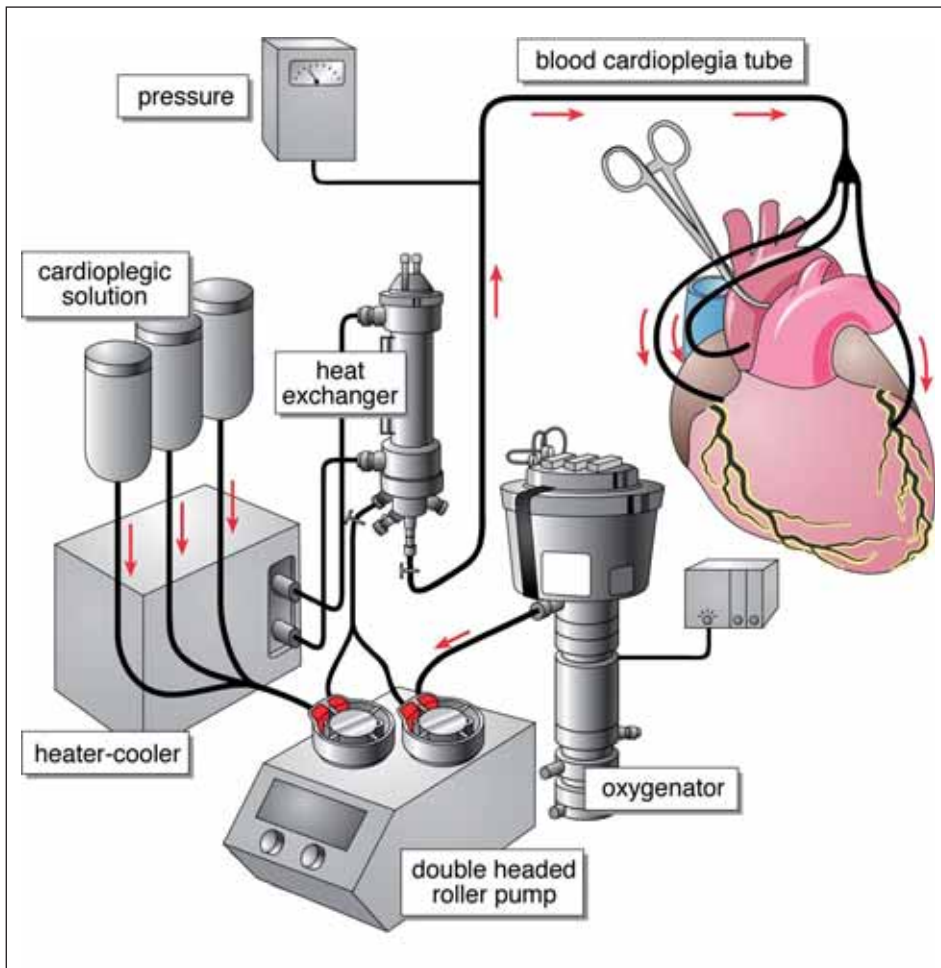


Abb. 1: Ante- bzw. retrograde Applikation der Blutkardioplegie

gie (~4 °C) alle 20 min über den Koronarsinus appliziert, wenn die Aortenklemmzeit länger als 30 min andauert. [12] Für die Induktion des Herzstillstands (initiale Gabe) werden 30 ml Blutkardioplegie pro kg/Körpergewicht (KG), für die Reinfusionen 10 ml Blutkardioplegie pro kg/KG appliziert. Während der Gabe von Kardioplegie soll der Druck in der Aortenwurzel

80 mmHg und im Koronarsinus 50 mmHg nicht übersteigen (siehe Tab. 1). Wenn die Aortenklemmzeit länger als 60 min dauert, wird vor dem Wiedereröffnen der Aortenklammer ein „Hot Shot“ (terminale, warme Reperfusion, 37 °C, 10 ml/kg KG) über den Koronarsinus infundiert. [11]

Die Schlauchkonfiguration unseres Setups wurde unserer modifizierten Kinder-

Kardioplegielösung	Menge	Infusionsdruck	Funktion
Kalte Induktion	30 ml/kg KG	< 80 mmHg (gemessen in der Aortenwurzel)	initiale Induktion des Herzstillstandes
Kalte Reinfusionen	10 ml/kg KG	< 50 mmHg (gemessen an der Spitze des retrograden Katheters)	Aufrechterhaltung des Herzstillstandes und der Hypothermie; Infusionen im Abstand von 20 Minuten
Warme Reperfusion („hot shot“)	10 ml/kg KG	< 50 mmHg (gemessen an der Spitze des retrograden Katheters)	bei Erwachsenen üblich, wird bei Kindern seltener durchgeführt. Neuere Untersuchungen weisen aber auf einen Benefit der warmen Reperfusion bei zyanotischen Kindern hin, insbesondere bei längeren Ischämiezeiten [11]

Tab. 1: Empfehlungen für die Applikation von Blutkardioplegie bei herzchirurgischen Operationen bei Kindern und Neonaten

Herz-Lungen-Maschine SIII (Stöckert, München) mit ausgelagerten Pumpenköpfen angepasst und erzielt eine sehr geringe Primingmenge von ca. 50 ml für das gesamte Kardioplegieset.

## ERGEBNISSE

### Technische Realisierung der Myokardprotektion mittels Blutkardioplegie nach Buckberg

Die Blutkardioplegie – auch bei Kindern – wird direkt über die Herz-Lungen-Maschine appliziert, wobei die wichtigsten Anforderungen an das Kardioplegieset folgende darstellen:

- sehr kleines Primingvolumen und sehr kleine Oberfläche
  - Wärmetauscher mit integrierter Blasenfalle und exzellenter Kühlleistung
  - Anschlussmöglichkeiten für sehr kleine Schläuche (1/8")
  - volumengenaue, fluss- und druckkontrollierte Applikation
  - schnelle Rücknahme des Füllvolumens
- Zur Realisierung dieser Anforderungen wird folgendes Setup verwendet:
- Wärmetauscher CSC 14 (30 ml Priming, leistungsstark [bis 2500 ml/min], integrierte Blasenfalle)
  - Schlauchsystem (Pumpensegmente 3/16" aus Silikon [3,7 ml/U], 1/8" oder 3,5x5,5-mm-Schlauch [~8 ml/m])
  - Drucksensor (zur Überwachung des Liniendrucks, zur Überwachung des Drucks in der Aortenwurzel sowie des Koronarsinus)
  - Temperatursensor

Mit diesem in Abbildung 2 dargestellten Setup sowie der modifizierten Kinder-HLM (SIII, Stöckert, München) mit ausgelagerten Pumpenköpfen und einer optimierten Schlauchkonfiguration wird eine Primingmenge von ~50 ml für das gesamte Kardioplegieset erreicht.

Da an der Herz-Lungen-Maschine SIII keine Voreinstellungen für 3/16"-Pumpensegmente vorgesehen ist, muss für die Pumpenkonfiguration eine spezielle, freie Schlauchkonfiguration mit 3,7 ml/Umdrehung eingestellt werden.

Für spezielle Konfigurationen wie z. B. die Integration eines Leukozytenfilters bei Herztransplantationen sind vor dem Wärmetauscher entsprechende Konnektionsmöglichkeiten für einen Filter vorhanden (siehe Abb. 2).

Zur ante-, retrograden sowie selektiven Applikation werden folgende Kanülen eingesetzt:

- antegrade Kardioplegienadel, 4 Fr, Fa. Medtronic (USA)



Abb. 2: Freiburger Kinder-Kardioplegieset

- retrograder Kardioplegiekatheter 6 Fr. bzw. 9 Fr., Fa. Medtronic (USA) bzw. Fa. Edwards Lifesciences (USA)
- „Oliven“ zur selektiven Perfusion der Koronarostien, 2 bis 5 mm, Fa. Medtronic (USA)

### Demografische Daten

In unserer Klinik wird bei allen Kinderherzoperationen, bei denen die Aorta abgeklemmt werden muss, ausschließlich Blutkardioplegie nach Buckberg verwendet. Dabei wird die Kardioplegie immer direkt über die Herz-Lungen-Maschine appliziert.

Zwischen Juli 2001 und Januar 2008 haben wir 754 Kinder mit angeborenen Herzfehlern mit Hilfe der Blutkardioplegie zur Myokardprotektion behandelt.

Die Herzfehler umfassten das gesamte Spektrum angeborener Vitien einschließlich dem hypoplastischen Linksherzsyndrom (HLHS), der Transposition der großen Gefäße (TGA), dem Vorliegen eines Single Ventrikels usw. Knapp die Hälfte der Kinder (n = 361/48 %) war zum Zeitpunkt der Operation jünger als 1 Jahr.

Unsere Strategie zur Myokardprotektion hat dazu beigetragen, dass in unserer Klinik überdurchschnittlich gute Ergebnisse bei Kinderherzoperationen erzielt werden. Die 30-Tage-Sterblichkeit lag im Untersuchungszeitraum bei 1,9 %. In keinem Fall war die Sterblichkeit auf eine unzureichende Myokardprotektion zurückzuführen. Wir sind davon überzeugt, dass durch unser Blutkardioplegiemanagement mit antegrader und retrograder Applikation die

Komplexität der kinderherzchirurgischen Eingriffe unabhängig von der Größe der Patienten in keiner Weise erhöht wird.

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Applikation von Blutkardioplegie über die Herz-Lungen-Maschine ist mit entsprechender Schlauch- und Pumpenkonfiguration technisch durchaus zu realisieren. Kleine Systemkomponenten sowie intelligente Schlauchführungen tragen zu einem sehr geringen Primingvolumen bei.

Um das Primingvolumen sowie die Fremdoberfläche weiter zu minimieren, wären allerdings direkt an Neonaten, Säuglinge und Kinder angepasste Systemkomponenten durchaus wünschenswert. So existiert beispielsweise kein „Kinder-Wärmetauscher“. Der kleinste kommerziell erhältliche Wärmetauscher (CSC 14, Sorin, Italien) ist mit einem Leistungsbereich von bis zu 2500 ml/min weit über den bei Kinderherzoperationen realistischen Flussbereich (normal: bis maximal 200 ml/min) einsetzbar und damit extrem überdimensioniert.

Sicherlich muss auch noch erwähnt werden, dass es trotz der überzeugenden Ergebnisse in unserer Klinik bis heute keinerlei klinische Evidenz für den Vorteil eines Kardioplegieverfahrens gegenüber anderen bei kinderherzchirurgischen Operationen gibt. Als mögliche Gründe spielen die chirurgischen Techniken selber, die Dauer der Operation sowie die Qualität der postoperativen Versorgung eine wichtige Rolle. [14–17]

### LITERATUR

- [1] Bull C, Cooper J, Stark J: Cardioplegic protection of the child's heart. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1984; 88: 287–293
- [2] Allen BS, Barth MJ, Ilbawi MN: Pediatric myocardial protection: an overview. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 2001; 13: 56–72
- [3] Young JN, Choy IO, Silva NK et al: Antegrade cold blood cardioplegia is not demonstrably advantageous over cold crystalloid cardioplegia in surgery for congenital heart disease. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1997; 114: 1002–1008
- [4] Yano Y, Braimbridge MV, Hearse DJ: Protection of the pediatric myocardium. Differential susceptibility to ischemic injury of the neonatal rat heart. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1987; 94: 887–896
- [5] Bigelow WG, Lindsay WK, Greenwood WF: Hypothermia: Its possible role in cardiac surgery. An investigation of factors governing survival in dogs at low body temperatures. *Ann Surg* 1950; 132: 849
- [6] Doenst T, Schlensak C, Beyersdorf F: Cardioplegia in pediatric cardiac surgery: do we believe in magic? *Ann Thorac Surg* 2003; 75: 1668–1677
- [7] Beyersdorf F, Buckberg GD: Myocardial protection with blood cardioplegia during

valve operations. *J Heart Valve Dis* 1994; 3(4): 388–403

[8] Castaneda AR, Jonas RA, Mayer JE, Hanley FL: Myocardial preservation in the immature heart. In: Castaneda AR, Jonas RA, Mayer JE, Hanley FL: *Cardiac surgery of the neonate and infant*. WB Saunders, 6th ed. Philadelphia 1994: 41–54

[9] Buckberg GD: Myocardial Protection: An overview. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 1993; 5: 98–106

[10] Buckberg GD: Update on current techniques of myocardial protection. *Ann Thorac Surg* 1995; 60: 805–814

[11] Modi P, Suleiman MS, Reeves B, Pawade A, Parry AJ, Angelini GD et al: Myocardial metabolic changes during pediatric cardiac surgery: a randomized study of 3 cardioplegic techniques. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2004; 128: 67–75

[12] Corno AF, Bethencourt DM, Laks H et al: Myocardial protection in the neonatal heart. A comparison of topical hypothermia and crystalloid and blood cardioplegic solutions. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1987; 93: 163–172

[13] Pearl JM, Hiramoto J, Laks H et al: Fumarate-enriched blood cardioplegia results in complete functional recovery of immature myocardium. *Ann Thorac Surg* 1994; 57: 1636–1641

[14] Julia P, Young HH, Buckberg GD et al: Studies of myocardial protection in the immature heart. IV. Improved tolerance of immature myocardium to hypoxia and ischemia by intravenous metabolic support. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1991; 101: 23–32

[15] Bove EL, Stammers AH: Recovery of left ventricular function after hypothermic global ischemia. Age-related differences in the isolated working rabbit heart. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1986; 91: 115–122

[16] Karck M, Ziemer G, Haverich A: Myocardial protection in chronic volume-overload hypertrophy of immature rat hearts. *Eur J Cardiothorac Surg* 1996; 10: 690–698

[17] Bolling K, Kronon M, Allen BS et al: Myocardial protection in normal and hypoxically stressed neonatal hearts: the superiority of blood versus crystalloid cardioplegia. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1997; 113: 994–1003

Dipl.-Ing. (FH) Rolf Klemm  
 Universitätsklinikum Freiburg  
 Abt. für Herz- und Gefäßchirurgie  
 Hugstetter Str. 55  
 79106 Freiburg  
 rolf.klemm@uniklinik-freiburg.de