

Aus der Herzchirurgischen Klinik und Poliklinik
der Ludwig-Maximilians-Universität München
Direktor: Prof. Dr. med. Bruno Reichart

**Einfluss der aktiven venösen Drainage an der HLM
auf laborchemische und klinische Parameter:
Vergleich mit der konventionellen venösen Drainage**

Dissertation zum Erwerb des Doktorgrades
der Medizin an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von Manuel Abels
aus München
2003

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. H. Reichensperner, Ph.D.

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. B.M. Kemkes

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter:

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h.c. K. Peter

Tag der mündlichen Prüfung: 16.10.2003

Meiner Freundin und Lebenspartnerin Heidrun Koskowski widme ich diese Arbeit.

Sie unterstützte mich während der gesamten Dauer meiner Dissertation und schaffte es immer wieder, mich in schwierigen Zeiten zum Weitermachen zu motivieren.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN..... | 2 |
| VERZEICHNIS DER TABELLEN..... | 3 |
| ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS..... | 4 |
| 1. EINLEITUNG..... | 7 |
| 2. PATIENTEN, MATERIAL UND METHODIK..... | 11 |
| 2.1. EIN- UND AUSSCHLUSSKRITERIEN | 11 |
| 2.2. HERZ-LUNGEN-MASCHINE | 12 |
| 2.3. GRUPPENEINTEILUNG UND TECHNIK DER AKTIVEN VENÖSEN DRAINAGE | 12 |
| 2.3.1. <i>Gruppe 1: Schwerkraft-assistierte venöse Drainage</i> | 12 |
| 2.3.2. <i>Gruppe 2: Biopumpen-assistierte venöse Drainage</i> | 14 |
| 2.3.3. <i>Gruppe 3: Vakuum-assistierte venöse Drainage</i> | 15 |
| 2.4. VERSUCHSABLAUF UND MESSGRÖSSEN..... | 17 |
| 2.4.1. <i>Operationsablauf und Probenentnahme</i> | 17 |
| 2.4.2. <i>Klinische Daten</i> | 20 |
| 2.4.3. <i>Kardiotechnische Daten</i> | 21 |
| 2.4.4. <i>Laborchemische Daten</i> | 22 |
| 2.5. STATISTIK..... | 24 |
| 3. ERGEBNISSE..... | 25 |
| 3.1. KLINISCHE PARAMETER | 25 |
| 3.2. KARDIOTECHNISCHE PARAMETER..... | 31 |
| 3.3. LABORCHEMISCHE PARAMETER..... | 40 |
| 4. DISKUSSION..... | 71 |
| 4.1. STUDIENDESIGN UND ZIELSETZUNG | 71 |
| 4.2. AUSWIRKUNG DER VENÖSEN DRAINAGE AUF DIE TRAUMATISIERUNG DER BLUTZELLEN..... | 71 |
| 4.3. KLINISCHE AUSWIRKUNGEN DER VERSCHIEDENEN VENÖSEN DRAINAGEN | 76 |
| 4.4. KARDIOTECHNISCHE BEOBACHTUNGEN..... | 77 |
| 4.5. BEDEUTUNG DER AKTIVEN VENÖSE DRAINAGE | 78 |
| 5. ZUSAMMENFASSUNG..... | 83 |
| 6. LITERATURVERZEICHNIS..... | 85 |

| | |
|-------------------------|-----------|
| DANKSAGUNG..... | 93 |
| LEBENS LAUF..... | 95 |

Verzeichnis der Abbildungen

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Schwerkraft-assistierte venöse Drainage (schematisch)..... | 13 |
| Abbildung 2: Biopumpen-assistierte venöse Drainage (schematisch)..... | 14 |
| Abbildung 3: Biopumpen-assistierte venöse Drainage..... | 15 |
| Abbildung 4: Vakuum-assistierte venöse Drainage (schematisch)..... | 16 |
| Abbildung 5: Vakuum-assistierte venöse Drainage..... | 17 |
| Abbildung 6: Verlauf der Haptoglobin-Werte..... | 43 |
| Abbildung 7: Verlauf der Quickwerte..... | 51 |
| Abbildung 8: Verlauf der GOT-Werte..... | 56 |
| Abbildung 9: Verlauf der LDH-Werte..... | 58 |

Verzeichnis der Tabellen

| | |
|---|----|
| <u>Tabelle 1</u> : Anzahl und Verteilung der verschiedenen Operationen in den Gruppen . | 26 |
| <u>Tabelle 2</u> : Verteilung des Geschlechtes in den Gruppen..... | 26 |
| <u>Tabelle 3</u> : Klinische Parameter..... | 28 |
| <u>Tabelle 4</u> : Klinische Parameter..... | 30 |
| <u>Tabelle 5</u> : ZVD (zentralvenöser Druck) | 34 |
| <u>Tabelle 6</u> : arterieller Flow | 35 |
| <u>Tabelle 7</u> : Kardioelektrische Daten..... | 36 |
| <u>Tabelle 8</u> : Vacuum Controller Vacuum Setting (mmHg)..... | 37 |
| <u>Tabelle 9</u> : Druck im venösen Reservoir..... | 38 |
| <u>Tabelle 10</u> : Geschwindigkeit der venösen Zentrifugalpumpe (Biopumpe)..... | 39 |
| <u>Tabelle 11</u> : HBDH (LDH-Isoenzym 1)..... | 41 |
| <u>Tabelle 12</u> : Haptoglobin..... | 42 |
| <u>Tabelle 13</u> : Erythrozyten..... | 44 |
| <u>Tabelle 14</u> : Hämoglobin..... | 46 |
| <u>Tabelle 15</u> : Hämatokrit..... | 47 |
| <u>Tabelle 16</u> : Thrombozyten | 48 |
| <u>Tabelle 17</u> : Quick..... | 50 |
| <u>Tabelle 18</u> : PTT (partielle Thromboplastinzeit)..... | 52 |
| <u>Tabelle 19</u> : Bilirubin | 53 |
| <u>Tabelle 20</u> : GOT (Glutamat-Oxalazetat-Transaminase)..... | 55 |
| <u>Tabelle 21</u> : LDH (Lactatdehydrogenase)..... | 57 |
| <u>Tabelle 22</u> : Gesamteiweiß | 59 |
| <u>Tabelle 23</u> : indirektes Bilirubin..... | 61 |
| <u>Tabelle 24</u> : LDH/GOT | 62 |
| <u>Tabelle 25</u> : HBDH-Anteil | 64 |
| <u>Tabelle 26</u> : ACT (activated coagulation time) | 65 |
| <u>Tabelle 27</u> : MCV (mean corpuscular volume)..... | 66 |
| <u>Tabelle 28</u> : MCH Mean corpuscular hemoglobin..... | 67 |
| <u>Tabelle 29</u> : MCHC (mean corpuscular hemoglobin concentration)..... | 68 |
| <u>Tabelle 30</u> : Urin-Stix-Erys; Kreuztabelle | 69 |

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

| | |
|----------|---|
| ACT | activated coagulation time |
| ACVB | aortokoronarer Venenbypass |
| ASAT | Aspartat-Aminotransferase |
| ASD | atrium septum defekt |
| AVD | assisted venous drainage |
| BSA | Körperoberfläche (body surface area) |
| ECCOR | extracorporeal CO ₂ removal |
| ECMO | extracorporeal membrane oxygenation |
| EK | Erythrozytenkonzentrat |
| EKZ | extrakorporale Zirkulation |
| Ery | Erythrozyt |
| FFP | fresh-frozen-plasma |
| Fr | French |
| GAVD | gravity-assisted venous drainage |
| GOT | Glutamat-Oxalazetat-Transaminase |
| HAES | Hydroxyaethylstärke |
| HBDH | α -Hydroxybutyratdehydrogenase; LDH-Isoenzym 1 |
| HLM | Herz-Lungen-Maschine |
| IABP | intraaortale Ballonpumpe |
| IE | internationale Einheiten |
| Intensiv | Intensivstation |
| KAVD | kinetic-assisted venous drainage |
| KG | Körpergewicht |
| LDH | Lactatdehydrogenase |
| LOS | hospital length of stay |
| min | Minuten |
| MCH | mean corpuscular hemoglobin |
| MCHC | mean corpuscular hemoglobin concentration |
| MCV | mean corpuscular volume |
| MICS | minimalinvasive cardiac surgery |
| MW | Mittelwert |
| n | Anzahl der Probanden |

| | |
|--------------------|---|
| NaCl | Natrium-Chlorid (Kochsalz) |
| NaHCO ³ | Natriumbikarbonat |
| n.s. | nicht signifikant |
| OP | Operation |
| p | Signifikanzniveau |
| Priming. | Primingvolumen |
| PTT | partielle Thromboplastinzeit |
| sek | Sekunden |
| SD | Standardabweichung |
| SPSS | statistical package for social sciences |
| TK | Thrombozytenkonzentrat |
| VAVD | vacuum-assisted venous drainage |
| VE | Vollelektrolytlösung |
| ZVD | zentralvenöser Druck |

1. EINLEITUNG

Mit der Entwicklung der Herz-Lungen-Maschine (HLM) Anfang der Fünfziger Jahre begann ein neues Kapitel in der modernen Herzchirurgie. Der Amerikaner John Gibbon Jr. setzte die Maschine erstmals am 6. Mai 1953 erfolgreich beim Verschluss eines Vorhof-Septum-Defekts (ASD) ein (SCHOTT 1997). Durch die extrakorporale Zirkulation (EKZ) – auch cardiopulmonarer Bypass (CPB) genannt – konnten die Herzchirurgen nun Eingriffe am offenen, stillstehenden Herzen durchführen. Hierbei werden Herz und Lunge zeitweise aus dem normalen Kreislauf ausgeschaltet und durch einen extrakorporalen Kreislauf ersetzt.

Die heutigen Herz-Lungen-Maschinen sind bedeutend kleiner und moderner als die monströsen Apparate aus Gibbons Pionierzeit. Inzwischen hat sich der Einsatz der Herz-Lungen-Maschine in der Herzchirurgie bei Bypass-Operationen, Herzklappenersatz bzw. -rekonstruktion, Korrekturen angeborener Herzfehler, Eingriffen an der Aorta ascendens und Herz- bzw. Lungentransplantationen etabliert (FRANK 1995; SCHELD et al. 1997). Obwohl die moderne Herzchirurgie teilweise am schlagenden Herzen durchgeführt wird, kann man bei Eingriffen am offenen Herzen auch heute noch nicht auf den Einsatz der Herz-Lungen-Maschine verzichten.

Auch die Einführung neuer, minimalinvasiver Techniken veränderte die Herzchirurgie wesentlich (REICHENSPURNER et al. 1998). Für die Patienten brachte die minimalinvasive Herzchirurgie (MICS) wesentliche Vorteile: eine Reduktion des chirurgischen Traumas, die Senkung von Morbidität und Letalität, die beschleunigte Rekonvaleszenz und Rehabilitation nach der Operation. Zudem konnten Liegezeiten verkürzt und Kosten gesenkt werden (REICHENSPURNER et al. 2000; DIEGELER, MOHR 1999).

Für den Chirurgen bedeutet minimalinvasive Herzchirurgie in erster Linie eine Reduktion des chirurgischen Zugangswegs zum Herzen. Mit einer limitierten Sternotomie, einer Minithorakotomie oder einer kleinen subxiphoidalen Öffnung des Thorax sind die Aortenklappe (COSGROVE, SABIK 1996), die Mitralklappe (REICHENSPURNER et al. 2000; REICHENSPURNER et al. 1999; CHITWOOD et al. 1997) oder Trikuspidalklappe, das Vorhofseptum (REICHENSPURNER et al. 1998; IZZAT, YIM 1997) und einzelne Koronararterien meist sehr gut zugänglich. Beim Anschluss der Herz-Lungen-Maschine kann es aufgrund der eingeschränkten

Platzverhältnisse jedoch zu Schwierigkeiten kommen (DIEGELER, MOHR 1999). Dies bedeutet, dass die Sicht des Operateurs durch die relativ großen venösen Kanülen bei der herkömmlichen venösen Drainage eingeschränkt wird. Aus diesem Grund ist man dazu übergegangen, kleinere venöse Kanülen zu verwenden. Ihr Nachteil besteht jedoch darin, einen ausreichenden venösen Rückfluss zu limitieren. Deshalb kommt in diesem Fall seit Anfang der Neunziger Jahre die aktive venöse Drainage (AVD) zum Einsatz.

Anders als bei der herkömmlichen, Schwerkraft-assistierten venösen Drainage (GAVD), bei der der Höhenunterschied zwischen Patient und venösem Reservoir die treibende Kraft für den venösen Rückstrom ist, wird bei der aktiven venösen Drainage der venöse Rückfluss mit einer zusätzlichen, in die venöse Linie eingeschalteten Pumpe unterstützt. Im wesentlichen verwendet man hierbei entweder eine Zentrifugalpumpe (MCCASKER et al. 1992), eine Vakuumpumpe (MÜNSTER et al. 1999) oder eine Rollerpumpe (TAMARI et al. 1999; NELSON, LICH 2001) als Unterstützung.

Bereits während der konventionellen extrakorporalen Zirkulation mit nur einer Pumpe im Blutkreislauf wird das Blut hohen mechanischen Kräften und starken Druckschwankungen ausgesetzt, die zu einer Traumatisierung der Blutzellen führen können (KAMENEVA et al. 1999). Bei der aktiven venösen Drainage mit einer zusätzlichen Pumpe im Kreislauf stellte sich uns die Frage, ob die bereits bekannte Schädigung von Blutzellen hier noch stärker auftritt und ob dies klinische Auswirkungen auf den postoperativen Zustand der Patienten hat. Von Interesse war zudem für uns, ob auch die Art der zusätzlichen Pumpe (in unserem Fall Vakuumpumpe oder Zentrifugalpumpe) in der venösen Linie Einfluss auf die gemessenen Laborparameter und klinischen Parameter hat. Jedes dieser Pumpsysteme für sich alleine wurde in der Vergangenheit bereits untersucht, es lagen jedoch noch keine vergleichenden Studien im Zusammenhang mit der aktiven venösen Drainage vor.

In unserer Untersuchung gingen wir zudem der Frage nach, welchen Einfluss die, besonders in der minimalinvasiven Herzchirurgie notwendigen, kleineren venösen Kanülen auf die Traumatisierung der Blutzellen haben könnten. Der Gedanke dabei war, dass bei einer venösen Kanüle kleineren Durchmessers der Blutfluss stärkerer Beschleunigung ausgesetzt ist und sich der Widerstand in der venösen Linie erhöht

(TEVAEARAI et al. 1999). Diese Kräfte könnten die Blutzellen im extrakorporalen Kreislauf zusätzlich schädigen.

Inzwischen werden von vielen namhaften medizintechnischen Firmen spezielle Produkte für die aktive venöse Drainage angeboten, z.B. Vakuumpumpensysteme, Zentrifugalsysteme, venöse Reservoirs mit Sicherheitsventilen und natürlich auch eine ganze Reihe kleinerer venöser Kanülen in verschiedenen Größen. Erhältlich sind sogar elastische, dehnbare venöse Kanülen, die den venösen Rückfluss verbessern sollen (JEGGER et al. 2002).

Mit dieser Palette an Produkten reagieren die Unternehmen natürlich auch auf das immer breitere Anwendungsspektrum der aktiven venösen Drainage. Neben der minimalinvasiven Herzchirurgie kommt dieses System vor allem auch in der Kinderherzchirurgie zum Einsatz (NAKANISHI et al. 2001). Auch hier verwendet man venöse Kanülen mit kleinerem Durchmesser, die bei den beengten anatomischen Verhältnissen für eine bessere Übersicht sorgen. Weitere Einsatzgebiete der aktiven venösen Drainage sind u.a. herzchirurgische Re-Operationen und auch konventionelle Herzoperationen, bei denen man einfach nur den häufig unzureichenden venösen Rückfluss verbessern will.

Die aktive venöse Drainage ist heute eine bedeutende Komponente in der Herzchirurgie und der Kardioteknik geworden. Studien auf diesem Gebiet sind deshalb sehr wichtig und sollen helfen, die Sicherheit und Qualität dieses Systems zu verbessern und es damit weiter etablieren.

2. PATIENTEN, MATERIAL UND METHODIK

2.1. Ein- und Ausschlusskriterien

In der prospektiven, randomisierten Studie wurden 92 Patienten in 3 verschiedene Gruppen aufgeteilt und jeweils vor, während und nach der Herzoperation unter extrakorporaler Zirkulation untersucht. Alle Patienten wurden eingehend über Ablauf und Ziel der Studie aufgeklärt und gaben ihr Einverständnis.

Einschlusskriterien:

- Es wurden ausschließlich Patienten ausgewählt, die sich einer elektiven, konventionellen aortokoronaren-Venenbypass-Operation oder einer elektiven, konventionellen, einfachen Klappenoperation (Aortenklappenersatz oder Mitralklappenersatz) unterzogen.

Ausschlusskriterien:

ausgeschlossen wurden:

- Patienten mit einem Alter jünger als 25 Jahre oder älter als 85 Jahre,
- Patienten mit Doppeleingriffen, z.B. Doppelklappenersatz oder kombinierte Bypass-Klappen-Operationen,
- Patienten mit herzchirurgischen „Re-Eingriffen“, d.h. Patienten, die voroperiert waren,
- Patienten mit Erkrankungen, die Hämolyse verursachen können,
- Patienten bei denen mindestens drei zu messende laborchemische Parameter präoperativ pathologisch, also außerhalb des Referenzbereiches lagen (zwei Parameter außerhalb des Referenzbereiches wurden noch akzeptiert, da diese häufig als Infarktzeichen zu werten sind),
- Patienten mit kreislaufunterstützenden Geräten (z.B. IABP) oder extrakorporaler Kreislaufunterstützung (z.B. ECMO, ECCOR, Hämodialyse),

- Patienten mit primärer oder sekundärer Blutungsneigung, Blutdyskrasien oder Gerinnungsanomalien,
- Patienten bei denen schwere intraoperative Komplikationen auftraten.

2.2. Herz-Lungen-Maschine

Die meisten Komponenten der Herz-Lungen-Maschine waren bei allen drei Gruppen konstant, lediglich das System der aktiven venösen Drainage unterschied sich. Bei den Untersuchungen wurde bei allen Patienten eine Herz-Lungen-Maschine der Firma Terumo (3M), Sarns 9000 mit einem geschlossenen System verwendet. Als arterielle Pumpe wurde dabei eine Terumo (3M) Rollerpumpe in den maschinellen Kreislauf geschaltet. Das arterielle Blut gelangte durch die arterielle Linie (3/8 Zoll) und über eine arterielle Kanüle mit der Größe 21 Fr. (flexible Kanüle, Medtronic®) wieder in die Aorta. Oxigeniert wurde das Blut dabei durch einen Oxigenator der Firma Medtronic (Maxima PRF, Medtronic®) und arteriell gefiltert mit einem Hämofilterset der Firma Gambro. Die Länge der venösen Linie hatte konstant eine Länge von ca. 190 cm, mit einem Innendurchmesser von 1/2 Zoll. Die Temperatur des Blutes konnte mit einem Wärmeaustauscher variiert werden. Eine schematische Darstellung der Herz-Lungen-Maschine ist in Abbildung 1 zu sehen.

2.3. Gruppeneinteilung und Technik der aktiven venösen Drainage

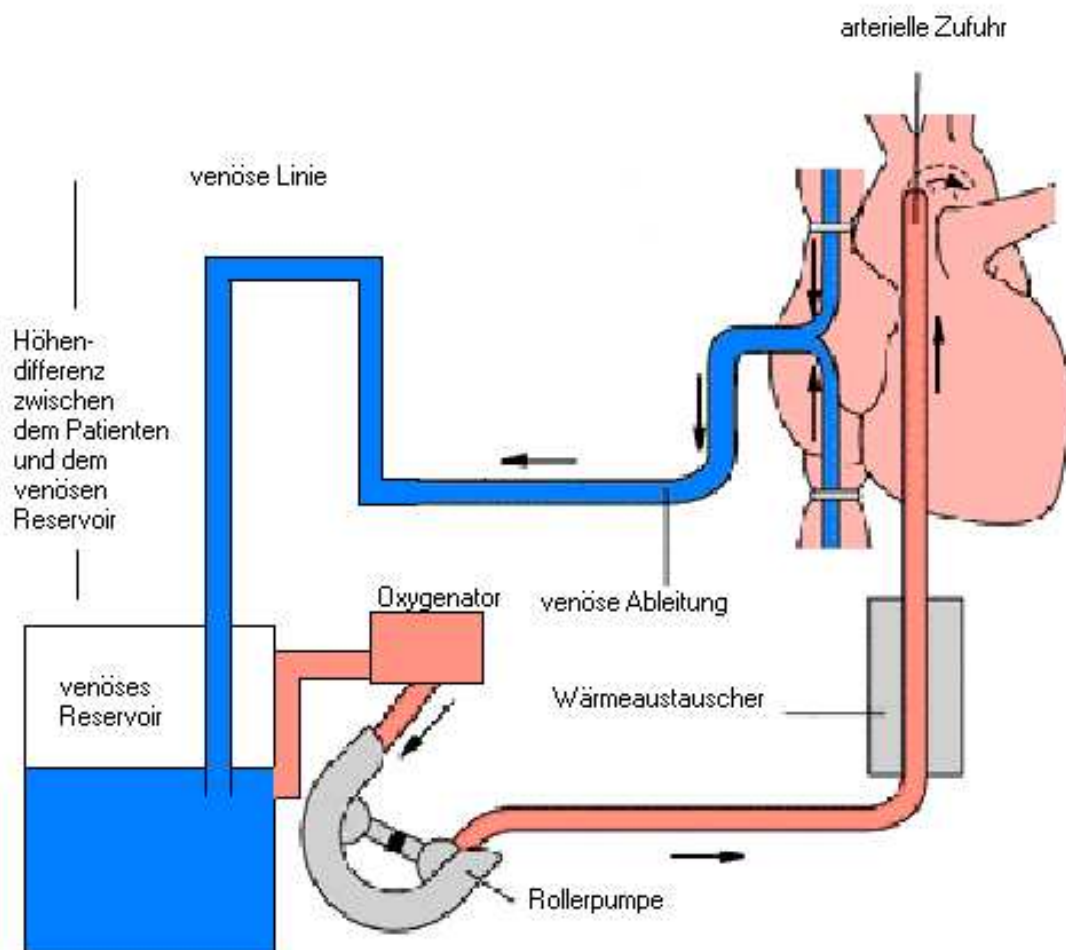
Die 92 Patienten wurden zufällig auf die drei verschiedenen Gruppen verteilt. Die Gruppen unterschieden sich lediglich hinsichtlich des verwendeten venösen Drainagensystems. In Gruppe 1 kam die herkömmliche Schwerkraft-assistierte venöse Drainage zum Einsatz. In Gruppe 2 und Gruppe 3 wurde die venöse Drainage durch zusätzlich eingebaute Pumpensysteme aktiv unterstützt.

2.3.1. Gruppe 1: Schwerkraft-assistierte venöse Drainage

In der Gruppe 1 (n= 31) der Schwerkraft-assistierten venösen Drainage (GAVD) verwendeten wir eine relativ große venöse Kanüle (32 Fr. Zweistufen-Kanüle, DLP 32/40 Fr. two stage venous cannula, Medtronic®), wie sie in der konventionellen

Herzchirurgie durchaus üblich ist. Der venöse Rückfluss in das venöse Reservoir wurde dabei ausschließlich durch die Schwerkraft unterstützt. Hierbei wurde die venöse Drainage durch die Gravitation erzeugt, das heißt durch den Höhenabstand zwischen Patient und venösem Reservoir. Aus diesem Grund wurde das venöse Reservoir ca. 60 cm unterhalb des rechten Vorhofes des Patienten installiert. Eine zusätzliche unterstützende Pumpe in der venösen Linie gab es dabei nicht.

Abbildung 1: Schwerkraft-assistierte venöse Drainage (schematisch)



2.3.2. Gruppe 2: Biopumpen-assistierte venöse Drainage

In der Gruppe 2 (n= 28) wurde eine kleine venöse Kanüle (29 Fr. Zweistufen-Kanüle; DLP 29/29 Fr. two stage venous cannula, Medtronic®) verwendet. Um einen trotzdem ausreichenden venösen Rückfluss zu erreichen wurde eine Zentrifugalpumpe (Bio-Pump®; Centrifugal Pump; Medtronic®) in die venöse Linie eingebaut. Diese Methode der assistierten venösen Drainage nennt man auch „kinetic-assisted venous drainage“ oder KAVD (MCCASKER et al. 1992 und TOOMASIAN, MCCARTHY 1998). Die Biopumpe wurde dabei zwischen die venöse Kanüle und das venöse Reservoir (Maxima Forte Venous Reservoir, Medtronic®) geschaltet. Das venöse Reservoir mußte hierbei nur ca. 15 cm unterhalb des rechten Vorhofes des Patienten installiert werden. Dabei hatten wir mit Hilfe von zwei zusätzlichen Y-Konnektoren eine Shuntverbindung in der venösen Linie geschaffen. Diese Verbindung wurde mit einer Klemme unterbrochen, um den Blutstrom durch die Biopumpe zu leiten. (siehe Abbildungen 2 und 3)

Abbildung 2: Biopumpen-assistierte venöse Drainage (schematisch)

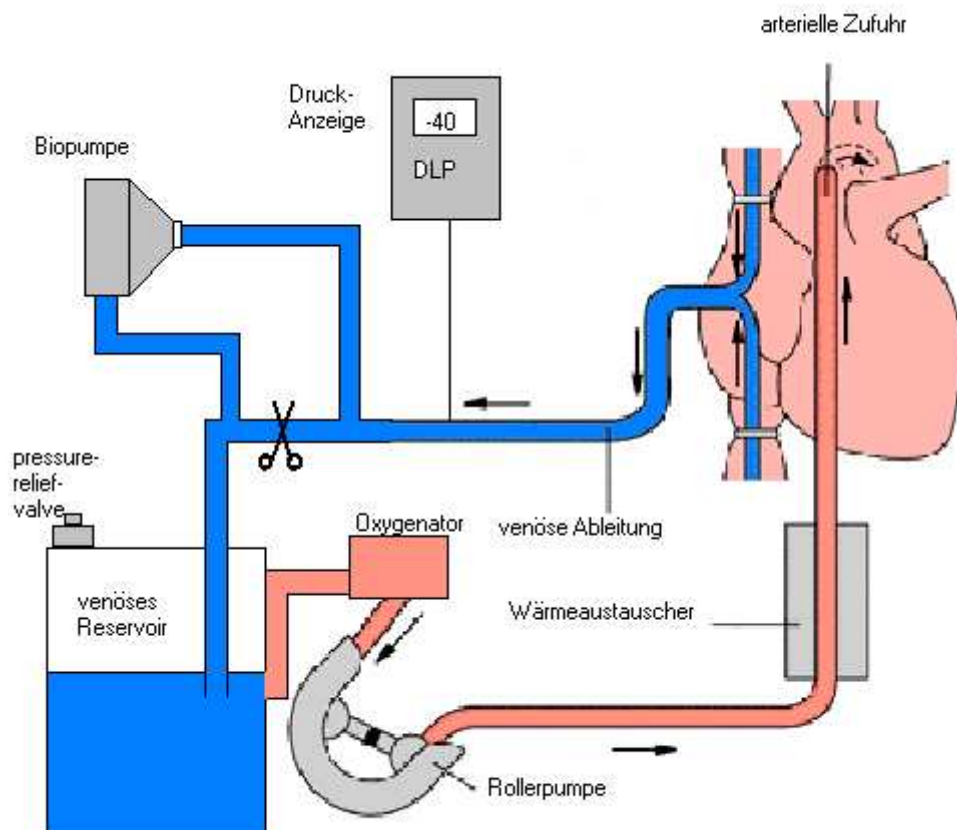
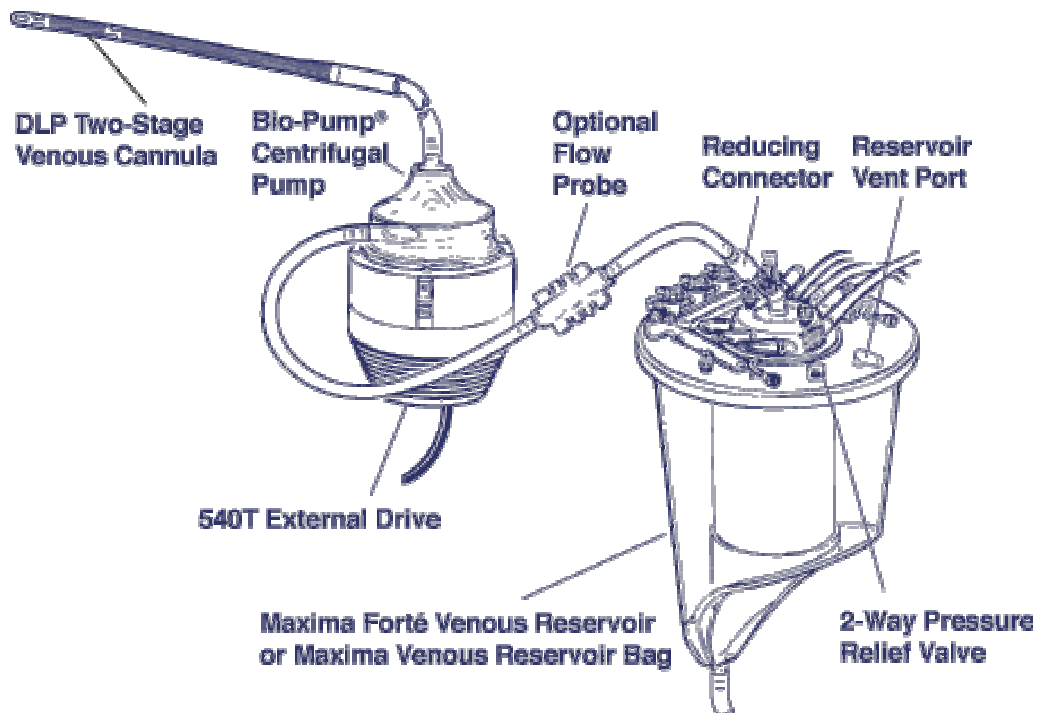


Abbildung 3: Biopumpen-assistierte venöse Drainage



2.3.3. Gruppe 3: Vakuum-assistierte venöse Drainage

In der Gruppe 3 (n= 33) wurde ebenfalls eine kleine venöse Kanüle (29 Fr. Zweistufen-Kanüle; DLP 29/29 Fr. two stage venous cannula, Medtronic®) verwendet. Bei der Vakuum-assistierten Drainage oder auch VAVD (vacuum-assisted venous drainage) wurde der venöse Rückfluss jedoch mit Hilfe einer Vakuumpumpe unterstützt. Der notwendige negative Druck kam dabei aus dem normalen Vakuumanschluß in der Wand, wie er in allen Operationsabteilungen üblich ist. Dieser Sog wurde mit einem Regulator gekoppelt und direkt an das venöse Reservoir (Maxima Forte Venous Reservoir, Medtronic®) angeschlossen. Außerdem wurde noch ein spezieller Druckanzeiger (DLP Pressure Display Box 60000,

Medtronic®) in die venöse Linie eingebaut, um den negativen Druck kontrollieren zu können. Eine speziell entwickelte Klappe zum Druckausgleich, eine so genannte pressure-relief-valve wurde in das venöse Reservoir eingebaut, um das venöse Reservoir und die gesamte venöse Linie vor zu hohem negativem Druck zu schützen und um einen drohenden venösen Kollaps zu vermeiden (ALMANY, SISTINO 2002; HAYASHI et al. 2001; TAKETANI et al. 1998). Das venöse Reservoir wurde auch

hier nur ca. 15 cm unterhalb des rechten Vorhofes des Patienten installiert. Es wurde die Technik der Vakuum-assistierten venösen Drainage angewendet, wie sie bei MÜNSTER et al. (1999) beschrieben wurde. (siehe Abbildungen 4 und 5)

Abbildung 4: Vakuum-assistierte venöse Drainage (schematisch)

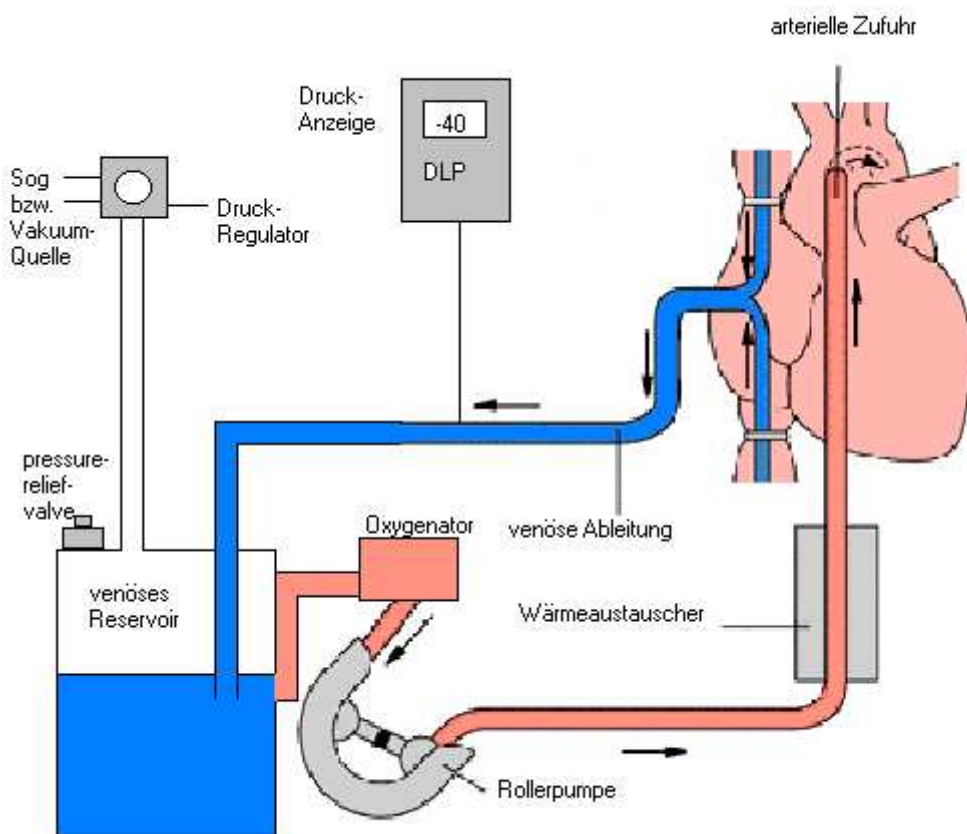
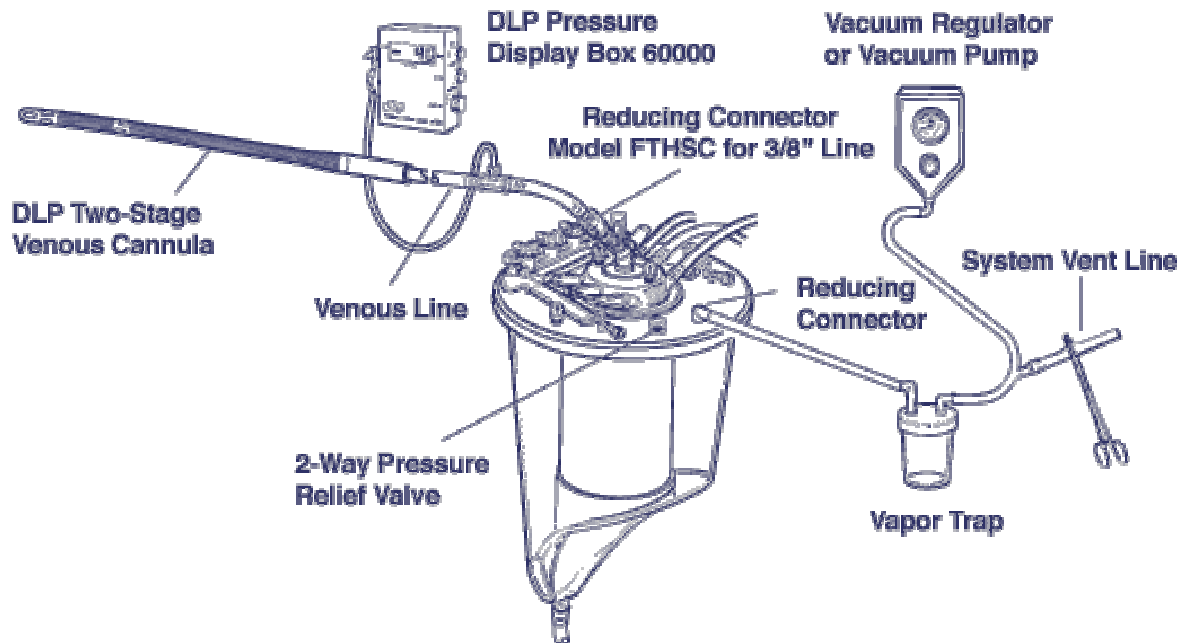


Abbildung 5: Vakuum-assistierte venöse Drainage



2.4. Versuchsablauf und Messgrößen

2.4.1. Operationsablauf und Probenentnahme

Einen Tag vor der Operation wurde bei allen Patienten Blut abgenommen (Zeitpunkt T1). Hieraus wurden die präoperativen Kontrollwerte der zu messenden Laborparameter (siehe nächstes Kapitel) bestimmt. Lagen bereits präoperativ mehr als drei zu messende Parameter außerhalb des Referenzbereiches, so wurden diese Patienten aus der Studie ausgeschlossen (siehe Ein- und Ausschlusskriterien).

Die Patienten erhielten am Operationstag ca. eine Stunde vor der Operation zur Prämedikation je nach Körpergewicht 7,5 bis 15 mg Midazolam (Dormicum®) oral. Im Narkoseeinleitungsraum wurden die Patienten vollständig verkabelt, d.h. sie erhielten einen peripher venösen Zugang am linken oder rechten Arm, sowie einen zentralen Venenkatheter in die Vena jugularis interna zur Messung des zentralen Venendruckes (ZVD). Außerdem wurde ein arterieller Katheter zur kontinuierlichen Überwachung des arteriellen Blutdruckes und zur regelmäßigen Kontrolle der Blutgase in die Arteria femoralis gelegt. Aus diesem arteriellen Katheter wurden

später auch die Blutproben zur Bestimmung der postoperativen Laborwerte entnommen. Weiterhin wurden noch ein 5-Kanal-EKG und ein Pulsoximeter zur kontinuierlichen Überwachung des EKG und der Sauerstoffsättigung sowie 2 Temperatursonden zur Überwachung der rektalen und ösophagealen Temperatur angebracht.

Nach intravenöser Einleitung der Anästhesie mit Etomidate (Hypnomidate®) in einer Dosierung von 0,2 - 0,3 mg/kg KG und Relaxation des Patienten mit Pancuronium (Pancuronium organum®) in einer Dosierung von 0,08 – 0,1 mg/kg KG wurde die Narkose durch eine Kombination von intravenös gegebenen Medikamenten und Inhalationsanästhetika aufrechterhalten. Zur Analgesie wurde dabei Sufentanil (Sufenta®) initial als Bolus in einer Dosierung von 1 µg/kg KG gegeben und zur Aufrechterhaltung eine Dosis von 1 µg/kg KG/h. Ab einer Gesamtdosis von 100 – 250 µg Sufentanil wurde auf das kürzer wirksame Remifentanil (Ultiva®) in einer Dosierung von 1 µg/kg KG/min umgestellt, um einen möglichen Opioidüberhang zu vermeiden.

Alle Patienten wurden oral intubiert, beatmet und mit dem Rücken auf dem Operationstisch gelagert. Die Patienten wurden unter aseptischen Bedingungen mit Desinfektionsmittel abgewaschen und steril abgedeckt. Der Thorax wurde über eine mediale Sternotomie eröffnet und durch einen Thoraxsperrer offen gehalten. Nach Resektion des Thymusrestes wurde das Perikard eröffnet und durch Legen von Hochnähten offen fixiert.

Inzwischen erhielten die Patienten Heparin (400 IE/Kg Körpergewicht) zur Antikoagulation um eine Thrombenbildung im System der Herz-Lungen-Maschine zu vermeiden.

Die arterielle Kanülierung wurde bei allen Patienten mit einer 21 Fr. Kanüle von Medtronic® in die Aorta ascendens und die venöse Kanülierung je nach Gruppe mit einer 32 Fr. Zweistufen-Kanüle (DLP 32/40 Fr. two stage venous cannula, Medtronic®) oder einer 29 Fr. Zweistufen-Kanüle (DLP 29/29 Fr. two stage venous cannula, Medtronic®) in den rechten Vorhof gelegt.

Simultan entnahm ein weiterer Operateur an den Beinen die für die Bypassoperation notwendige Vena saphena magna für die Venengrafts oder es wurde die Arteria

thoracica interna als direkter Bypass präpariert. Beim Herzklappenersatz entfiel dieser Schritt.

Die Herz-Lungen-Maschine übernahm die EKZ wenn die ACT (activated coagulation time) eine Zeit von mindestens 450 Sekunden erreichte. Um eine Bildung von Blutgerinnseln in der Herz-Lungen-Maschine zu vermeiden wurde während der extrakorporalen Zirkulation die ACT regelmäßig überwacht. Fiel die ACT ab, mußte zusätzlich Heparin intravenös gegeben werden.

Bei Erreichen eines ausreichenden arteriellen Pumpflusses (mindestens 2,5 Liter/Minute/m² Körperoberfläche) wurde die Aorta proximal der arteriellen Kanülierung abgeklemmt und eine Blutkardioplegie durchgeführt. Nach dem Einstellen des Herzstillstandes begann dann die geplante Operation.

Ca. 5 Minuten nach Beginn der extrakorporalen Zirkulation wurde den Patienten die zweite Blutprobe entnommen (Zeitpunkt T2). Während der extrakorporalen Zirkulation wurde die Blutprobe direkt aus der arteriellen Linie über einen Dreiwegehahn gewonnen.

Mit der extrakorporalen Zirkulation wurde eine Hypothermie, unter Kontrolle der rektalen und ösophagealen Temperatur, von ca. 30° C eingestellt. Zum Ende der Operation wurden die Patienten wieder langsam auf normale Körpertemperatur aufgewärmt. Nach einer ausreichenden Reperfusionzeit fing das Herz wieder an selbständig zu schlagen und die extrakorporale Zirkulation wurde bei Erreichen einer normalen Körpertemperatur schrittweise beendet. Nach beenden der EKZ wurden die Kanülen entfernt und die Wirkung des Heparins mit Protamin antagonisiert.

Mit der Entfernung der aortalen Kanüle war der Einsatz der Herz-Lungen-Maschine beendet. Das im venösen Reservoir verbliebene Blut wurde in Bluttransfusionsbeutel abgefüllt, um es bei Bedarf zurücktransfundieren zu können. Es wurden epimyokardiale Schrittmacher-Elektroden sowie 2 Thoraxdrainagen gelegt und die Wunde nach sorgfältiger Blutstillung wieder schrittweise verschlossen. Der Sternumverschluss wurde mit Drahtcerclagen erreicht. Mit der Hautnaht wurde die Operation beendet.

Die nächste Blutentnahme fand dann unmittelbar nach Eintreffen der Patienten in der kardiochirurgischen Intensivstation statt (Zeitpunkt T3). Alle Patienten wurden routinemäßig (je nach Zustand) für einige Zeit in der kardiochirurgischen

Intensivstation überwacht. Nach Extubation und Stabilisierung der Kreislaufverhältnisse wurden die Patienten dann wieder auf die herzchirurgische Normalstation verlegt.

Am 1. postoperativen Tag, ca. 24 Stunden nach Eintreffen in der Intensivstation, wurde allen Patienten die letzte Blutprobe entnommen (Zeitpunkt T4).

2.4.2. Klinische Daten

Als klinische Daten wurden gemessen und erfasst:

- Verteilung der Geschlechter in den verschiedenen Gruppen (Prozent),
- Verteilung der unterschiedlichen Operationen in den verschiedenen Gruppen (Prozent),
- Alter der Patienten (Jahre),
- Operationsdauer (Minuten),
- Bypasszeit (Minuten),
- Aortenabklemmzeit (Minuten),
- Reperfusionzeit (Minuten),
- LOS = hospital length of stay / Dauer des stationären Aufenthalts (Tage),
(Die Gesamtaufenthaltsdauer im Krankenhaus wurde ab dem Tag der Operation gezählt.)
- Zeit auf der Intensivstation (Stunden:Minuten),
(Gemessene Zeit zwischen postoperativer Aufnahme der Patienten auf die Intensivstation und Entlassung aus der Intensivstation.)
- Zeit bis zur Extubation (Stunden:Minuten),
(Gemessene Zeit zwischen Aufnahme der Patienten auf die Intensivstation bis zum Zeitpunkt der Extubation.)
- gesamter Blutverlust aus den Wunddrainagen (ml),
- Blutkonserven während der HLM (ml); gewonnen aus Cell-Saver Blut,
- Ek's während der Operation (ml),

- Ek´s auf der Intensivstation (ml),
- FFP´s während der Operation (ml),
- FFP´s auf der Intensivstation (ml),
- Tk´s auf der Intensivstation (ml).

2.4.3. Kardiotechnische Daten

Die kardiotechnischen Messwerte wurden zu vier verschiedenen Zeitpunkten erfaßt:

- Zeitpunkt Z1: unmittelbar nach Beginn der EKZ.
- Zeitpunkt Z2: während der hypothermen Phase der EKZ.
- Zeitpunkt Z3: während der Aufwärmphase der EKZ.
- Zeitpunkt Z4: unmittelbar vor Beendigung der EKZ.

Als kardiotechnische Daten wurden gemessen und erfaßt:

- Arterieller Flow (L/min) zu 4 verschiedenen Zeitpunkten während der EKZ,
- Zentralvenöser Druck, ZVD (mmHg) zu 4 verschiedenen Zeitpunkten während der EKZ, gemessen an einem zentralen Venenkatheter in der Vena jugularis interna,
- BSA/Körperoberfläche (body surface area) des Patienten (m²)

Die Körperoberfläche wurde mit der „Mosteller-Formel“ berechnet:

Körperoberfläche (m²) = Wurzel aus: Körpergröße (cm) x Körpergewicht (Kg) x 0,1672 (LAUTERBACH G. 2002),

- Errechneter arterieller Flow (maschineller Fluss) in (L/min)

Der maschinelle Fluss wurde errechnet durch die Formel:

Körperoberfläche x 2,4 (LAUTERBACH G. 2002),

- Maximaler, während der EKZ gemessener arterieller Flow (L/min),
- Primingvolumen (ml), (Komponenten des Primings: VE, HAES, NaHCO³, Trasyolol, Mannit 20 %, NaCl 0,9 %, Heparin),

- Druck im venösen Reservoir (mmHg) bei der Vakuum-assistierten venösen Drainage,
- Geschwindigkeit der venösen Biopumpe (Umdrehungen/min),
- Vacuum Controller Vacuum Setting (mmHg); Kontrolle des negativen Drucks im venösen System bei der Vakuum-assistierten venösen Drainage.

2.4.4. Laborchemische Daten

Die laborchemischen Werte wurden vom Institut für klinische Chemie im Klinikum Großhadern, München, Deutschland, untersucht und ausgewertet.

Die präoperativen und postoperativen Blutproben wurden über eine Venenpunktion entnommen. Bei der Entnahme achteten wir auf eine möglichst kurze venöse Stauung, um Hämolyse zu vermeiden. Während der extrakorporalen Zirkulation wurde die Blutprobe direkt aus der arteriellen Linie über einen Dreiwegehahn gewonnen. Zuvor spülten wir die arterielle Linie mit 10 ml Blut um Rückstände in der Linie zu vermeiden. Dieses Blut wurde in die HLM zurückgegeben. Alle Blutproben wurden unverzüglich zur laborchemischen Untersuchung weitergeleitet.

Alle laborchemischen Werte wurden zu vier verschiedenen Zeitpunkten gemessen:

- Zeitpunkt T1: einen Tag vor der Operation.
- Zeitpunkt T2: ca. 5 Minuten nach Beginn der extrakorporalen Zirkulation.
- Zeitpunkt T3: unmittelbar nach Eintreffen der Patienten auf der kardiochirurgischen Intensivstation.
- Zeitpunkt T4: am 1. postoperativen Tag, ca. 24 Stunden nach Eintreffen auf der Intensivstation.

Als laborchemische Daten wurden gemessen und erfasst:

- A-2-Haptoglobin i.S. (g/l); Referenzbereich: 0,30 – 2,00 g/l,
- HBDH = α -Hydroxybutyratdehydrogenase oder auch LDH (Lactatdehydrogenase)-Isoenzym 1 (U/l); Referenzbereich: 65 – 135 U/l,

- Bilirubin gesamt (mg/dl); Referenzbereich: < 1,0 mg/dl,
- indirektes Bilirubin (mg/dl); Referenzbereich: < 0,7 mg/dl,
- LDH = Lactatdehydrogenase (U/l); Referenzbereich: 80 – 240 U/l,
- GOT = Glutamat-Oxalacetat-Transaminase (U/l); Referenzbereich: 5 – 15 U/l
(GOT wird heute auch ASAT = Aspartat-Aminotransferase genannt),
- Erythrozyten (T/l); Referenzbereich: 4,20 – 5,10 T/l,
- Hämoglobin (g/dl); Referenzbereich: 12,0 – 16,0 g/dl,
- Hämatokrit ; Referenzbereich: 36,0 – 46,0,
- Thrombozyten (G/l); Referenzbereich: 150 – 440 G/l,
- Quick = Thromboplastinzeit (%); Referenzbereich: 70 – 100 %,
- PTT = partielle Thromboplastinzeit (sek.); Referenzbereich: 26 – 41 Sekunden,
- MCV = mean corpuscular volume (fl); Referenzbereich: 78,0 – 98,0 fl,
- MCH = mean corpuscular hemoglobin (pg); Referenzbereich: 26,0 – 32,0 pg,
- MCHC = mean corpuscular hemoglobin concentration (g/dl); Referenzbereich:
32,0 – 36,0 g/dl,
- Gesamteiweiß (g/dl); Referenzbereich: 6,0 – 8,0 g/dl,
- Urin-Stix (Erys/mcl); gemessen zum Zeitpunkt T3,
- LDH / GOT
Referenzbereich: Ein Quotient LDH/GOT > 12 (Enzymbestimmung bei 25°C)
spricht für Hämolyse (THOMAS L. 1998),
- HBDH-Anteil (%)
HBDH = α -Hydroxybutyratdehydrogenase oder auch LDH
(Lactatdehydrogenase)-Isoenzym 1;
Referenzbereich: Eine Aktivität der HBDH > 60 % der LDH spricht für eine
Hämolyse (DORMANN A. et al. 1997),
- ACT (activated coagulation time) in Sekunden.

2.5. Statistik

Die statistische Auswertung führten wir mit einem herkömmlichen Personal Computer durch. Als Rechenprogramm benutzten wir das SPSS-Programm (statistical package for social sciences).

Vor Durchführung der statistischen Tests wurden für die Messwerte zuerst Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet. Anschließend erfolgte mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest eine Überprüfung der Daten auf Normalverteilung. Bei einer Normalverteilung kam dann für die quantifizierten Daten der F-Test (univariate Varianzanalyse) zur Berechnung der kausalen Unterschiede zwischen den verschiedenen Gruppen zum Einsatz. Lag keine Normalverteilung vor, so wendeten wir den U-Test von Mann und Whitney zur Signifikanztestung an.

Die klassifizierten Daten wurden mit einer Kreuztabelle dargestellt und anschließend mit Hilfe des exakten Chi-Quadrat-Test nach Metha und Pathel berechnet.

Ein $p < 0,05$ wurde jeweils als statistisch signifikant angesehen.

3. ERGEBNISSE

Die insgesamt 92 untersuchten Patienten verteilten sich auf 31 Patienten in der Gruppe 1 (Schwerkraft-assistierte venöse Drainage), 28 Patienten in der Gruppe 2 (Biopumpen-assistierte venöse Drainage) und 33 Patienten in der Gruppe 3 (Vakuum-assistierte venöse Drainage).

3.1. Klinische Parameter

Beobachtete Komplikationen:

Bei den untersuchten Patienten traten in keiner der drei Gruppen nennenswerte Komplikationen auf. Alle Patienten haben den Eingriff überlebt und konnten später in gutem Zustand aus der Klinik entlassen werden.

Verteilung der verschiedenen Operationen (Prozent):

Die Verteilung der verschiedenen Operationen in den drei Gruppen war relativ konstant. In der Gruppe 1 fanden sich 23 ACVB`s und 8 klappenchirurgische Eingriffe, in der 2. Gruppe 22 ACVB`s und 6 klappenchirurgische Eingriffe und in der 3. Gruppe 23 ACVB`s und 10 klappenchirurgische Eingriffe (siehe auch Tabelle 1).

Verteilung der Geschlechter (Prozent):

Die Verteilung der Geschlechter in den jeweiligen Gruppen war mit 5 Frauen und 26 Männern in der Gruppe 1, mit 8 Frauen und 20 Männern in der Gruppe 2 und mit 8 Frauen und 25 Männern in der Gruppe 3 relativ konstant. Lediglich in Gruppe 1 waren etwas mehr männliche Probanden zu finden als in den anderen beiden Gruppen (siehe auch Tabelle 2).

Tabelle 1:**Anzahl und Verteilung der verschiedenen Operationen in den Gruppen**

| | Gruppe 1 | Gruppe 2 | Gruppe 3 |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| ACVB | | | |
| Anzahl (n) | n = 23 | n = 22 | n = 23 |
| Prozent (%) | 74,2 % | 78,6 % | 69,7 % |
| Klappen | | | |
| Anzahl (n) | n = 8 | n = 6 | n = 10 |
| Prozent (%) | 25,8 % | 21,4 % | 30,3 % |
| gesamt | | | |
| Anzahl (n) | n = 31 | n = 28 | n = 33 |
| Prozent (%) | 100 % | 100 % | 100 % |

| | |
|----------|--|
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| ACVB | aortokoronarer Venenbypass |
| Klappen | Klappenchirurgische Eingriffe (z.B. Ersatz der Aortenklappe) |

Tabelle 2:**Verteilung des Geschlechtes in den Gruppen**

| | Gruppe 1 | Gruppe 2 | Gruppe 3 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| weiblich | | | |
| Anzahl (n) | n = 5 | n = 8 | n = 8 |
| Prozent (%) | 16,1 % | 28,6 % | 24,2 % |
| männlich | | | |
| Anzahl (n) | n = 26 | n = 20 | n = 25 |
| Prozent (%) | 83,9 % | 71,4 % | 75,8 % |
| gesamt | | | |
| Anzahl (n) | n = 31 | n = 28 | n = 33 |
| Prozent (%) | 100 % | 100 % | 100 % |

| | |
|----------|---|
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |

Alter der Patienten (Jahre):

Das mittlere Alter der untersuchten Patienten lag in Gruppe 1 bei 62 ± 13 Jahren, in der Gruppe 2 bei 64 ± 12 Jahren und in der Gruppe 3 bei 62 ± 12 Jahren. Bezüglich des Alters gab es somit keinen signifikanten Unterschied zwischen den drei Gruppen (siehe auch Tabelle 3).

Operationsdauer (Minuten):

Die mittlere Operationsdauer lag in Gruppe 1 bei 249 ± 55 Minuten, in Gruppe 2 bei 271 ± 51 Minuten und in Gruppe 3 bei 264 ± 69 Minuten (siehe auch Tabelle 3).

Bypasszeit (Minuten):

Die Bypasszeiten lagen bei 116 ± 36 Minuten in Gruppe 1, 120 ± 35 Minuten in Gruppe 2 und 139 ± 50 Minuten in Gruppe 3. Somit waren die Bypasszeiten in Gruppe 3 tendenziell etwas länger als in Gruppe 1 und 2, allerdings ohne signifikanten Unterschied ($p = 0,086$) (siehe auch Tabelle 3).

Aortenabklemmzeit (Minuten):

Die mittlere Aortenabklemmzeit stellte sich in Gruppe 1 mit 74 ± 26 Minuten, in Gruppe 2 mit 72 ± 22 Minuten und in Gruppe 3 mit 85 ± 35 Minuten dar. In Gruppe 3 ist die mittlere Aortenabklemmzeit im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen leicht verlängert, ohne signifikanten Unterschied (siehe auch Tabelle 3).

Reperfusionzeit (Minuten):

Die mittlere Reperfusionzeit in Gruppe 1 lag bei 34 ± 16 Minuten, in Gruppe 2 bei 38 ± 17 Minuten und in Gruppe 3 bei 40 ± 20 Minuten (siehe auch Tabelle 3).

LOS/ Dauer des stationären Aufenthalts (Tage):

Für die mittlere Dauer des stationären Aufenthaltes (LOS = hospital length of stay) wurde in der 1. Gruppe 15 ± 6 Tage, in der 2. Gruppe 19 ± 8 Tage und in der 3. Gruppe 17 ± 9 Tage gemessen (siehe auch Tabelle 3).

Zeit auf der Intensivstation (Stunden:Minuten):

In der Gruppe 1 lagen die Patienten im Durchschnitt $31:54 \pm 19:05$ Stunden auf der Intensivstation, in der Gruppe 2 waren es $41:11 \pm 25:57$ Stunden und in der Gruppe 3 dann $35:25 \pm 25:41$ Stunden (siehe auch Tabelle 3).

Zeit bis zur Extubation (Stunden:Minuten):

Im Durchschnitt sind in der Gruppe 1 bis zur Extubation der Patienten $09:25 \pm 04:47$ Stunden vergangen, in der 2. Gruppe $13:03 \pm 07:39$ Stunden und in der 3. Gruppe $12:00 \pm 05:33$ Stunden. In der Gruppe 1 wurden die Patienten im Durchschnitt etwas früher extubiert, allerdings ohne signifikanten Unterschied ($p=0,061$) (siehe auch Tabelle 3).

Tabelle 3:

Klinische Parameter

| | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe2 n = 28 | Gruppe3 n = 33 | Unter- schied |
|--|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Alter der Pat. (Jahre) MW \pm SD | 62 \pm 13 | 64 \pm 12 | 62 \pm 12 | n.s. |
| Operationsdauer (min) MW \pm SD | 249 \pm 55 | 271 \pm 51 | 264 \pm 69 | n.s. |
| Bypasszeit (min) MW \pm SD | 116 \pm 36 | 120 \pm 35 | 139 \pm 50 | n.s. |
| Abklemmzeit (min) MW \pm SD | 74 \pm 26 | 72 \pm 22 | 85 \pm 35 | n.s. |
| Reperfusionzeit (min) MW \pm SD | 34 \pm 16 | 38 \pm 17 | 40 \pm 20 | n.s. |
| LOS (Tage) MW \pm SD | 15 \pm 6 | 19 \pm 8 | 17 \pm 9 | n.s. |
| Zeit auf Intensivst. (h:min) MW \pm SD | 31:54 \pm 19:05 | 41:11 \pm 25:57 | 35:25 \pm 25:41 | n.s. |
| Zeit bis Extubation (h:min) MW \pm SD | 09:25 \pm 04:47 | 13:03 \pm 07:39 | 12:00 \pm 05:33 | n.s. |

Anhang zu Tabelle 3:

| | |
|----------|---|
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| n.s. | nicht signifikant |
| p | Signifikanzniveau |
| LOS | hospital length of stay |

gesamter Blutverlust aus den Drainagen (ml):

In den Beuteln der Wunddrainagen konnten wir in Gruppe 1 im Durchschnitt 1047 ± 678 ml Blut messen, in Gruppe 2 waren es 938 ± 586 ml Blut und in der Gruppe 3 wurden 915 ± 678 ml Blut gemessen (siehe auch Tabelle 4).

Blut während der HLM (ml):

Während der extrakorporalen Zirkulation bekamen die Patienten in der Gruppe 1 im Durchschnitt 416 ± 385 ml Blut, in der Gruppe 2 im Durchschnitt 616 ± 439 ml Blut und in der Gruppe 2 bekamen sie im Durchschnitt 515 ± 553 ml Blut (siehe auch Tabelle 4).

Ek's während der Operation (ml):

In der Gruppe 1 wurden den Patienten 856 ± 687 ml Erythrozytenkonzentrat, in der 2. Gruppe 1000 ± 630 ml Erythrozytenkonzentrat und in der 3. Gruppe 755 ± 612 ml Erythrozytenkonzentrat während des herzchirurgischen Eingriffes verabreicht (siehe auch Tabelle 4).

Ek's auf der Intensivstation (ml):

Die auf der Intensivstation verabreichten Erythrozytenkonzentrate wurden ebenfalls gemessen und erfaßt. Es waren in der 1. Gruppe 656 ± 561 ml, in der 2. Gruppe 612 ± 741 ml und in der 3. Gruppe 524 ± 623 ml (siehe auch Tabelle 4).

FFP's während der Operation (ml):

FFP's wurden während des herzchirurgischen Eingriffes in der 1. Gruppe 270 ± 553 ml gegeben, in der 2. Gruppe 275 ± 391 ml und in der 3. Gruppe 153 ± 313 ml (siehe auch Tabelle 4).

FFP's auf der Intensivstation (ml):

Auf der Intensivstation sah die Verteilung der verabreichten FFP's folgendermaßen aus: In der 1. Gruppe wurden 345 ± 538 ml, in der 2. Gruppe 190 ± 401 ml und in der 3. Gruppe 294 ± 574 ml FFP's verabreicht (siehe auch Tabelle 4).

Tk's auf der Intensivstation (ml):

Während des Aufenthaltes in der Intensivstation mußte bei einigen Patienten auch Thrombozytenkonzentrat gegeben werden. In der Gruppe 1 waren es im Durchschnitt 350 ± 0 ml, in der 2. Gruppe 325 ± 35 ml und in der 3. Gruppe 250 ± 0 ml Thrombozytenkonzentrat (siehe auch Tabelle 4).

Tabelle 4:**Klinische Parameter**

| | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe2 n = 28 | Gruppe3 n = 33 | Unterschied |
|---|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|
| Blutverlust, Drainagen (ml) MW \pm SD | 1047 \pm 678 | 938 \pm 586 | 915 \pm 678 | n.s. |
| Blut während HLM (ml) MW \pm SD | 416 \pm 385 | 616 \pm 439 | 515 \pm 553 | n.s. |
| EK's während OP (ml) MW \pm SD | 856 \pm 687 | 1000 \pm 630 | 755 \pm 612 | n.s. |
| EK's während Intensiv (ml) MW \pm SD | 656 \pm 561 | 612 \pm 741 | 524 \pm 623 | n.s. |
| FFP's während OP (ml) MW \pm SD | 270 \pm 553 | 275 \pm 391 | 153 \pm 313 | n.s. |
| FFP's während Intensiv (ml) MW \pm SD | 345 \pm 538 | 190 \pm 401 | 294 \pm 574 | n.s. |
| TK's während Intensiv (ml) MW \pm SD | 350 \pm 0 | 325 \pm 35 | 250 \pm 0 | n.s. |

Anhang zu Tabelle 4:

| | |
|----------|---|
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| n.s. | nicht signifikant |
| HLM | Herz-Lungen-Maschine |
| OP | Operation |
| Intensiv | Intensivstation |
| Ek's | Erythrozytenkonzentrate |
| FFP's | fresh frozen plasma |
| TK's | Thrombozytenkonzentrate |

3.2. Kardiotechnische ParameterZVD (mmHg) zu 4 verschiedenen Zeitpunkten während der EKZ:

Der mittlere zentralvenöse Druck lag zum Zeitpunkt Z1 in der Gruppe 1 bei $3,29 \pm 5,01$ mmHg, in der Gruppe 2 bei $2,25 \pm 3,58$ mmHg und in der Gruppe 3 bei $3,09 \pm 3,46$ mmHg.

Der mittlere ZVD zum Zeitpunkt Z2 sank dann auf folgende Werte ab: $0,39 \pm 3,71$ mmHg in Gruppe 1, $1,22 \pm 3,92$ mmHg in Gruppe 2 und $2,58 \pm 4,79$ mmHg in Gruppe 3.

Zum Zeitpunkt Z3 lag der mittlere ZVD dann auf ähnlichem Niveau: $0,87 \pm 4,08$ mmHg in Gruppe 1, $0,71 \pm 2,31$ mmHg in Gruppe 2 und $2,33 \pm 2,98$ mmHg in Gruppe 3.

Zum Ende der EKZ (Zeitpunkt Z4) lag dann der mittlere ZVD in der Gruppe 1 bei $5,39 \pm 3,66$ mmHg, in der Gruppe 2 bei $6,32 \pm 3,77$ mmHg und in der Gruppe 3 bei $5,39 \pm 4,32$ mmHg.

Signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Gruppen gab es hier nicht (siehe auch Tabelle 5).

Arterieller Flow (L/min) zu 4 verschiedenen Zeitpunkten während der EKZ:

Der mittlere arterielle Flow zum Zeitpunkt Z1 lag in der Gruppe 1 bei $4,83 \pm 0,57$ L/min, in der Gruppe 2 bei $4,62 \pm 0,66$ L/min und in der Gruppe 3 bei $4,83 \pm 0,70$ L/min.

Zum Zeitpunkt Z2 lag der mittlere arterielle Flow dann bei $4,78 \pm 0,75$ L/min in Gruppe 1, bei $4,60 \pm 0,96$ L/min in Gruppe 2 und bei $4,88 \pm 0,72$ L/min in Gruppe 3.

Zum Zeitpunkt Z3 wurde der durchschnittliche arterielle Flow mit $5,14 \pm 0,80$ L/min für die Gruppe 1, mit $4,80 \pm 0,80$ L/min für die Gruppe 2 und mit $5,09 \pm 0,65$ L/min für die Gruppe 3 gemessen.

Signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Gruppen gab es hier ebenfalls nicht (siehe auch Tabelle 6).

Körperoberfläche des Patienten:

Die mittlere Körperoberfläche betrug in der 1. Gruppe $1,91 \pm 0,18$ m², in der 2. Gruppe $1,88 \pm 0,19$ m² und in der 3. Gruppe $1,95 \pm 0,20$ m². In Bezug auf die Körperoberfläche ergab sich somit kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen (siehe auch Tabelle 7).

Errechneter arterieller Flow:

Der errechnete mittlere arterielle Flow bot ebenfalls keinen signifikanten Unterschied. Er lag in Gruppe 1 bei $4,42 \pm 0,48$ L/min, in Gruppe 2 bei $4,30 \pm 0,46$ L/min und in Gruppe 3 bei $4,45 \pm 0,50$ L/min (siehe auch Tabelle 7).

Maximaler, während der EKZ gemessener arterieller Flow:

Ohne Signifikanz zwischen den drei Gruppen war auch der durchschnittliche maximale arterielle Flow mit $5,58 \pm 0,67$ L/min in Gruppe 1, mit $5,44 \pm 0,65$ L/min in Gruppe 2 und mit $5,55 \pm 0,73$ L/min in Gruppe 3 (siehe auch Tabelle 7).

Primingvolumen:

Das erfaßte Primingvolumen lag in der Gruppe 1 bei $1847,10 \pm 180,30$ ml, in der Gruppe 2 lag es bei $1852,86 \pm 252,98$ ml und in der Gruppe 3 bei $1856,36 \pm 214,90$ ml. Zwischen den drei Gruppen konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (siehe auch Tabelle 7).

Vacuum Controller Vacuum Setting:

In der Gruppe 3, mit Vakuum-assistierter venösen Drainage wurde das Vacuum Controller Vacuum Setting gemessen. Zum Zeitpunkt Z1 wurden hier im Durchschnitt $-38,18 \pm 8,96$ mmHg gemessen, zum Zeitpunkt Z2 $-42,48 \pm 8,18$ mmHg, zum Zeitpunkt Z3 dann $-39,97 \pm 10,88$ mmHg und zum Zeitpunkt Z4 wurden $-33,79 \pm 10,64$ mmHg gemessen (siehe auch Tabelle 8).

Druck im venösen Reservoir:

Der mittlere Druck im venösen Reservoir wurde nur in Gruppe 3, also in der Gruppe der Vakuum-assistierten venösen Drainage gemessen. Der durchschnittliche Druck lag hierbei zum Zeitpunkt Z1 bei $-28,97 \pm 9,59$ mmHg, zum Zeitpunkt Z2 bei $-32,85 \pm 8,97$ mmHg, zum Zeitpunkt Z3 dann bei $-31,03 \pm 9,03$ mmHg und zum Zeitpunkt Z4 bei $-25,58 \pm 10,28$ mmHg (siehe auch Tabelle 9).

Geschwindigkeit der venösen Zentrifugalpumpe (Biopumpe):

In der Gruppe 2, mit Biopumpen-assistierter venöser Drainage erfassten wir die Geschwindigkeit (in Umdrehungen/Minute) der Zentrifugal-, oder auch Biopumpe. Dabei lag diese zum Zeitpunkt Z1 bei $951,53 \pm 575,71$ U/min, zum Zeitpunkt Z2 bei $916,76 \pm 488,75$ U/min, zum Zeitpunkt Z3 dann bei $908,29 \pm 475,29$ U/min und zum Zeitpunkt Z4 bei $699,68 \pm 434,31$ U/min (siehe auch Tabelle 10).

Tabelle 5:

ZVD (zentralvenöser Druck)

| | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe 2 n = 28 | Gruppe 3 n = 33 | Unterschied |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|
| Zeitpunkt Z1 MW ± SD | 3,29 ± 5,01 | 2,25 ± 3,58 | 3,09 ± 3,46 | n.s. |
| Zeitpunkt Z2 MW ± SD | 0,39 ± 3,71 | 1,22 ± 3,92 | 2,58 ± 4,79 | n.s. |
| Zeitpunkt Z3 MW ± SD | 0,87 ± 4,08 | 0,71 ± 2,31 | 2,33 ± 2,98 | n.s. |
| Zeitpunkt Z4 MW ± SD | 5,39 ± 3,66 | 6,32 ± 3,77 | 5,39 ± 4,32 | n.s. |

| | |
|--------------|---|
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| n.s. | nicht signifikant |
| ZVD | zentralvenöser Druck |
| Zeitpunkt Z1 | unmittelbar nach Beginn der EKZ |
| Zeitpunkt Z2 | während der hypothermen Phase der EKZ |
| Zeitpunkt Z3 | während der Aufwärmphase der EKZ |
| Zeitpunkt Z4 | unmittelbar vor Beendigung der EKZ |

Tabelle 6:
arterieller Flow

| | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe 2 n = 28 | Gruppe 3 n = 33 | Unterschied |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|
| Zeitpunkt Z1 MW ± SD | 4,83 ± 0,57 | 4,62 ± 0,66 | 4,83 ± 0,70 | n.s. |
| Zeitpunkt Z2 MW ± SD | 4,78 ± 0,75 | 4,60 ± 0,96 | 4,88 ± 0,72 | n.s. |
| Zeitpunkt Z3 MW ± SD | 5,14 ± 0,80 | 4,80 ± 0,80 | 5,09 ± 0,65 | n.s. |
| Zeitpunkt Z4 MW ± SD | 4,64 ± 1,19 | 4,34 ± 1,13 | 4,47 ± 1,64 | n.s. |

Gruppe 1 Schwerkraft-assistierte venöse Drainage
 Gruppe 2 Biopumpen-assistierte venöse Drainage
 Gruppe 3 Vakuum-assistierte venöse Drainage
 n Anzahl der Probanden
 MW Mittelwert
 SD Standardabweichung
 n.s. nicht signifikant
 Zeitpunkt Z1 unmittelbar nach Beginn der EKZ
 Zeitpunkt Z2 während der hypothermen Phase der EKZ
 Zeitpunkt Z3 während der Aufwärmphase der EKZ
 Zeitpunkt Z4 unmittelbar vor Beendigung der EKZ

Tabelle 7:

Kardiotechnische Daten

| | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe 2 n = 28 | Gruppe 3 n = 33 | Unter- schied |
|--|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
|--|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|

| | | | | |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|------|
| BSA MW ± SD | 1,91 ± 0,18 | 1,88 ± 0,19 | 1,95 ± 0,20 | n.s. |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|------|

| | | | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|------|
| err. Flow MW ± SD | 4,42 ± 0,48 | 4,30 ± 0,46 | 4,45 ± 0,50 | n.s. |
|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|------|

| | | | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|------|
| max. Flow MW ± SD | 5,58 ± 0,67 | 5,44 ± 0,65 | 5,55 ± 0,73 | n.s. |
|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|------|

| | | | | |
|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------|
| Priming MW ± SD | 1847,10 ± 180,30 | 1852,86 ± 252,98 | 1856,36 ± 214,90 | n.s. |
|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------|

| | |
|-----------|---|
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| n.s. | nicht signifikant |
| BSA | Körperoberfläche (body surface area) |
| err. Flow | errechneter Flow |
| max. Flow | maximaler Flow |
| Priming | Primingvolumen |

Tabelle 8:

Vacuum Controller Vacuum Setting (mmHg)

| | Gruppe 3 |
|--------------------------------|-----------------|
| Zeitpunkt Z1 MW ± SD | -38,18 ± 8,96 |
| Zeitpunkt Z2 MW ± SD | -42,48 ± 8,18 |
| Zeitpunkt Z3 MW ± SD | -39,97 ± 10,88 |
| Zeitpunkt Z4 MW ± SD | -33,79 ± 10,64 |

| | |
|--------------|---------------------------------------|
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| Zeitpunkt Z1 | unmittelbar nach Beginn der EKZ |
| Zeitpunkt Z2 | während der hypothermen Phase der EKZ |
| Zeitpunkt Z3 | während der Aufwärmphase der EKZ |
| Zeitpunkt Z4 | unmittelbar vor Beendigung der EKZ |

Tabelle 9:

Druck im venösen Reservoir

| | Gruppe 3 |
|--------------------------------|-----------------|
| Zeitpunkt Z1 MW ± SD | -28,97 ± 9,59 |
| Zeitpunkt Z2 MW ± SD | -32,85 ± 8,97 |
| Zeitpunkt Z3 MW ± SD | -31,03 ± 9,03 |
| Zeitpunkt Z4 MW ± SD | -25,58 ± 10,28 |

| | |
|--------------|---------------------------------------|
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| Zeitpunkt Z1 | unmittelbar nach Beginn der EKZ |
| Zeitpunkt Z2 | während der hypothermen Phase der EKZ |
| Zeitpunkt Z3 | während der Aufwärmphase der EKZ |
| Zeitpunkt Z4 | unmittelbar vor Beendigung der EKZ |

Tabelle 10:

Geschwindigkeit der venösen Zentrifugalpumpe (Biopumpe)

| | Gruppe 2 |
|--------------------------------|-----------------|
| Zeitpunkt Z1 MW ± SD | 951,53 ± 575,71 |
| Zeitpunkt Z2 MW ± SD | 916,76 ± 488,75 |
| Zeitpunkt Z3 MW ± SD | 908,29 ± 475,29 |
| Zeitpunkt Z4 MW ± SD | 699,68 ± 434,31 |

| | |
|--------------|---------------------------------------|
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| Zeitpunkt Z1 | unmittelbar nach Beginn der EKZ |
| Zeitpunkt Z2 | während der hypothermen Phase der EKZ |
| Zeitpunkt Z3 | während der Aufwärmphase der EKZ |
| Zeitpunkt Z4 | unmittelbar vor Beendigung der EKZ |

3.3. Laborchemische Parameter

HBDH (U/l); Referenzbereich: 65 – 135 U/l:

Die mittlere HBDH war zum Zeitpunkt T1 zwar in allen drei Gruppen im Normbereich, zufällig aber in der Gruppe 3 am höchsten (Signifikanz $p = 0,001$). Zum Zeitpunkt T2 kam es dann hämodilutionsbedingt zu einem deutlichen Abfall der HBDH-Werte auf fast die Hälfte der Ausgangswerte. Auch hier war in Gruppe 3 der mittlere HBDH-Wert etwas höher als in den anderen beiden Gruppen (Signifikanz $p = 0,010$). Zum Zeitpunkt T3 waren die mittleren HBDH-Werte erwartungsgemäß über die Normwertgrenze angestiegen und in Gruppe 3 immer noch leicht höher als in den anderen beiden Gruppen (Signifikanz $p = 0,006$). Zum letzten Messpunkt dann (Zeitpunkt T4) waren die Werte weiter leicht angestiegen, aber ohne signifikanten Unterschied zwischen den 3 Gruppen (siehe auch Tabelle 11).

A-2-Haptoglobin i.S. (g/l); Referenzbereich: 0,30 – 2,00 g/l:

Die präoperativen Mittelwerte des Haptoglobins zum Zeitpunkt T1 waren in allen drei Gruppen ohne signifikanten Unterschied und lagen innerhalb des Referenzbereiches. Mit Beginn der EKZ (Zeitpunkt T2) fielen die mittleren Haptoglobinwerte dann hämodilutionsbedingt deutlich ab. Postoperativ, zum Zeitpunkt T3 fielen die Werte weiter ab und waren zum Zeitpunkt T4 dann noch etwas tiefer als zuvor. Zu allen Messpunkten gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei verschiedenen Gruppen. Tendenziell lagen die postoperativen Haptoglobinwerte in der Gruppe 1 etwas niedriger als in den anderen beiden Gruppen (siehe auch Tabelle 12 und Abbildung 6).

Erythrozyten (T/l); Referenzbereich: 4,20 – 5,10 T/l:

Die mittlere Anzahl der Erythrozyten lag präoperativ bei allen drei Gruppen im Normbereich. Durch die Vermischung mit dem Primingvolumen beim Beginn der EKZ kam es zum Zeitpunkt T2 zu einem Abfall der mittleren Erythrozytenzahl, die jedoch postoperativ zu den Zeitpunkten T3 und T4 wieder anstiegen. Dabei blieb die durchschnittliche Anzahl der Erythrozyten etwas unter dem Niveau der Ausgangswerte und damit unter dem des Referenzbereiches. Signifikante Unterschiede zwischen den drei Gruppen waren zu keinem Zeitpunkt statistisch nachweisbar (siehe auch Tabelle 13).

Tabelle 11:

HBDH (LDH-Isoenzym 1)

| | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe 2 n = 28 | Gruppe 3 n = 33 | Unterschied |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Zeitpunkt T1 MW ± SD | 91 ± 19 | 86 ± 20 | 111 ± 35 | signifikant (p=0,001) |
| Zeitpunkt T2 MW ± SD | 49 ± 13 | 55 ± 15 | 61 ± 19 | signifikant (p=0,010) |
| Zeitpunkt T3 MW ± SD | 151 ± 49 | 172 ± 57 | 200 ± 68 | signifikant (p=0,006) |
| Zeitpunkt T4 MW ± SD | 190 ± 75 | 221 ± 73 | 207 ± 46 | n.s. |

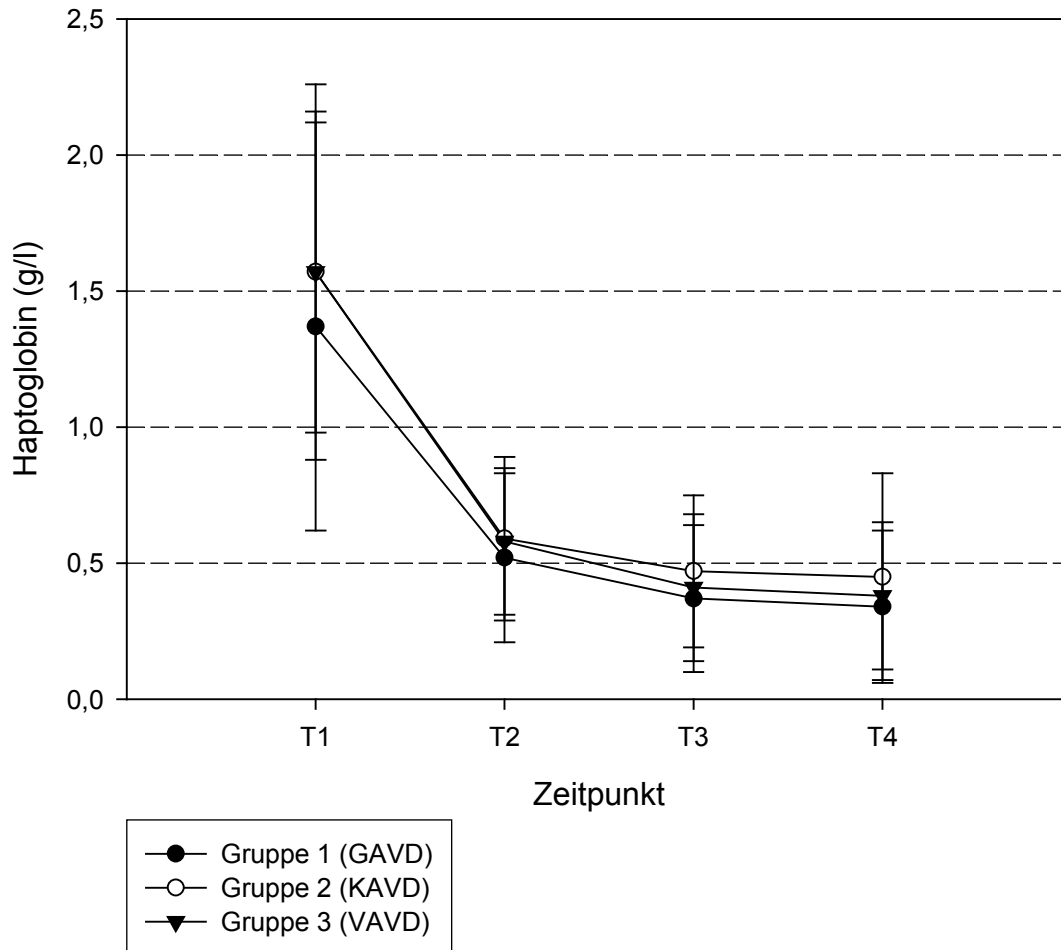
| | |
|--------------|--|
| HBDH | α-Hydroxybutyratdehydrogenase |
| Zeitpunkt T1 | Blutentnahme 1 Tag vor der Operation |
| Zeitpunkt T2 | Blutentnahme ca. 5 Minuten nach HLM Beginn |
| Zeitpunkt T3 | Blutentnahme bei Ankunft in der Intensivstation |
| Zeitpunkt T4 | Blutentnahme ca. 24h nach Ankunft in der Intensivstation |
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| n.s. | nicht signifikant |
| p | Signifikanzniveau |

Tabelle 12:

Haptoglobin

| | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe 2 n = 28 | Gruppe 3 n = 33 | Unterschied |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|
| Zeitpunkt T1 MW ± SD | 1,37 ± 0,75 | 1,57 ± 0,69 | 1,57 ± 0,59 | n.s. |
| Zeitpunkt T2 MW ± SD | 0,52 ± 0,31 | 0,59 ± 0,30 | 0,58 ± 0,27 | n.s. |
| Zeitpunkt T3 MW ± SD | 0,37 ± 0,27 | 0,47 ± 0,28 | 0,41 ± 0,27 | n.s. |
| Zeitpunkt T4 MW ± SD | 0,34 ± 0,28 | 0,45 ± 0,38 | 0,38 ± 0,27 | n.s. |

| | |
|--------------|--|
| Zeitpunkt T1 | Blutentnahme 1 Tag vor der Operation |
| Zeitpunkt T2 | Blutentnahme ca. 5 Minuten nach HLM Beginn |
| Zeitpunkt T3 | Blutentnahme bei Ankunft in der Intensivstation |
| Zeitpunkt T4 | Blutentnahme ca. 24h nach Ankunft in der Intensivstation |
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| n.s. | nicht signifikant |
| p | Signifikanzniveau |

Abbildung 6: Verlauf der Haptoglobin-Werte

| | |
|--------------|--|
| Zeitpunkt T1 | Blutentnahme 1 Tag vor der Operation |
| Zeitpunkt T2 | Blutentnahme ca. 5 Minuten nach HLM Beginn |
| Zeitpunkt T3 | Blutentnahme bei Ankunft in der Intensivstation |
| Zeitpunkt T4 | Blutentnahme ca. 24h nach Ankunft in der Intensivstation |
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |

Tabelle 13:
Erythrozyten

| | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe 2 n = 28 | Gruppe 3 n = 33 | Unterschied |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|
| Zeitpunkt T1 MW ± SD | 4,51 ± 0,52 | 4,44 ± 0,55 | 4,46 ± 0,55 | n.s. |
| Zeitpunkt T2 MW ± SD | 2,40 ± 0,34 | 2,27 ± 0,26 | 2,38 ± 0,29 | n.s. |
| Zeitpunkt T3 MW ± SD | 3,15 ± 0,41 | 3,13 ± 0,30 | 3,24 ± 0,30 | n.s. |
| Zeitpunkt T4 MW ± SD | 3,49 ± 0,43 | 3,43 ± 0,42 | 3,47 ± 0,39 | n.s. |

Zeitpunkt T1 Blutentnahme 1 Tag vor der Operation
 Zeitpunkt T2 Blutentnahme ca. 5 Minuten nach HLM Beginn
 Zeitpunkt T3 Blutentnahme bei Ankunft in der Intensivstation
 Zeitpunkt T4 Blutentnahme ca. 24h nach Ankunft in der Intensivstation
 Gruppe 1 Schwerkraft-assistierte venöse Drainage
 Gruppe 2 Biopumpen-assistierte venöse Drainage
 Gruppe 3 Vakuum-assistierte venöse Drainage
 n Anzahl der Probanden
 MW Mittelwert
 SD Standardabweichung
 n.s. nicht signifikant
 p Signifikanzniveau

Hämoglobin (g/dl); Referenzbereich: 12,0 – 16,0 g/dl:

Durch den Verdünnungseffekt zum Beginn der EKZ (Zeitpunkt T2) fielen die mittleren präoperativen Werte (Zeitpunkt T1) des Hämoglobins auf ungefähr die Hälfte der Ausgangswerte. Postoperativ, zum Zeitpunkt T3 stiegen die mittleren Hämoglobinwerte in allen drei Gruppen wieder an und stabilisierten sich zum Zeitpunkt T4 auf Werte etwas unterhalb des Referenzbereiches. Zu keinem Zeitpunkt ließen sich hierbei statistische Unterschiede zwischen den drei verschiedenen Gruppen errechnen (siehe auch Tabelle 14).

Hämatokrit ; Referenzbereich: 36,0 – 46,0:

Die zum Zeitpunkt T1 gemessenen mittleren Ausgangswerte des Hämatokrits lagen in allen drei untersuchten Gruppen im Normbereich. Hämodilutionsbedingt sanken die Werte bei Beginn der EKZ (Zeitpunkt T2) dann deutlich auf fast die Hälfte der Ausgangswerte ab. Zu den postoperativen Messpunkten T3 und T4 stiegen die mittleren Hämatokritwerte in allen drei Gruppen wieder deutlich an, blieben jedoch unter den durchschnittlichen Ausgangswerten. Die statistische Auswertung der Hämatokritwerte erbrachte zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede zwischen den drei untersuchten Gruppen. Tendenziell lagen die mittleren postoperativen Hämatokritwerte (zum Zeitpunkt T4) in der Gruppe 1 etwas höher als in den anderen beiden Gruppen. (siehe auch Tabelle 15).

Thrombozyten (G/l); Referenzbereich: 150 – 440 G/l:

Die mittlere Anzahl der Thrombozyten lag in allen drei Gruppen zu Beginn, also zum Zeitpunkt T1, im Normbereich. Zum Zeitpunkt T2 kam es durch den Verdünnungseffekt mit dem Primingvolumen der Herz-Lungen-Maschine zu einem deutlichen Abfall der Werte. Nach der Operation konnten jedoch zum Zeitpunkt T3 und zum Zeitpunkt T4 wieder höhere durchschnittliche Thrombozytenzahlen, die aber dennoch außerhalb des Referenzbereiches lagen, nachgewiesen werden. Die Messwerte der verschiedenen Gruppen zeigten keinen signifikanten Unterschied (siehe auch Tabelle 16).

Tabelle 14:
Hämoglobin

| | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe 2 n = 28 | Gruppe 3 n = 33 | Unterschied |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|
| Zeitpunkt T1 MW ± SD | 13,7 ± 1,4 | 13,5 ± 1,9 | 13,6 ± 1,6 | n.s. |
| Zeitpunkt T2 MW ± SD | 7,0 ± 0,9 | 6,7 ± 0,8 | 7,1 ± 0,9 | n.s. |
| Zeitpunkt T3 MW ± SD | 9,4 ± 1,0 | 9,4 ± 0,8 | 9,9 ± 0,9 | n.s. |
| Zeitpunkt T4 MW ± SD | 10,4 ± 1,3 | 10,3 ± 1,2 | 10,6 ± 1,1 | n.s. |

| | |
|--------------|--|
| Zeitpunkt T1 | Blutentnahme 1 Tag vor der Operation |
| Zeitpunkt T2 | Blutentnahme ca. 5 Minuten nach HLM Beginn |
| Zeitpunkt T3 | Blutentnahme bei Ankunft in der Intensivstation |
| Zeitpunkt T4 | Blutentnahme ca. 24h nach Ankunft in der Intensivstation |
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| n.s. | nicht signifikant |
| p | Signifikanzniveau |

Tabelle 15:
Hämatokrit

| | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe 2 n = 28 | Gruppe 3 n = 33 | Unterschied |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|
| Zeitpunkt T1 MW ± SD | 39,4 ± 3,8 | 39,6 ± 5,2 | 38,6 ± 4,5 | n.s. |
| Zeitpunkt T2 MW ± SD | 20,6 ± 2,7 | 20,1 ± 2,4 | 20,5 ± 2,5 | n.s. |
| Zeitpunkt T3 MW ± SD | 27,1 ± 2,8 | 27,4 ± 2,4 | 27,6 ± 2,4 | n.s. |
| Zeitpunkt T4 MW ± SD | 30,1 ± 3,6 | 30,1 ± 3,4 | 36,6 ± 38,6 | n.s. |

| | |
|--------------|--|
| Zeitpunkt T1 | Blutentnahme 1 Tag vor der Operation |
| Zeitpunkt T2 | Blutentnahme ca. 5 Minuten nach HLM Beginn |
| Zeitpunkt T3 | Blutentnahme bei Ankunft in der Intensivstation |
| Zeitpunkt T4 | Blutentnahme ca. 24h nach Ankunft in der Intensivstation |
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| n.s. | nicht signifikant |
| p | Signifikanzniveau |

Tabelle 16:

Thrombozyten

| | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe 2 n = 28 | Gruppe 3 n = 33 | Unterschied |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|
| Zeitpunkt T1 MW ± SD | 198 ± 55 | 208 ± 44 | 217 ± 61 | n.s. |
| Zeitpunkt T2 MW ± SD | 94 ± 46 | 98 ± 29 | 91 ± 32 | n.s. |
| Zeitpunkt T3 MW ± SD | 101 ± 54 | 90 ± 32 | 101 ± 36 | n.s. |
| Zeitpunkt T4 MW ± SD | 120 ± 54 | 116 ± 39 | 115 ± 41 | n.s. |

| | |
|--------------|--|
| Zeitpunkt T1 | Blutentnahme 1 Tag vor der Operation |
| Zeitpunkt T2 | Blutentnahme ca. 5 Minuten nach HLM Beginn |
| Zeitpunkt T3 | Blutentnahme bei Ankunft in der Intensivstation |
| Zeitpunkt T4 | Blutentnahme ca. 24h nach Ankunft in der Intensivstation |
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| n.s. | nicht signifikant |
| p | Signifikanzniveau |

Quick / Thromboplastinzeit (%) Referenzbereich: 70 – 100 %:

Einen Tag vor der Operation, zum Zeitpunkt T1, lagen die mittleren Quick-Werte in allen drei Gruppen im Normbereich. Beim Anfahren der Herz-Lungen-Maschine (Zeitpunkt T2) sanken die mittleren Thromboplastinzeiten hämodilutionsbedingt deutlich unter die Ausgangswerte. Zu diesen Zeitpunkten lagen keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Gruppen vor. Bei Ankunft auf der Intensivstation (Zeitpunkt T3) stiegen die Thromboplastinzeiten wieder an. Zu diesem Zeitpunkt errechneten wir einen signifikanten Unterschied zwischen den drei Gruppen, wobei in Gruppe 1 die niedrigsten mittleren Quick-Werte verzeichnet wurden (Signifikanz $p = 0,001$). Die durchschnittlichen Quick-Werte stiegen dann zum Zeitpunkt T4 weiter an und zeigten auch hier einen signifikanten Unterschied mit den niedrigsten Werten in der Gruppe 1 und den höchsten Werten in der Gruppe 3 (Signifikanz $p = 0,005$). (siehe auch Tabelle 17).

PTT / partielle Thromboplastinzeit (sek.) Referenzbereich: 26 – 41 Sekunden:

Mit mittleren partiellen Thromboplastinzeiten im Normbereich begann zum Zeitpunkt T1, ohne signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen, die Messreihe der mittleren PTT-Werte. Zum Zeitpunkt T2 stiegen die mittleren PTT-Werte, durch den Verdünnungseffekt, in allen drei Gruppen auf über 180 Sekunden an. Der 3. Messpunkt (Zeitpunkt T3) erbrachte dann einen signifikanten Unterschied zwischen den drei Gruppen, wobei die mittleren PTT-Werte in der Gruppe der Vakuum-assistierten venösen Drainage etwas höher lagen als in den übrigen Gruppen (Signifikanz $p = 0,043$). Zum letzten Messpunkt (Zeitpunkt T4) errechneten wir keinen signifikanten Unterschied mehr zwischen den Gruppen (siehe auch Tabelle 18).

Bilirubin gesamt (mg/dl); Referenzbereich: < 1,0 mg/dl:

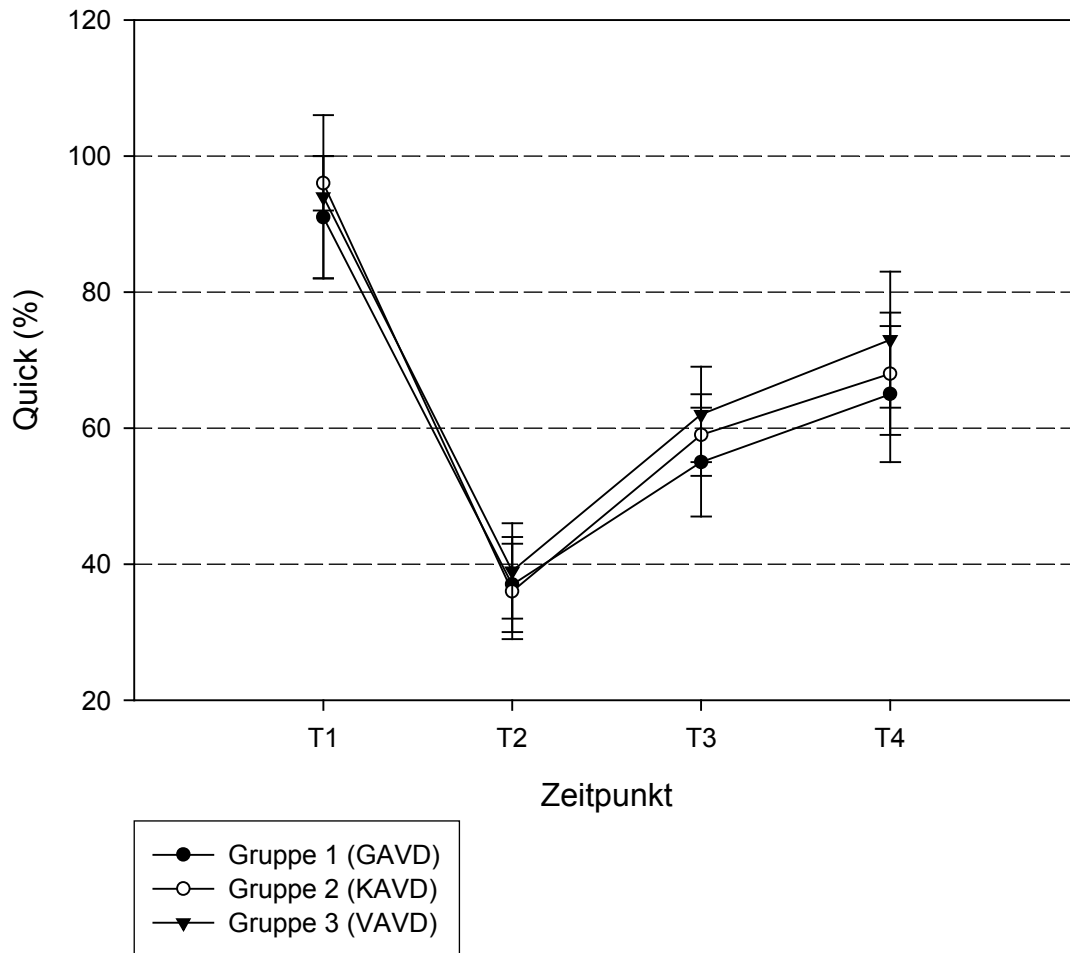
Die mittleren Werte des Bilirubin gesamt waren einen Tag vor dem herzchirurgischen Eingriff, zum Zeitpunkt T1, alle im Bereich der Norm. Nachdem die Mittelwerte des Bilirubin gesamt dann zum Zeitpunkt T2 in allen Gruppen deutlich absanken, stiegen sie zu den postoperativen Messpunkten (Zeitpunkt T3 und Zeitpunkt T4) wieder an, zum Teil über den Referenzbereich. Zwischen den drei verschiedenen Gruppen konnte hierbei zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Unterschied errechnet werden. (siehe auch Tabelle 19).

Tabelle 17:

Quick

| | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe 2 n = 28 | Gruppe 3 n = 33 | Unterschied |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Zeitpunkt T1 MW ± SD | 91 ± 9 | 96 ± 4 | 94 ± 12 | n.s. |
| Zeitpunkt T2 MW ± SD | 37 ± 7 | 36 ± 7 | 39 ± 7 | n.s. |
| Zeitpunkt T3 MW ± SD | 55 ± 8 | 59 ± 6 | 62 ± 7 | signifikant (p=0,001) |
| Zeitpunkt T4 MW ± SD | 65 ± 10 | 68 ± 9 | 73 ± 10 | signifikant (p=0,005) |

| | |
|--------------|--|
| Zeitpunkt T1 | Blutentnahme 1 Tag vor der Operation |
| Zeitpunkt T2 | Blutentnahme ca. 5 Minuten nach HLM Beginn |
| Zeitpunkt T3 | Blutentnahme bei Ankunft in der Intensivstation |
| Zeitpunkt T4 | Blutentnahme ca. 24h nach Ankunft in der Intensivstation |
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| n.s. | nicht signifikant |
| p | Signifikanzniveau |

Abbildung 7: Verlauf der Quickwerte

| | |
|--------------|--|
| Zeitpunkt T1 | Blutentnahme 1 Tag vor der Operation |
| Zeitpunkt T2 | Blutentnahme ca. 5 Minuten nach HLM Beginn |
| Zeitpunkt T3 | Blutentnahme bei Ankunft in der Intensivstation |
| Zeitpunkt T4 | Blutentnahme ca. 24h nach Ankunft in der Intensivstation |
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |

Tabelle 18:

PTT (partielle Thromboplastinzeit)

| | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe 2 n = 28 | Gruppe 3 n = 33 | Unterschied |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Zeitpunkt T1 MW ± SD | 36 ± 8 | 33 ± 5 | 38 ± 11 | n.s. |
| Zeitpunkt T2 MW ± SD | 180 ± 0 | 180 ± 0 | 180 ± 0 | n.s. |
| Zeitpunkt T3 MW ± SD | 44 ± 9 | 45 ± 7 | 49 ± 8 | signifikant (p=0,043) |
| Zeitpunkt T4 MW ± SD | 46 ± 21 | 44 ± 10 | 42 ± 7 | n.s. |

| | |
|--------------|--|
| Zeitpunkt T1 | Blutentnahme 1 Tag vor der Operation |
| Zeitpunkt T2 | Blutentnahme ca. 5 Minuten nach HLM Beginn |
| Zeitpunkt T3 | Blutentnahme bei Ankunft in der Intensivstation |
| Zeitpunkt T4 | Blutentnahme ca. 24h nach Ankunft in der Intensivstation |
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| n.s. | nicht signifikant |
| p | Signifikanzniveau |

Tabelle 19:

Bilirubin

| | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe 2 n = 28 | Gruppe 3 n = 33 | Unterschied |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|
| Zeitpunkt T1 MW ± SD | 0,81 ± 0,23 | 0,72 ± 0,29 | 0,79 ± 0,52 | n.s. |
| Zeitpunkt T2 MW ± SD | 0,39 ± 0,15 | 0,41 ± 0,11 | 0,49 ± 0,32 | n.s. |
| Zeitpunkt T3 MW ± SD | 0,90 ± 0,35 | 0,93 ± 0,32 | 1,10 ± 0,59 | n.s. |
| Zeitpunkt T4 MW ± SD | 1,15 ± 0,69 | 1,00 ± 0,48 | 1,16 ± 0,87 | n.s. |

| | |
|--------------|--|
| Zeitpunkt T1 | Blutentnahme 1 Tag vor der Operation |
| Zeitpunkt T2 | Blutentnahme ca. 5 Minuten nach HLM Beginn |
| Zeitpunkt T3 | Blutentnahme bei Ankunft in der Intensivstation |
| Zeitpunkt T4 | Blutentnahme ca. 24h nach Ankunft in der Intensivstation |
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| n.s. | nicht signifikant |
| p | Signifikanzniveau |

GOT (U/l); Referenzbereich: 5 – 15 U/l:

Die Mittelwerte des Enzyms GOT lagen in allen drei Gruppen am Vortag der Operation (Zeitpunkt T1) innerhalb des Referenzbereiches. Hämodilutionsbedingt sanken die Werte zu Beginn der EKZ (Zeitpunkt T2) deutlich ab. Nach der Operation, bei Ankunft der Patienten auf der Intensivstation (Zeitpunkt T3), stiegen die mittleren GOT-Werte wieder an. Zu den ersten 3 Zeitpunkten gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Zum Zeitpunkt T3 allerdings lagen in Gruppe 2 die Werte tendenziell etwas höher als in den anderen beiden Gruppen. Diese Tendenz verdeutlichte sich zum Zeitpunkt T4 mit einem signifikanten Unterschied zu Gunsten der Gruppe 2 mit Biopumpen-assistierter venöser Drainage (Signifikanz $p = 0,041$). (siehe auch Tabelle 20).

LDH (U/l); Referenzbereich: 80 – 240 U/l:

Präoperativ (Zeitpunkt T1) lagen die mittleren LDH-Werte mit zufällig etwas höheren Werten in der Gruppe 3 zwar in allen drei Gruppen im Normbereich, unterschieden sich jedoch signifikant (Signifikanz $p = 0,002$). Zum Zeitpunkt T2, zu Beginn der extrakorporalen Zirkulation sanken die mittleren LDH-Werte durch die Verdünnung mit dem Primingvolumen deutlich ab, diesmal aber ohne signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen. Nach dem Eingriff, zum Zeitpunkt T3 stiegen die Mittelwerte des Enzyms LDH wieder an, ohne errechneten signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen, allerdings mit tendenziell höheren Werten in der 2. Gruppe. Aus dieser Tendenz ergab sich dann zum Zeitpunkt T4 ein signifikanter Unterschied (Signifikanz $p = 0,024$). (siehe auch Tabelle 21).

Gesamteiweiß (g/dl); Referenzbereich: 6,0 – 8,0 g/dl:

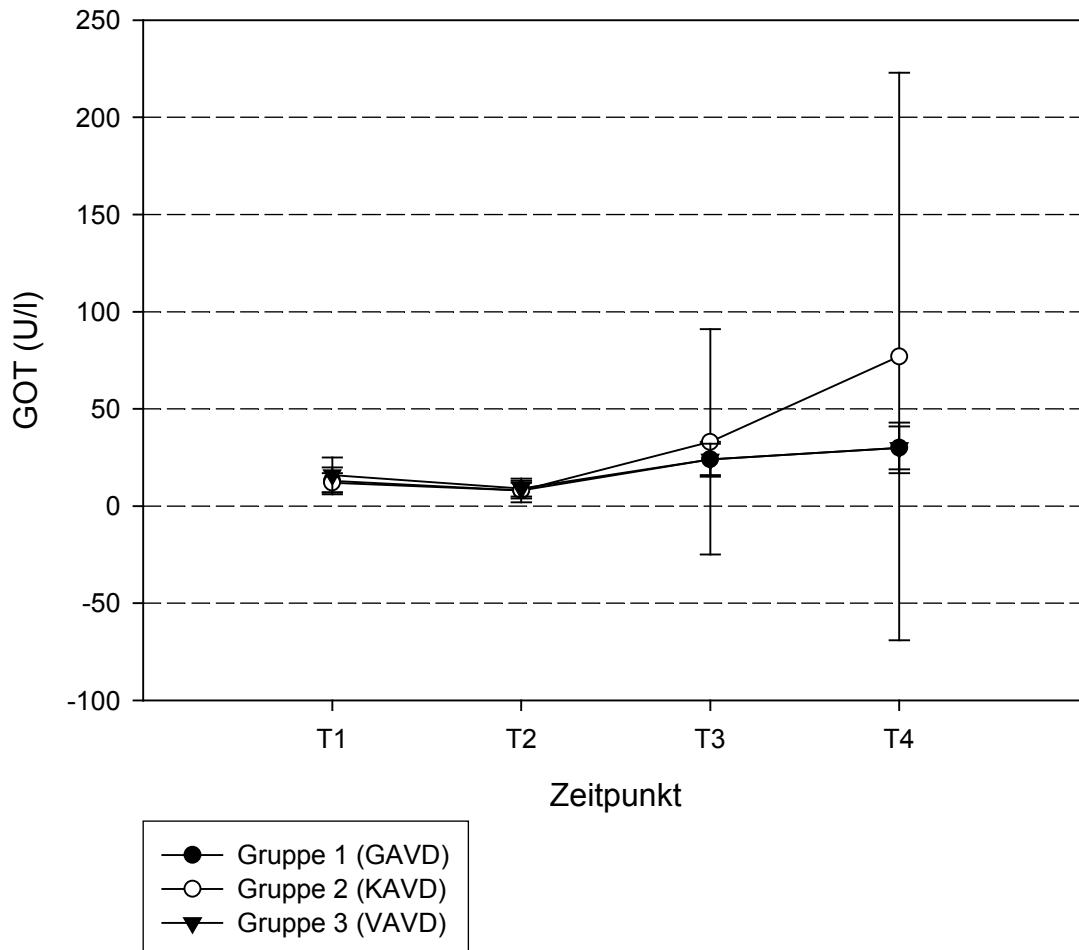
Die mittleren Gesamteiweiß-Werte lagen vor der Operation (Zeitpunkt T1) bei allen drei Gruppen im Normbereich. Mit Einsetzen der EKZ (Zeitpunkt T2) sanken diese auf die Hälfte der Ausgangswerte ab. Zu den postoperativen Zeitpunkten (Zeitpunkt T3 und Zeitpunkt T4) stiegen die Mittelwerte des Gesamteiweiß wieder leicht an. Bei allen vier Messpunkten bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen (siehe auch Tabelle 22).

Tabelle 20:

GOT (Glutamat-Oxalazetat-Transaminase)

| | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe 2 n = 28 | Gruppe 3 n = 33 | Unterschied |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Zeitpunkt T1 MW ± SD | 13 ± 7 | 12 ± 5 | 16 ± 9 | n.s. |
| Zeitpunkt T2 MW ± SD | 8 ± 4 | 8 ± 6 | 9 ± 4 | n.s. |
| Zeitpunkt T3 MW ± SD | 24 ± 9 | 33 ± 58 | 24 ± 8 | n.s. |
| Zeitpunkt T4 MW ± SD | 30 ± 11 | 77 ± 146 | 30 ± 13 | signifikant (p=0,041) |

| | |
|--------------|--|
| Zeitpunkt T1 | Blutentnahme 1 Tag vor der Operation |
| Zeitpunkt T2 | Blutentnahme ca. 5 Minuten nach HLM Beginn |
| Zeitpunkt T3 | Blutentnahme bei Ankunft in der Intensivstation |
| Zeitpunkt T4 | Blutentnahme ca. 24h nach Ankunft in der Intensivstation |
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| n.s. | nicht signifikant |
| p | Signifikanzniveau |

Abbildung 8: Verlauf der GOT-Werte

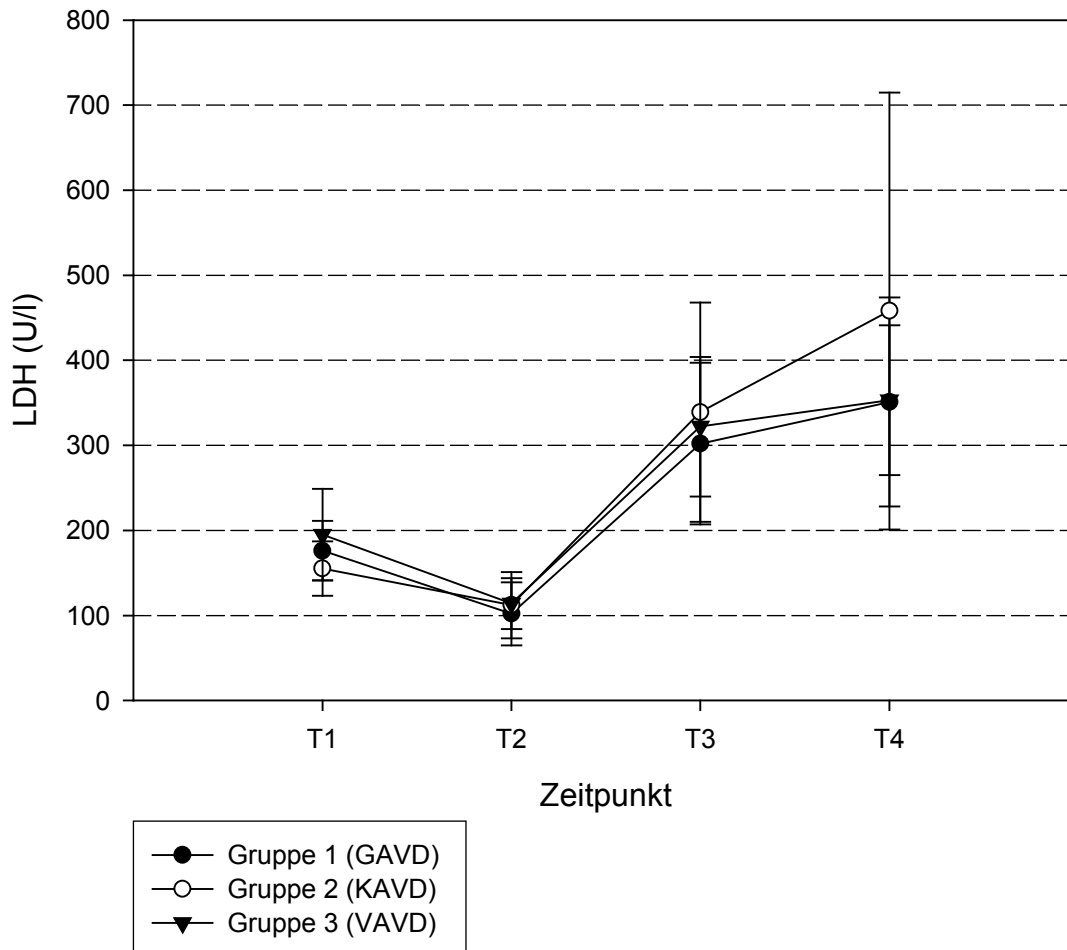
| | |
|--------------|--|
| Zeitpunkt T1 | Blutentnahme 1 Tag vor der Operation |
| Zeitpunkt T2 | Blutentnahme ca. 5 Minuten nach HLM Beginn |
| Zeitpunkt T3 | Blutentnahme bei Ankunft in der Intensivstation |
| Zeitpunkt T4 | Blutentnahme ca. 24h nach Ankunft in der Intensivstation |
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| GOT | Glutamat-Oxalazetat-Transaminase |

Tabelle 21:

LDH (Lactatdehydrogenase)

| | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe 2 n = 28 | Gruppe 3 n = 33 | Unterschied |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Zeitpunkt T1 MW ± SD | 176 ± 35 | 155 ± 32 | 195 ± 54 | signifikant (p=0,002) |
| Zeitpunkt T2 MW ± SD | 102 ± 37 | 112 ± 39 | 114 ± 30 | n.s. |
| Zeitpunkt T3 MW ± SD | 302 ± 95 | 339 ± 129 | 322 ± 82 | n.s. |
| Zeitpunkt T4 MW ± SD | 351 ± 123 | 458 ± 257 | 353 ± 88 | signifikant (p=0,024) |

| | |
|--------------|--|
| Zeitpunkt T1 | Blutentnahme 1 Tag vor der Operation |
| Zeitpunkt T2 | Blutentnahme ca. 5 Minuten nach HLM Beginn |
| Zeitpunkt T3 | Blutentnahme bei Ankunft in der Intensivstation |
| Zeitpunkt T4 | Blutentnahme ca. 24h nach Ankunft in der Intensivstation |
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| n.s. | nicht signifikant |
| p | Signifikanzniveau |

Abbildung 9: Verlauf der LDH-Werte

| | |
|--------------|--|
| Zeitpunkt T1 | Blutentnahme 1 Tag vor der Operation |
| Zeitpunkt T2 | Blutentnahme ca. 5 Minuten nach HLM Beginn |
| Zeitpunkt T3 | Blutentnahme bei Ankunft in der Intensivstation |
| Zeitpunkt T4 | Blutentnahme ca. 24h nach Ankunft in der Intensivstation |
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| LDH | Laktatdehydrogenase |

Tabelle 22:

Gesamteiweiß

| | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe 2 n = 28 | Gruppe 3 n = 33 | Unterschied |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|
| Zeitpunkt T1 MW ± SD | 6,7 ± 0,7 | 6,5 ± 0,7 | 6,7 ± 0,7 | n.s. |
| Zeitpunkt T2 MW ± SD | 3,1 ± 0,4 | 2,9 ± 0,5 | 3,1 ± 0,4 | n.s. |
| Zeitpunkt T3 MW ± SD | 3,7 ± 0,4 | 3,7 ± 0,5 | 3,7 ± 0,6 | n.s. |
| Zeitpunkt T4 MW ± SD | 4,7 ± 0,4 | 4,6 ± 0,5 | 4,5 ± 0,5 | n.s. |

| | |
|--------------|--|
| Zeitpunkt T1 | Blutentnahme 1 Tag vor der Operation |
| Zeitpunkt T2 | Blutentnahme ca. 5 Minuten nach HLM Beginn |
| Zeitpunkt T3 | Blutentnahme bei Ankunft in der Intensivstation |
| Zeitpunkt T4 | Blutentnahme ca. 24h nach Ankunft in der Intensivstation |
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| n.s. | nicht signifikant |
| p | Signifikanzniveau |

indirektes Bilirubin (mg/dl); Referenzbereich: < 0,7 mg/dl:

Die mittleren Werte des indirekten Bilirubins lagen einen Tag vor der Operation (Zeitpunkt T1) alle im Referenzbereich. Durch einen Verdünnungseffekt zu Beginn der EKZ (Zeitpunkt T2) verringerten sich die Mittelwerte des indirekten Bilirubins, um dann postoperativ (zum Zeitpunkt T3) wieder anzusteigen. Zum Zeitpunkt T4 lagen die Werte deutlich über denen der Ausgangswerte. In Gruppe 1 und 3 lagen sie dabei über dem Referenzbereich. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen konnten in Bezug auf die Ergebnisse des indirekten Bilirubins nicht festgestellt werden (siehe auch Tabelle 23).

LDH/GOT:

(Referenzbereich: Ein Quotient LDH/GOT > 12 (Enzymbestimmung bei 25°C) spricht für Hämolyse (THOMAS 1998)).

Der berechnete Quotient LDH/GOT ergab zu keinem der vier Zeitpunkte einen signifikanten, statistischen Unterschied zwischen den drei verschiedenen Gruppen. Interessant ist, dass bereits vor dem Eingriff die Werte außerhalb des Referenzbereichs lagen und erst zum letzten Messpunkt (Zeitpunkt T4) leicht absanken (siehe auch Tabelle 24).

Tabelle 23:

indirektes Bilirubin

| | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe 2 n = 28 | Gruppe 3 n = 33 | Unterschied |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|
| Zeitpunkt T1 MW ± SD | 0,54 ± 0,18 | 0,48 ± 0,27 | 0,56 ± 0,47 | n.s. |
| Zeitpunkt T2 MW ± SD | 0,24 ± 0,13 | 0,23 ± 0,12 | 0,34 ± 0,31 | n.s. |
| Zeitpunkt T3 MW ± SD | 0,61 ± 0,23 | 0,57 ± 0,27 | 0,74 ± 0,41 | n.s. |
| Zeitpunkt T4 MW ± SD | 0,79 ± 0,41 | 0,62 ± 0,30 | 0,77 ± 0,56 | n.s. |

| | |
|--------------|--|
| Zeitpunkt T1 | Blutentnahme 1 Tag vor der Operation |
| Zeitpunkt T2 | Blutentnahme ca. 5 Minuten nach HLM Beginn |
| Zeitpunkt T3 | Blutentnahme bei Ankunft in der Intensivstation |
| Zeitpunkt T4 | Blutentnahme ca. 24h nach Ankunft in der Intensivstation |
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| n.s. | nicht signifikant |
| p | Signifikanzniveau |

Tabelle 24:

LDH/GOT

| | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe 2 n = 28 | Gruppe 3 n = 33 | Unterschied |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|
| Zeitpunkt T1 MW ± SD | 15,51 ± 5,35 | 15,24 ± 5,66 | 15,17 ± 5,85 | n.s. |
| Zeitpunkt T2 MW ± SD | 14,09 ± 4,29 | 16,19 ± 5,09 | 14,82 ± 5,39 | n.s. |
| Zeitpunkt T3 MW ± SD | 14,32 ± 5,37 | 16,36 ± 5,85 | 14,39 ± 4,07 | n.s. |
| Zeitpunkt T4 MW ± SD | 12,97 ± 4,79 | 11,45 ± 5,20 | 12,70 ± 4,17 | n.s. |

| | |
|--------------|--|
| Zeitpunkt T1 | Blutentnahme 1 Tag vor der Operation |
| Zeitpunkt T2 | Blutentnahme ca. 5 Minuten nach HLM Beginn |
| Zeitpunkt T3 | Blutentnahme bei Ankunft in der Intensivstation |
| Zeitpunkt T4 | Blutentnahme ca. 24h nach Ankunft in der Intensivstation |
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| n.s. | nicht signifikant |
| p | Signifikanzniveau |

HBDH-Anteil (%):

(Referenzbereich: Eine Aktivität der HBDH > 60 % der LDH spricht für eine Hämolyse (DORMANN, WEGE 1997)).

Die Mittelwerte des errechneten HBDH-Anteils ergaben zu allen vier Zeitpunkten signifikante Unterschiede zwischen den drei Gruppen. Dabei lagen die Werte in der Gruppe der Vakuum-assistierten venösen Drainage (Gruppe 3) stets am höchsten, aber nie über dem theoretischen Referenzbereich (siehe auch Tabelle 25).

ACT (activated coagulation time) in Sekunden:

Die Mittelwerte der ACT, die nur zu zwei verschiedenen Zeitpunkten (kurz vor und kurz nach Beginn der EKZ) gemessen wurden, ergaben keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (siehe auch Tabelle 26).

Tabelle 25:

HBDH-Anteil

| | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe 2 n = 28 | Gruppe 3 n = 33 | Unterschied |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Zeitpunkt T1 MW ± SD | 52,11 ± 7,45 | 55,76 ± 5,44 | 57,37 ± 7,68 | signifikant (p=0,012) |
| Zeitpunkt T2 MW ± SD | 48,94 ± 5,44 | 50,05 ± 5,67 | 53,65 ± 5,22 | signifikant (p=0,002) |
| Zeitpunkt T3 MW ± SD | 50,11 ± 5,48 | 51,43 ± 7,73 | 60,92±13,61 | signifikant (p=0,001) |
| Zeitpunkt T4 MW ± SD | 53,89 ± 5,27 | 51,83±10,38 | 58,74 ± 8,43 | signifikant (p=0,004) |

| | |
|--------------|--|
| Zeitpunkt T1 | Blutentnahme 1 Tag vor der Operation |
| Zeitpunkt T2 | Blutentnahme ca. 5 Minuten nach HLM Beginn |
| Zeitpunkt T3 | Blutentnahme bei Ankunft in der Intensivstation |
| Zeitpunkt T4 | Blutentnahme ca. 24h nach Ankunft in der Intensivstation |
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| n.s. | nicht signifikant |
| p | Signifikanzniveau |

Tabelle 26:

ACT (activated coagulation time)

| | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe 2 n = 28 | Gruppe 3 n = 33 | Unterschied |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|
| ACT 1 MW ± SD | 119 ± 17 | 124 ± 17 | 118 ± 14 | n.s. |
| ACT 2 MW ± SD | 874 ± 443 | 843 ± 382 | 700 ± 253 | n.s. |

| | |
|----------|---|
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| n.s. | nicht signifikant |

MCV = mean corpuscular volume (fl); Referenzbereich: 78,0 – 98,0 fl:

Die Mittelwerte des MCV waren zu allen drei Zeitpunkten (Zum Zeitpunkt T2 ohne Messung) so gut wie identisch. Signifikante Unterschiede zwischen den drei Gruppen konnten nicht beobachtet werden (siehe auch Tabelle 27).

MCH = mean corpuscular hemoglobin (pg); Referenzbereich: 26,0 – 32,0 pg:

Die mittleren MCH-Werte lagen präoperativ im Normbereich und zeigten keinen signifikanten Unterschied zwischen den drei Gruppen. Postoperativ jedoch gab es signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten Gruppen mit etwas höheren Werten in der Gruppe der Vakuum-assistierten venösen Drainage (Gruppe 3) (Signifikanz $p = 0,001$). (siehe auch Tabelle 28).

MCHC = mean corpuscular hemoglobin concentration (g/dl); Referenzbereich: 32,0 – 36,0 g/dl:

Die Mittelwerte der MCHC unterschieden sich von Beginn an signifikant (Signifikanz $p = 0,001$). Dabei lagen die Werte in der Gruppe der Vakuum-assistierten venösen Drainage (Gruppe 3) von Anfang an etwas höher als in den anderen beiden

Gruppen. Veränderungen im Verlauf der Messreihe gab es jedoch nicht (siehe auch Tabelle 29).

Tabelle 27:

MCV (mean corpuscular volume)

| | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe 2 n = 28 | Gruppe 3 n = 33 | Unterschied |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|
| Zeitpunkt T1 MW ± SD | 90,0 ± 6,6 | 90,9 ± 4,5 | 91,7 ± 4,0 | n.s. |
| Zeitpunkt T2 MW ± SD | ohne | ohne | ohne | |
| Zeitpunkt T3 MW ± SD | 89,4 ± 4,7 | 90,7 ± 3,0 | 90,7 ± 2,7 | n.s. |
| Zeitpunkt T4 MW ± SD | 89,3 ± 4,8 | 90,7 ± 2,8 | 91,1 ± 2,5 | n.s. |

| | |
|--------------|--|
| Zeitpunkt T1 | Blutentnahme 1 Tag vor der Operation |
| Zeitpunkt T2 | Blutentnahme ca. 5 Minuten nach HLM Beginn |
| Zeitpunkt T3 | Blutentnahme bei Ankunft in der Intensivstation |
| Zeitpunkt T4 | Blutentnahme ca. 24h nach Ankunft in der Intensivstation |
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| n.s. | nicht signifikant |
| p | Signifikanzniveau |
| MCV | mean corpuscular volume |

Tabelle 28:

MCH (mean corpuscular hemoglobin)

| | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe 2 n = 28 | Gruppe 3 n = 33 | Unterschied |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Zeitpunkt T1 MW ± SD | 30,9 ± 2,6 | 31,1 ± 1,8 | 31,9 ± 1,4 | n.s. |
| Zeitpunkt T2 MW ± SD | ohne | ohne | ohne | |
| Zeitpunkt T3 MW ± SD | 30,9 ± 1,8 | 31,4 ± 1,2 | 32,2 ± 0,9 | signifikant (p=0,001) |
| Zeitpunkt T4 MW ± SD | 31,0 ± 1,9 | 31,4 ± 1,2 | 32,3 ± 0,9 | signifikant (p=0,001) |

| | |
|--------------|--|
| Zeitpunkt T1 | Blutentnahme 1 Tag vor der Operation |
| Zeitpunkt T2 | Blutentnahme ca. 5 Minuten nach HLM Beginn |
| Zeitpunkt T3 | Blutentnahme bei Ankunft in der Intensivstation |
| Zeitpunkt T4 | Blutentnahme ca. 24h nach Ankunft in der Intensivstation |
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| n.s. | nicht signifikant |
| p | Signifikanzniveau |
| MCH | mean corpuscular hemoglobin |

Tabelle 29:

MCHC (mean corpuscular hemoglobin concentration)

| | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe 2 n = 28 | Gruppe 3 n = 33 | Unterschied |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Zeitpunkt T1 MW ± SD | 34,2 ± 0,8 | 34,1 ± 0,4 | 34,8 ± 0,6 | signifikant (p=0,001) |
| Zeitpunkt T2 MW ± SD | ohne | ohne | ohne | |
| Zeitpunkt T3 MW ± SD | 34,6 ± 0,6 | 34,6 ± 0,4 | 35,5 ± 0,4 | signifikant (p=0,001) |
| Zeitpunkt T4 MW ± SD | 34,7 ± 0,6 | 34,6 ± 0,5 | 35,4 ± 0,5 | signifikant (p=0,001) |

| | |
|--------------|--|
| Zeitpunkt T1 | Blutentnahme 1 Tag vor der Operation |
| Zeitpunkt T2 | Blutentnahme ca. 5 Minuten nach HLM Beginn |
| Zeitpunkt T3 | Blutentnahme bei Ankunft in der Intensivstation |
| Zeitpunkt T4 | Blutentnahme ca. 24h nach Ankunft in der Intensivstation |
| Gruppe 1 | Schwerkraft-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 2 | Biopumpen-assistierte venöse Drainage |
| Gruppe 3 | Vakuum-assistierte venöse Drainage |
| n | Anzahl der Probanden |
| MW | Mittelwert |
| SD | Standardabweichung |
| n.s. | nicht signifikant |
| p | Signifikanzniveau |
| MCHC | mean corpuscular hemoglobin concentration |

Urin-Stix (Erys/mcl)

Im Bezug auf die Anzahl der gemessenen Erythrozyten im Urin der Patienten ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei verschiedenen Gruppen (siehe auch Tabelle 30).

Tabelle 30:**Urin-Stix-Erys; Kreuztabelle**

| Urin-Stix Anzahl-Erys | Gruppe 1 n = 31 | Gruppe 2 n = 28 | Gruppe 3 n = 33 | Unterschied |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|
| CA. 250 Ery/mcl | 14 | 14 | 17 | n.s. |
| CA. 5,0-10 Ery/mcl | 9 | 8 | 9 | n.s. |
| CA. 50-250 Ery/mcl | 8 | 6 | 7 | n.s. |

Gruppe 1 Schwerkraft-assistierte venöse Drainage
 Gruppe 2 Biopumpen-assistierte venöse Drainage
 Gruppe 3 Vakuum-assistierte venöse Drainage
 n Anzahl der Probanden
 n.s. nicht signifikant
 Erys Erythrozyten

4. DISKUSSION

4.1. Studiendesign und Zielsetzung

Die Zielsetzung der vorgelegten Studie war es, zwei verschiedene Systeme der aktiven venösen Drainage (Biopumpen-assistierte venöse Drainage und Vakuum-assistierte venöse Drainage) während extrakorporaler Zirkulation zu untersuchen und sie mit der herkömmlichen Schwerkraft-assistierten venösen Drainage zu vergleichen. In die Studie aufgenommen wurden nur Patienten, bei denen konventionelle Klappen- oder Bypass-Operationen durchgeführt wurden. Besonderes Augenmerk wurde auf die mögliche Traumatisierung der Blutzellen und deren Auswirkung auf laborchemische und klinische Parameter gelegt.

Wir gingen der Vermutung nach, dass der Einsatz einer zusätzlichen Pumpe im extrakorporalen Kreislauf und die Größe der verwendeten venösen Kanülen einen Einfluss auf die Traumatisierung der Blutzellen haben könnten. Außerdem interessierte uns, ob es Unterschiede zwischen den beiden Systemen der aktiven venösen Drainage mit ihren verschiedenen Pumpen gibt.

Zu Beginn unserer Studie Anfang 1999 lagen noch keine Untersuchungen zu der o. g. Problemstellung vor. Erst im Verlauf der letzten Jahre wurden weitere Studien mit ähnlichen Themenschwerpunkten veröffentlicht (BEVILACQUA et al. 2002; CIRRI et al. 2001; MUELLER et al. 2001; SHIN et al. 2000; MUENSTER et al. 1999; KALUZA et al. 1999).

4.2. Auswirkung der venösen Drainage auf die Traumatisierung der Blutzellen

In unserer Studie wurden zum einen eine Vakuumpumpe und zum anderen eine Zentrifugalpumpe in die venöse Linie eingebaut. Es galt herauszufinden, in wie weit die zusätzlichen Pumpen das Blut traumatisieren und ob es Unterschiede zwischen den verschiedenen Systemen der aktiven venösen Drainage gibt.

Es ist bekannt, dass das Blut während der extrakorporalen Zirkulation hohen mechanischen Kräften, wie Scherkräften und großen Turbulenzen, ausgesetzt wird

und außerdem große onkotische Druckschwankungen, ausgelöst durch die Hämodilution des Plasmas und die Hypothermie während des kardiochirurgischen Bypasses wirken (KAMENEVA et al. 1999). Aus anderen Studien ist auch bekannt, dass Zentrifugalpumpen weniger Hämolyse erzeugen als Rollerpumpen (HANSBRO et al. 1999; NISHINAKA et al. 1996). Auch der Einfluss verschiedener Zentrifugalpumpen auf die Hämolyse wurde bereits untersucht (KAWAHITO, NOSE 1997). Während in den oben genannten Untersuchungen die Zentrifugalpumpe als arterielle Pumpe verwendet wurde, gingen wir der Frage nach, welche Auswirkungen der Einsatz der Zentrifugalpumpe als zusätzliche venöse Unterstützung haben würde.

Zudem interessierte uns der Einfluss eines Vakuumsystems als zusätzliche venöse Pumpe. Bereits seit längerem ist bekannt, dass der Sog einer Vakuumpumpe das Blut weniger traumatisiert als der Sog einer Rollerpumpe, zumindest wenn man das Ansaugen von Luft und das Entstehen von Luftbläschen vermeidet. Vor allem der Oberflächenkontakt des Blutes mit Luft führt zu signifikanter Hämolyse, wie WRIGHT und SANDERSON (1979), sowie de JONG et al. (1980) in Studien mit Kardiotomiesaugern herausfanden. Neuere Untersuchungen über die Auswirkungen des negativen Drucks ergaben jedoch, dass ein Sog - zumindest in der Größenordnung bis zu -150 mmHg (GREGORETTI 1996) - keine erhebliche Zerstörung der Erythrozyten im Blutfluss bewirkt (CHAMBERS et al. 1999).

Nicht nur die zusätzlichen venösen Pumpen, sondern auch die Größe der Kanülen war in unserer Studie von Interesse. Wir wussten, dass der Durchmesser der venösen Kanüle im Vergleich zur Größe der kanülierten Vene ein bestimmtes Verhältnis haben muss, um einen guten Fluss zu gewährleisten (WENGER et al. 1988; HUMPHRIES, SISTINO al. 2002). Gerade bei der minimalinvasiven Herzchirurgie sind längere venöse Kanülen und Kanülen mit schmalerem Durchmesser verantwortlich für einen höheren Fließwiderstand und damit für eine schlechtere Schwerkraft-assistierte venöse Drainage (TEVAEARAI et al. 1999). Bei der Verwendung von kleineren venösen Kanülen ist es daher notwendig, eine zusätzliche Pumpe zur venösen Unterstützung zu installieren.

Einfluss auf den optimalen venösen Blutfluss und die Hämolyse hat aber auch der Ort der Kanülierung, wie TEVAEARAI et al. (1999) herausfanden. Optimal ist demnach die Kanülierung des rechten Vorhofs, wie in unserer Studie, gefährlich

dagegen ist die Kanülierung der Vena cava unter Verwendung aktiver venöser Drainage – sie kann zu einem Venenwand-Kollaps führen.

Um die Auswirkungen der verschiedenen aktiven venösen Drainagesysteme im Vergleich zur herkömmlichen Schwerkraft-assistierten venösen Drainage auf die Traumatisierung der Blutzellen untersuchen zu können, mussten eine Reihe von laborchemischen Werten gemessen und ausgewertet werden. Wir wählten Laborwerte aus, die uns möglichst gute Hinweise über die Zerstörung der Blutbestandteile geben konnten, wie Werte über die Anzahl der verschiedenen Blutzellen, Hämolysewerte und Gerinnungswerte.

Präoperativ wurden für alle laborchemischen Untersuchungsparameter Normalwerte gemessen. Unmittelbar nach Beginn der extrakorporalen Zirkulation sanken alle Laborwerte durch den Verdünnungseffekt des Primingvolumens der Herz-Lungen-Maschine deutlich ab. Deutlich dargestellt wurde dieser Hämodilutionseffekt durch das Absinken des Gesamteiweißes im Serum zum Zeitpunkt T2 (etwa 5 Minuten nach Beginn der HLM). Zu diesem Zeitpunkt war nur noch etwa die Hälfte des zuvor gemessenen Gesamteiweißes nachweisbar, so dass wir von einem Verdünnungseffekt von rund 50 Prozent ausgingen. Dieser Effekt war in allen drei Gruppen identisch zu beobachten. Um die Veränderung einzelner Parameter nicht zu überschätzen, haben wir unsere Ergebnisse absichtlich nicht gemäß dem Hämodilutionseffekt korrigiert. Wir beschreiben somit nur die tatsächlich vorhandenen Verläufe der einzelnen Parameter.

Bei folgenden Parametern konnten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden: Bei der Bestimmung des HBDH-Wertes wurden präoperativ die höchsten mittleren Werte in der Gruppe 3 (VAVD) und die niedrigsten mittleren HBDH-Werte in Gruppe 2 (KAVD) gemessen. Trotz dieses signifikanten Unterschiedes zu Beginn, der sich auch zu den Zeitpunkten T2 und T3 darstellte, konnten zum Zeitpunkt T4 (ca. 24 Stunden nach Ankunft auf der Intensivstation) keine signifikanten Unterschiede mehr zwischen den Gruppen festgestellt werden. Da die postoperativen mittleren HBDH-Werte in allen drei Gruppen deutlich über dem Referenzbereich lagen, könnte man von einem Traumatisierungsprozess ausgehen, der jedoch letztendlich keinen deutlichen Unterschied zwischen den verschiedenen venösen Drainagesystemen erkennen lässt.

Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ergaben sich auch beim HBDH-Anteil. Der HBDH-Anteil zeigte zum Zeitpunkt T1 signifikante Unterschiede. Dies war zu erwarten, da die HBDH und der HBDH-Anteil unmittelbar zusammenhängen. Der prozentuale Anteil des HBDH (LDH-Isoenzym 1) an der gesamten LDH fasst diese Ergebnisse zusammen und zeigt, dass die Werte in der Gruppe 3 (VAVD) schon zu Beginn höher lagen und bis zum Ende konstant höher blieben. Somit sind auch hier keine direkten Einflüsse der unterschiedlichen venösen Drainagesysteme erkennbar.

Zum Zeitpunkt T 4 gab es bei den mittleren GOT-Werten und den mittleren LDH-Werten einen signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen, mit deutlich höheren Werten in der Gruppe 2 (KAVD). Dies könnte auf einen ungünstigen Einfluss der Biopumpen-assistierten venösen Drainage auf die einzelnen Blutbestandteile hinweisen.

Die mittleren postoperativen Quick-Werte (Zeitpunkt T 3 und T 4) zeigten signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen mit leicht höheren Werten in der Gruppe 3 (VAVD), so dass man von einem durchaus günstigen Einfluss der Vakuum-assistierten venösen Drainage auf die Thromboplastinzeit ausgehen kann.

Bei den mittleren MCH- und MCHC-Werten gab es teilweise signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen. Die MCH-Werte lagen in der Gruppe 3 (VAVD) etwas höher als in den beiden anderen Gruppen. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass die Erythrozyten bei den beiden anderen Methoden einem höherem mechanischen Stress ausgesetzt sind. Die MCHC-Werte unterschieden sich bereits präoperativ signifikant und besitzen somit nur geringe Aussagekraft.

Bei allen anderen gemessenen laborchemischen Parametern (Haptoglobin, Bilirubin gesamt, indirektes Bilirubin, Erythrozyten, Hämoglobin, Hämatokrit, Thrombozyten, PTT, MCV, Urin-Stix und LDH/ GOT) zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen. Einflüsse der verschiedenen venösen Drainagesysteme lassen sich im Bezug auf diese Werte nicht erkennen.

Aus diesen laborchemischen Untersuchungen schließen wir, dass sich die beiden aktiven venösen Drainageverfahren im Vergleich zur Schwerkraft-assistierten venösen Drainage hinsichtlich einer Traumatisierung der Blutzellen nur wenig unterscheiden. Auch zwischen den beiden aktiven venösen Drainageverfahren (VAVD und KAVD) gibt es in diesem Punkt nur wenige messbare Unterschiede.

Lediglich die Ergebnisse der LDH und der GOT weisen daraufhin, dass die aktive venöse Drainage mit einer Zentrifugalpumpe (KAVD) das Blut etwas mehr traumatisieren könnte als die aktive venöse Drainage mit einer Vakuumpumpe (VAVD) und die Schwerkraft-assistierte venöse Drainage (GAVD).

Unsere Ergebnisse werden von den Resultaten ähnlicher Studien bestätigt. So konnten KALUZA et al. (1999) keine signifikanten Unterschiede bezüglich Thrombozyten, Bilirubin, Hämoglobin, Hämatokrit, MCV, MCH, MCHC und GOT zwischen GAVD und VAVD feststellen. Im Gegensatz zu unserer Studie, die nur relativ kleine venöse Kanülen (29 Fr.) bei der VAVD verwendete, kamen bei dieser Studie auch größere venöse Kanülen (32 Fr.) bei der VAVD zum Einsatz.

Ähnlich wie KALUZA et al. (1999) erhoben auch SHIN et al. (2000) einen Vergleich zwischen VAVD und GAVD. Die Autoren stellten ebenso wie wir keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Haptoglobinwerte fest. Zu beachten ist jedoch, dass die geringen Fallzahlen dieser Studie mit sechs Patienten pro Gruppe eine relevante Aussage relativ schwierig macht.

Zur Traumatisierung der Blutzellen durch aktive venöse Drainage liegen auch zwei experimentelle Studien vor. So beschreiben MUELLER et al. (2001) im Tierversuch mit 6 Kälbern, aufgeteilt in zwei Gruppen, den Vergleich zwischen VAVD und GAVD und konnten keine signifikanten Unterschiede bezüglich Thrombozyten, Hämatokrit, und LDH feststellen. MATHEWS und SISTINO (2001) verglichen in einer in-vitro Studie anhand speziell entwickelter Modelle VAVD, KAVD und GAVD hinsichtlich einer Traumatisierung des verwendeten Affenblutes. Auch hier gab es zwischen den einzelnen Gruppen keine signifikanten Unterschiede.

Einen weiteren Vergleich zwischen VAVD und GAVD führten BEVILACQUA et al. (2002) durch. Bei ähnlichen Fallzahlen (36 Patienten pro Gruppe) wie bei unseren Untersuchungen kommt er auch zu dem Ergebnis, dass bezüglich Hämatokrit, Hämoglobin und Erythrozyten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen bestehen. Allerdings fanden sich hier in der Gruppe der VAVD signifikant höhere Thrombozytenzahlen als in der Gruppe der GAVD. Dies konnten unsere Untersuchungen nicht bestätigen.

Als einzige Autoren beschreiben CIRRI et al. (2001) in einer klinischen Studie einen Vergleich zwischen VAVD und KAVD. Hinsichtlich der gemessenen Werte von

Hämatokrit, Hämoglobin, Thrombozyten, Haptoglobin, Bilirubin, LDH und GOT kam er zu dem Ergebnis, dass die VAVD eine größere Traumatisierung der Blutzellen bewirkt als die KAVD. Unsere Studie fand dagegen keinen Hinweis auf eine solche negative Auswirkung der VAVD.

In vielen der o.g. Studien wurde auch das freie Hämoglobin als Indikator für die Hämolyse gemessen. Wir verzichteten darauf, da dieser laborchemische Parameter extrem empfindlich auf Erschütterungen der Blutproben reagiert und dadurch unseres Erachtens größere Fehler nicht hätten ausgeschlossen werden können. Zudem befürchteten wir, dass in den gegebenen Erythrozytenkonzentraten unterschiedlich hohe Mengen an freiem Hämoglobin als empfindlichstem Hämolyseparameter enthalten waren und dies das Ergebnis hätte verzerren können.

4.3. Klinische Auswirkungen der verschiedenen venösen Drainagen

Die klinischen Daten wie Operations- und Bypasszeiten, Verteilung der Geschlechter, Verteilung der verschiedenen Operationen und das mittlere Alter der untersuchten Patienten zeigten keine signifikanten Unterschiede, so dass man von drei relativ homogenen und gut vergleichbaren Gruppen ausgehen konnte.

Die postoperativen gemessenen Zeiten, wie die Liegezeit in der Intensivstation, die Zeit bis zur Extubation und die gesamte Dauer des stationären Aufenthaltes ab dem Operationstag, zeigten ebenfalls keinen signifikanten Unterschied zwischen den drei verschiedenen Gruppen. Daraus lässt sich schließen, dass die beiden Systeme der aktiven venösen Drainage im Vergleich zur herkömmlichen Methode keine klinischen Auswirkungen im Bezug auf die Liegezeiten der Patienten hatten.

Auch weitere untersuchte klinische Daten, wie der postoperative Blutverlust aus den Drainagen und die verschiedenen Transfusionen während und nach dem herzchirurgischen Eingriff konnten uns keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen aufzeigen.

Diese Resultate und die Tatsache, dass es bei keinem der untersuchten Patienten zu ernsthaften Komplikationen kam, erlauben die Aussage, dass sowohl die beiden Systeme der aktiven venösen Drainage untereinander als auch im Vergleich zur

herkömmlichen Schwerkraft-assistierten venösen Drainage im Bezug auf die klinischen Auswirkungen durchaus gleichzusetzen sind.

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch andere Studien:

Bei BEVILACQUA et al. (2002) zeigten sich in Bezug auf klinische Parameter wie Bypasszeit, Aortenabklemmzeit, Bluttransfusionen und Blutverlust aus den Drainagen keine signifikanten Unterschiede. Bei dieser Studie traten keine besonderen Komplikationen auf. Allerdings wurde hier nur die Vakuum-assistierte venöse Drainage mit der Schwerkraft-assistierten venösen Drainage verglichen.

CIRRI et al. (2001) kamen zu dem Ergebnis, dass der Blutverlust bei der Vakuum-assistierten venösen Drainage generell höher lag als bei der Biopumpen-assistierten venösen Drainage. Der Vergleich zur Schwerkraft-assistierten venösen Drainage wurde hier nicht gezogen.

OJITO et al. (2001) untersuchten 400 Kinder, die sich einer operativen Korrektur eines angeborenen Herzfehlers unterzogen hatten, davon 200 Kinder mit Schwerkraft-assistierter venöser Drainage und 200 Kinder mit assistierter venöser Drainage (AVD). Die Studie ergab, dass sich hinsichtlich der klinischen Parameter wie Dauer des stationären Aufenthalts, Bypasszeit, Abklemmzeit und Blutverlust keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen ergaben.

4.4. Kardiotechnische Beobachtungen

Die meisten kardiotechnischen Parameter wie der mittlere zentralvenöse Druck (ZVD) und der mittlere arterielle Fluss während der extrakorporalen Zirkulation, sowie die Körperoberfläche der Patienten und das Primingvolumen ergaben keine signifikanten Unterschiede bei den verschiedenen Systemen der venösen Drainage. Dies unterstreicht erneut die Homogenität und Vergleichbarkeit der drei Gruppen.

Der Druck im venösen Reservoir und die Kontrolle des negativen Drucks im venösen System (Vacuum Controller Vacuum Setting) wurden nur in der Gruppe der Vakuum-assistierten venösen Drainage erhoben. Der von uns an die venöse Linie gelegte Sog war mit einem Minimum von -15 mmHg, einem Maximum von -60 mmHg und einem mittleren negativen Druck von 38,61 mmHg vergleichbar mit den Werten

anderer Studien (BEVILACQUA et al. 2002; CIRRI et al. 2001; SHIN et al. 2000; MURAKAMI et al. 1997).

Die Geschwindigkeit der venösen Zentrifugalpumpe (Biopumpe) wiederum wurde bei uns nur in der Gruppe der Biopumpen-assistierten venösen Drainage erfasst. Diese Daten, sowie die Druckwerte bei der Vakuum-assistierten venösen Drainage, dienten ausschließlich der Gewinnung von Erfahrungswerten, um besondere technische Gegebenheiten darzustellen.

Bei der Anwendung der aktiven venösen Drainage konnten wir trotz der verwendeten kleineren venösen Kanülen eine adäquate Perfusion der Patienten und eine gute Entleerung des Herzens beobachten. Die in anderen Untersuchungen diskutierte Ansaugung von Luft und damit der Gefahr von Mikroembolien, konnten wir in unserer Studie nicht als Komplikation feststellen (WILLCOX 2002; DAVILA et al. 2001; JAHANGIRI et al. 2001; LAPIETRA et al. 2000; WILLCOX et al. 1999; RIDER et al. 1998).

4.5. Bedeutung der aktiven venöse Drainage

Da die Ergebnisse unserer Studie im Bezug auf die Traumatisierung des Blutes und die klinischen Auswirkungen nur wenig relevanten Unterschiede zwischen den venösen Drainagesystemen erkennen lassen, kann die aktive venöse Drainage in ihren vielfältigen Einsatzmöglichkeiten ohne Bedenken angewendet werden.

Besonders wichtig sind diese Erkenntnisse beim Einsatz der aktiven venösen Drainage in der Kinderherzchirurgie (NAKANISHI et al. 2001; BERRYESSA et al. 2000) und dort insbesondere bei der operativen Korrektur von angeborenen Herzfehlern (WALTHER et al. 2002; OJITO et al. 2001). Bei diesen Patienten mit deutlich kleineren anatomischen Verhältnissen profitieren die Herzchirurgen außerordentlich von der Platzersparnis und der besseren Übersicht durch die dünneren venösen Kanülen, bei denen trotz des sehr kleinen Durchmessers durch die aktive venöse Drainage eine ausreichende Perfusion gewährleistet werden kann.

Auch in der minimalinvasiven Herzchirurgie bietet sich die aktive venöse Drainage aufgrund der immer kleiner werdenden operativen Zugangswege an. Bewährt hat

sich das System der aktiven venösen Drainage u.a. bei Herzklappenoperationen mit einer Mini-Sternotomie (DOTY et al. 2000; KLOKOCOVNIK 2002), videoassistiertem minimalinvasivem Mitralklappenersatz (REICHENSPURNER et al. 2000; REICHENSPURNER et al. 1999; CHITWOOD et al. 1997), minimalinvasiven ASD-Korrekturen (TEVAEARAI et al. 2001; MALHOTRA et al. 1999; REICHENSPURNER et al. 1998), Eingriffen mit bicavaler Kanülierung (JEGGER et al. 1999), Operationen mit Kanülierung über die Vena jugularis interna (FLEGE, WOLF 1997) und herzchirurgischen Eingriffen mit femoraler Kanülierung (SOLOMON et al. 1993). Auch bei minimalinvasiven herzchirurgischen Eingriffen mit Port-Access Technik hat sich die aktive venöse Drainage bewährt (DIEGELER, MOHR 1999; REICHENSPURNER et al. 1998; TOOMASIAN et al. 1997a und 1997b).

Bei herzchirurgischen Re-Operationen (FRIED et al. 1995; WALLOCK et al. 1996; TOOMASIAN et al. 1996) ist ebenso mitunter eine Kanülierung der Femoralgefäße notwendig. Um einen ausreichenden venösen Rückfluss und damit eine optimale Perfusion der Patienten zu gewährleisten wird auch hier, z.B. bei femoro-femoralem Bypass mit kleinen venösen Kanülen (MCCASKER et al. 1992; TOOMASIAN, MC CARTHY. 1998), die aktive venöse Drainage erfolgreich eingesetzt.

Anwendung findet die aktive venöse Drainage auch in der Neurochirurgie, z.B. bei Eingriffen an komplexen intrakraniellen Aneurysmen mit Einsatz der Herz-Lungen-Maschine und unter tiefer Hypothermie (AEBERT et al. 1998). Die aktive venöse Drainage sorgt zudem für eine bessere Übersicht bei der offenen Vena cava inf. Anastomose während einer bicavalen orthotopen Herztransplantation (AKLOG et al. 2002) und kann auch als assistierte venöse Drainage mit Biopumpe bei Patienten mit ECMO eingesetzt werden (WENGER et al. 1988).

Neben der Einsatzmöglichkeit der aktiven venösen Drainage in den o.g. Gebieten, bietet sich dieses Verfahren auch bei konventionellen Eingriffen am Herzen an, um einen komplikationslosen venösen Rückfluss und eine bessere Herzdekompression während der extrakorporalen Zirkulation zu gewährleisten (BEVILACQUA et al. 2002).

Außer dem bereits erwähnten Vorteil der Platzersparnis und der besseren Übersichtlichkeit des Operationsfeldes durch den Einsatz kleinerer venöser Kanülen, bietet die aktive venöse Drainage noch weitere Vorteile: Anders als bei der

Schwerkraft-assistierten venösen Drainage kann das venöse Reservoir unmittelbar auf Höhe des Patienten installiert werden, wodurch sich die venöse Linie erheblich verkürzt. Dies bedeutet zum einen, dass das Blut mit deutlich weniger fremdem Oberflächenmaterial in Kontakt kommt und damit auch weniger traumatisiert wird (JANVIER et al. 1996; SISTINO et al. 1993). Zum anderen bedeutet eine kürzere venöse Linie auch weniger Primingvolumen (SISTINO et al. 1993), damit einen geringeren Hämodilutionseffekt und eine Reduzierung der Anzahl der Bluttransfusionen, was besonders in der Kinderherzchirurgie von Vorteil ist (NAKANISHI et al. 2001; AHLBERG et al. 1999; LAU et al. 1999; DARLING et al. 1998). Ein geringerer Hämodilutionseffekt durch weniger Primingvolumen bedeutet zudem die Verhinderung von Ödemen und Störungen des Wasser- und Elektrolythaushaltes (LARSEN 1999; RAMSEY et al. 1995). Eine kürzere venöse Linie bedeutet aber auch weniger Widerstand und damit wiederum einen verbesserten venösen Rückfluss trotz kleinerer venöser Kanülen (SHIN et al. 2000).

Als negative Aspekte der aktiven venösen Drainage können der größere technische Aufwand und die höheren Kosten im Vergleich zur Schwerkraft-assistierten venösen Drainage genannt werden. Am teuersten ist die Biopumpen-assistierte venöse Drainage, da durch den Einbau einer Zentrifugalpumpe erheblich höhere Kosten entstehen als bei den anderen beiden Methoden. Bei der Vakuum-assistierten venösen Drainage kann die unterstützende Kraft direkt aus dem in allen standardisierten Operationssälen vorhandenen Vakuumanschluss gewonnen werden. Somit entfallen hierbei die Kosten für eine zusätzliche Pumpe. Die herkömmliche Methode der Schwerkraft-assistierten venösen Drainage ist von den drei genannten Methoden mit den geringsten Kosten verbunden, da hierbei die speziellen Komponenten der beiden Methoden der aktiven venösen Drainage (kleinere venöse Kanülen; venöses Reservoir mit Druckausgleichsventil; zusätzliche Drucksensoren und –Anzeiger) nicht benötigt werden.

Bislang liegen weniger Untersuchungen und damit weniger Erfahrungswerte zur aktiven venösen Drainage vor. Als potentielle Gefahr der Vakuum-assistierten venösen Drainage als Form der aktiven venösen Drainage werden in der Literatur Luftbläschen im Schlauchsystem genannt, die zu Mikroembolien und damit zu gefährlichen cerebrovasculären Komplikationen führen können (WILLCOX 2002; DAVILA et al. 2001; JAHANGIRI et al. 2001; LAPIETRA et al. 2000; WILLCOX et al.

1999; RIDER et al. 1998). Die Einhaltung der Sicherheitsmaßnahmen sollte vor allem bei der Vakuum-assistierten venösen Drainage, aber auch bei der Biopumpen-assistierten venösen Drainage überwacht werden. Wichtig ist, dass im gesamten Schlauchsystem der Herz-Lungen-Maschine keinerlei Luft angesaugt werden kann. Wenn man dennoch das Ansaugen von Luft bemerkt, sollte sofort mittels einer Klemme die venöse Linie abklemmt werden, um Luftbläschen und damit potentielle Mikroembolien zu vermeiden (NELSON, LICH 2001). In unserer Studie konnten keine neurologischen Komplikationen beobachtet werden, ein neurologisches Profil der Patienten wurde jedoch nicht evaluiert.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Einfluss der aktiven venösen Drainage an der HLM auf laborchemische und klinische Parameter: Vergleich mit der konventionellen venösen Drainage

Minimalinvasive Eingriffe in der Herzchirurgie werden auf immer engerem Raum durchgeführt. Der Platzmangel erfordert, insbesondere bei minimalinvasiven Eingriffen mit der HLM, neue Techniken der venösen Drainage mit deutlich kleineren Kanülen. Um trotzdem einen effektiven venösen Fluss gewährleisten zu können, besteht die Möglichkeit eine aktive venöse Drainage zu verwenden. Der venöse Fluss wird dabei durch einen Sog (entweder durch eine Biopumpe oder durch eine Vakuumpumpe) hergestellt.

Wir haben die verschiedenen Systeme der assistierten venösen Drainage in Hinsicht auf Effektivität, mögliche Vor- und Nachteile, Auswirkungen auf Labor- und Klinikparameter im Vergleich zur herkömmlichen Schwerkraft-assistierten venösen Drainage untersucht.

In die Studie aufgenommen wurden 92 erwachsene Patienten, die sich einer Bypassoperation mit HLM oder einer Klappenoperation mittels medianer Sternotomie unterzogen. Dabei haben wir 3 Gruppen gebildet: Gruppe 1 (n=31) als Kontrollgruppe mit herkömmlicher Schwerkraft-assistierter venöser Drainage und großer (32Fr. Zweistufen-Kanüle) Kanüle, Gruppe 2 (n=28) mit aktiver venöser Drainage mittels Biopumpe und kleiner (29Fr. Zweistufen-Kanüle) Kanüle sowie Gruppe 3 (n=33) mit Vakuum-assistierter venöser Drainage und ebenfalls kleiner (29Fr. Zweistufen-Kanüle) Kanüle.

Es wurden folgende labortechnische Parameter gemessen und statistisch miteinander verglichen: HBDH, Haptoglobin, GOT, LDH, Hämoglobin, Hämatokrit, Erythrozytenzahl, Bilirubin, indirektes Bilirubin, Thrombozytenzahl, Quick, PTT, ACT, Gesamteiweiß, Urin-Stix, MCV, MCH, MCHC, LDH/GOT, HBDH-Anteil. Gemessen wurde jeweils zu unterschiedlichen Zeitpunkten: präoperativ, nach Bypassbeginn, unmittelbar postoperativ und 24 Stunden nach Ankunft auf der Intensivstation. Außerdem wurden klinische Parameter, wie Intubationsdauer, Bypasszeit, Operationszeit, Aortenabklemmzeit, Reperusionszeit, Dauer des stationären

Aufenthalts, Zeit auf der Intensivstation, Zeit bis zur Extubation, gesamter Blutverlust aus den Wunddrainagen, sowie die verschiedenen Transfusionen gemessen.

Bei der anschließenden statistischen Auswertung konnten folgende Ergebnisse festgestellt werden:

Bei der Durchführung der assistierten venösen Drainage mittels Biopumpe oder Vakuumpumpe kam es zu keinerlei Komplikationen. Der notwendige venöse Fluss konnte immer ohne Probleme erreicht werden. Der technische Aufbau, sowie die Handhabung der verschiedenen assistierten venösen Drainagesysteme verlief reibungsfrei.

Bei den meisten gemessenen laborchemischen Werten gab es keine signifikanten postoperativen Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen. Unterschiede zeigten sich bei folgenden Laborparametern: Quick-Wert (GAVD: 65 ± 10 ; KAVD: 68 ± 9 ; VAVD: 73 ± 10); GOT-Wert (GAVD: 30 ± 11 ; KAVD: 77 ± 146 ; VAVD: 30 ± 13); LDH-Wert (GAVD: 351 ± 123 ; KAVD: 458 ± 257 ; VAVD: 353 ± 88); MCH-Wert (GAVD: $31,0 \pm 1,9$; KAVD: $31,4 \pm 1,2$; VAVD: $32,3 \pm 0,9$).

Die Analyse der klinischen und kardiotechnischen Daten ergab keine erkennbaren Unterschiede.

Die verschiedenen Methoden der assistierten venösen Drainage unterscheiden sich hinsichtlich der Traumatisierung der Blutzellen nur unwesentlich. Auch im Vergleich zur konventionellen venösen Drainage zeigten sich nur geringe Unterschiede. Wie die gemessenen klinischen Daten zeigten, hatten die verschiedenen Methoden der assistierten venösen Drainage keine klinischen Konsequenzen für die Patienten. In Bezug auf die Gerinnung scheint die Vakuum-assistierte venöse Drainage sogar Vorteile gegenüber den anderen venösen Drainagesystemen zu haben. Abschließend kann man daher sagen: Der Einsatz der aktiven venösen Drainage in der Herzchirurgie ist durchaus sinnvoll und medizinisch vertretbar.

6. LITERATURVERZEICHNIS

1. Aeberth H., Brawanski A., Philipp A., Behr R., Ullrich OW., Keyl C., Birnbaum DE.
Deep hypothermia and circulatory arrest for surgery of complex intracranial aneurysms
Eur J Cardiothorac Surg 1998; 13 (3): 223-229
2. Ahlberg K., Sistino JJ., Nemoto S.
Hematological effects of a low-prime neonatal cardiopulmonary bypass circuit utilizing vacuum-assisted venous return in the porcine model
J Extra Corpor Technol 1999; 31 (4): 195-201
3. Aklog L., Sepic J., Filsoufi F., Byrne JG., Adams DH.
Open inferior vena caval anastomosis during bicaval heart transplantation
Ann Thorac Surg 2002; 73 (2): 671-672
4. Almany DK., Sistino JJ.
Laboratory evaluation of the limitations of positive pressure safety valves on hard-shell venous reservoirs
J Extra Corpor Technol 2002; 34 (2): 115-117
5. Berryessa R., Wiencek R., Jacobson J., Hollingshead D., Farmer K., Cahill G.
Vacuum-assisted venous return in pediatric cardiopulmonary bypass
Perfusion 2000; 15: 63-67
6. Bevilacqua S., Matteucci S., Ferrarini M., Kacila M., Ripoli A., Baroni A., Mercogliano D., Glauber M., Ferrazzi P.
Biochemical evaluation of vacuum-assisted venous drainage: a randomized, prospective study
Perfusion 2002; 17: 57-61
7. Chambers SD., Ceccio SL., Annich GA., Bartlett RH.
Extreme negative pressure does not cause erythrocyte damage in flowing blood
ASAIO Journal 1999; 45: 431-435
8. Chitwood WR. jr., Wixon CL., Elbeery JR., Moran JF., Chapman WH, Lust RM.
Video-assisted minimally invasive mitral valve surgery
J Thorac Cardiovasc Surg 1997; 114 (5): 773-80
9. Cirri S., Negri L., Babbini M., Latis G., Khlal B., Tarelli G., Panisi P., Mazzaro E., Bellisario A., Borghetti B., Bordignon F., Ferrara M., Pavan H., Mecco M.
Haemolysis due to active venous drainage during cardiopulmonary bypass: comparison of two different techniques
Perfusion 2001; 16: 313-318
10. Cosgrove DM., Sabik JF.
Minimally invasive approach for aortic valve operations
Ann Thorac Surg 1996; 62: 596-597

11. Darling E., Kaemmer D., Lawson S., Smigla G., Collins K., Shearer I., Jagers J.
Experimental use of an ultra-low prime neonatal cardiopulmonary bypass circuit utilizing vacuum-assisted venous drainage
J Extra Corpor Technol 1998; 30 (4): 184-189
12. Davila RM., Rawles T., Mack MJ.
Venoarterial air embolus: A complication of vacuum-assisted venous drainage
Ann Thorac Surg 2001; 71: 1369-1371
13. Diegeler A., Mohr FW.
Minimalinvasive Herzchirurgie
In: Kolvenbach Ralf (Hrsg.): Minimalinvasive Techniken in der Gefäß- und Herzchirurgie
Steinkopf Verlag, Darmstadt, 1999, S. 139-200
14. Dormann, A., Wege T.
Laborwerte
Gustav Fischer Verlag, Lübeck, Stuttgart, Jena, Ulm, 1997, S. 80
15. Doty DB., Flores JH., Doty JR.
Cardiac valve operation using a partial sternotomy (lower half) technique
J Card Surg 2000; 15 (1): 35-42
16. Flege JB. jr., Wolf RK.
Venous drainage to the heart-lung machine via the internal jugular vein
Ann Thorac Surg 1997; 63 (3): 861
17. Frank G. (Hrsg.)
Herzchirurgie; Kapitel: Herz-Lungen-Maschine (HLM)
Perimed Verlag, Balingen, 1995, S. 25-29
18. Fried DW., Zombolas TL., Weiss SJ.
Single pump mechanically aspirated venous drainage (SPMAVD) for cardiac reoperation
Perfusion 1995; 10: 327-332
19. Fried DW., Zombolas TL., Weiss SJ.
(Correspondence)
Single pump mechanically aspirated venous drainage (SPMAVD) for cardiac reoperation
Perfusion 1996; 11: 351-353
20. Gregorette S.
Suction-induced hemolysis at various vacuum pressures: implications for intraoperative blood salvage
Transfusion 1996; 36 (1): 57-60

21. Hansbro SD., Sharpe DA., Catchpole R., Welsh KR., Munsch CM., McGoldrick JP., Kay PH.
Haemolysis during cardiopulmonary bypass: an in vivo comparison of standard roller pumps, nonocclusive roller pumps and centrifugal pumps
 Perfusion 1999; 14 (1): 3-10
22. Hayashi Y., Kagisaki K., Yamaguchi T., Sakaguchi T., Naka Y., Sawa Y., Ohtake S., Matsuda H.
Clinical application of vacuum-assisted cardiopulmonary bypass with a pressure relief valve
 Eur J Cardiothorac Surg 2001; 20: 621-626
23. Humphries K., Sistino JJ.
Laboratory evaluation of the pressure flow characteristics of venous cannulas during vacuum-assisted venous drainage
 J Extra Corpor Technol 2002; 34 (2): 111-114
24. Izzat MB., Yim AP.
Minimally invasive direct atrial septal defect closure
 Ann Thorac Surg 1997; 63 (6): 1831-1834
25. Jahangiri M., Rayner A., Keogh B., Lincoln C.
Cerebrovascular accident after vacuum-assisted venous drainage in a fontan patient: a cautionary tale
 Ann Thorac Surg 2001; 72: 1727-1728
26. Janvier G., Baquey C., Roth C., Benillan N., Belisle S., Hardy JF.
Extracorporeal circulation, hemocompatibility, and biomaterials
 Ann Thorac Surg 1996; 62 (6):1926-1934
27. Jegger D., Mueller X., Mucciolo G., Mucciolo A., Boone Y., Seigneul I., Horisberger J., von Segesser, LK.
A new expandable cannula to increase venous return during peripheral access cardiopulmonary bypass surgery
 Artif Organs 2002; 25 (2): 136-140
28. Jegger D., Tevæarai HAT., Horisberger J., Mueller XM., Boone Y., Pierrel N., Seigneul I., Segesser von LK.
Augmented venous return for minimally invasive open heart surgery with selective caval cannulation
 Eur J Cardiothorac Surg 1999; 16: 312-316
29. Jong de JC., Duis ten HJ., Smit Sibinga CT., Wildevuur CR.
Hematologic aspects of cardiotomy suction in cardiac operations
 J Thorac Cardiovasc Surg 1980; 79 (2): 227-236
30. Kaluza M., Ellenrieder N., Morawetz R., Blum U.
Aktive venöse Vakuumdrainage bei Routine Bypassoperationen
 (Herzzentrum Coswig, 1999), Zeitschrift Kardiotechnik 1999

31. Kameneva MV., Undar A., Antaki JF., Watach MJ., Calhoon JH., Borovetz HS.
Decrease in red blood cell deformability caused by hypothermia, hemodilution, and mechanical stress: factors related to cardiopulmonary bypass
 ASAIO J 1999; 45 (4): 307-310
32. Kawahito K., Nose Y.
Hemolysis in different centrifugal pumps
 Artif Organs 1997; 21 (4): 323-326
33. Klokocovnik T.
Direct minimally invasive approach for aortic root replacement
 J Cardiovasc Surg 2002; 43 (4): 475-477
34. LaPietra A., Grossi EA., Pua BB., Esposito RA., Galloway AC., Derivaux CC., Glassmann LR., Culliford AT., Ribakove GH., Colvin SB.
Assisted venous drainage presents the risk of undetected air microembolism
 J Thorac Cardiovasc Surg 2000; 120: 856-862
35. Larsen
Anästhesie. Kapitel 3: Extrakorporale Zirkulation
 Verlag Urban und Schwarzenberg, München, 1995, S. 1156-1164
36. Lau CL., Posther KE., Stephenson GR., Lodge A., Lawson JH., Darling EM., Davis jr. RD., Ungerleider RM., Jaggars J.
Mini-circuit cardiopulmonary bypass with vacuum assisted venous drainage: feasibility of an asanguineous prime in the neonate
 Perfusion 1999; 14: 389-396
37. Lauterbach G.
Handbuch der Kardiotechnik
 Verlag Urban und Fischer, München, 2002
38. Malhotra R., Mishra Y., Sharma KK., Mehta Y., Trehan N.
Minimally invasive atrial septal defects repair
 Indian Heart J 1999; 51 (2): 193-197
39. Mathews RK., Sistino JJ.
In-vitro evaluation of the hemolytic effects of augmented venous drainage
 J Extra Corpor Technol 2001; 33: 15-18
40. McCasker K., Hoffman D., Maldarelli W., Toplitz S., Sisto D.
High-flow femoro-femoral bypass utilizing small cannulae and a centrifugal pump on the venous side
 Perfusion 1992; 7: 295-300

41. Mueller XM., Tevæearai HT., Horisberger J., Augsbürger M., Burki M., Segesser von LK.
Vacuum assisted venous drainage does not increase trauma to blood cells
ASAIO Journal 2001; 47: 651-654
42. Muenster K., Andersen U., Mikkelsen J., Pettersson G.
Vacuum assisted venous drainage (VAVD)
Perfusion 1999; 14: 419-423
43. Murakami F., Usui A., Hiroura M., Kawamura M., Koyama T., Murase M.
Clinical study of totally roller pumpless cardiopulmonary bypass system
Artif Organs 1997; 21 (7): 803-807
44. Nakanishi K., Shichijo T., Shinkawa Y., Takeuchi S., Nakai M., Kato G., Oba O.
Usefulness of vacuum-assisted cardiopulmonary bypass circuit for pediatric open-heart surgery in reducing homologous blood transfusion
Eur J Cardiothorac Surg 2001; 20 (2): 233-238
45. Nelson DA., Lich BV.
The ultimate guide to assisted venous drainage
PHP The perfusion homepage. Revision #5, 2001.
www.perfusion.com
46. Nishinaka T., Nishida H., Endo M., Miyagishima M., Ohtsuka G., Koyanagi H.
Less blood damage in the impeller centrifugal pump: a comparative study with the roller pump in open heart surgery
Artif Organs 1996; 20 (6): 707-710
47. Ojito JW., Hannan RL., Miyaji K., White JA., McConaghey TW., Jacobs JP., Burke RP.
Assisted venous drainage cardiopulmonary bypass in congenital heart surgery
Ann Thorac Surg 2002; 71: 1267-1272
48. Ramsay JG.
The respiratory, renal and hepatic systems: effects of cardiac surgery and cardiopulmonary bypass
In: Mora CT. (Hrsg.): Cardiopulmonary bypass; principles and techniques of extracorporeal circulation
Springer Verlag, Berlin, 1995, S. 148-160
49. Reichenspurner H., Boehm DH., Gulbins H., Schulze C., Wildhirt S., Welz A., Dettler C., Reichart B.
Three-dimensional video and robot-assisted port-access mitral valve operation.
Ann Thorac Surg 2000; 69 (4): 1176-1181; discussion 1181-1182

50. Reichenspurner H., Boehm D., Reichart B.
Minimally invasive mitral valve surgery using three-dimensional video and robotic assistance
Semin Thorac Cardiovasc Surg 1999; 11 (3): 235-243
51. Reichenspurner H., Boehm DH., Welz A., Schulze C., Zwissler B., Reichart B.
3D-video- and robot-assisted minimally invasive ASD closure using the Port-Access techniques
Heart Surg Forum 1998; 1 (2): 104-106
52. Reichenspurner H. Gulielmos V., Wunderlich J., Dangel M., Wagner FM., Pompili MF., Stevens JH., Ludwig J., Daniel WG., Schuler S.
Minimally invasive heart surgery - a fad or a clinically recognized therapy method?
Kardiol 1998; 87 (8): 594-603
53. Reichenspurner H., Gulielmos V., Wunderlich J., Dangel M., Wagner FM., Pompili MF., Stevens JH., Ludwig J., Daniel WG., Schuler S.
Port-Access coronary artery bypass grafting with the use of cardiopulmonary bypass and cardioplegic arrest
Ann Thorac Surg 1998; 65 (2): 413-419
54. Reichenspurner H., Welz A., Gulielmos V., Boehm DH., Reichart B.
Port-Access cardiac surgery using endovascular cardiopulmonary bypass: theory, practice, and results
J Card Surg 1998; 13 (4): 275-280
55. Rider SP., Simon LV., Rice BJ., Poulton CC.
Assisted venous drainage, venous air, and gaseous microemboli transmission into the arterial line: An in-vitro study
J Extra Corpor Technol 1998; 30 (4): 160-165
56. Scheld HH., Deng MC., Hammel D.
Leitfaden Herztransplantation: Interdisziplinäre Betreuung vor, während und nach Herztransplantation
Steinkopff Verlag, Darmstadt, 1997, S. 80-83
57. Schott H. (Hrsg.)
Die Chronik der Medizin: Neue Methoden der offenen Herzchirurgie
Weltbild Verlag, Augsburg, 1997, S. 501
58. Shin H., Yozu R., Maehara T., Matayoshi T., Morita M., Kawai Y., Yamada T., Kawada S.
Vacuum assisted cardiopulmonary bypass in minimally invasive cardiac surgery: its feasibility and effects on hemolysis
Artif Organs 2000; 24 (6): 450-453

59. Sistino JJ., Michler RE., Mongero LB.
Laboratory evaluation of a low prime closed-circuit cardiopulmonary bypass system
 J Extra Corpor Technol 1993; 24 (4): 116-119
60. Solomon L., Sutter FP., Goldman SM., Mitchell JM., Casey K.
Augmented femoral venous return
 Ann Thorac Surg 1993; 55: 1262-1263
61. Taketani S., Sawa Y., Masai T., Ichikawa H., Kagisaki K., Yamaguchi T., Ohtake S., Matsuda H.
Anovel technique for cardiopulmonary bypass using vacuum system for venous drainage with pressure relief valve: an experimental study
 Artif Organs 1998; 22 (4): 337-341
62. Tamari Y., Lee-Sensiba K., Ganju R., Chan R., Hall MH.
A new bladder allows kinetic venous augmentation with a roller pump
 Perfusion 1999; 14: 453-459
63. Tevaeearai HT., Mueller XM., Jegger D., Augsburg M., Stumpe F., Segesser von LK.
Optimization of the pump driven venous return for minimally invasive open heart surgery
 Artif Organs 1999; 22 (10): 684-689
64. Tevaeearai HT., Mueller XM., Jegger D., Ruchat P., Segesser von LK.
Venous drainage with a single peripheral bicaval cannula for less invasive atrial septal defect repair
 Ann Thorac Surg 2001; 72: 1772-1773
65. Thomas, L.
Labor und Diagnose. Indikation und Bewertung von Laborbefunden für die medizinische Diagnostik
 5. Aufl., TH-Books, Frankfurt/ M., 1998, S. 92/ 93
66. Toomasian JM., Conte JV., Reitz BA.
Kinetic assisted venous drainage as an adjunct to multiple redosternotomy
 Case reports: clinical studies in extracorporeal circulation, Houston TX: The PREF Press, 1996: 1-10
67. Toomasian JM., McCarthy JP.
Total extrathoracic cardiopulmonary support with kinetic assisted venous drainage: experience in 50 patients
 Perfusion 1998; 13: 137-143
68. Toomasian JM., Peters WS., Siegel LC., Stevens JH.
Extracorporeal circulation for port-access cardiac surgery
 Perfusion 1997a; 12 (2): 83-91

69. Toomasian JM., Williams DL., Colvin SB, Reitz BA
Perfusion during coronary and mitral valve surgery utilizing minimally invasive Port-Access technology
J Extra Corpor Technol 1997b; 29 (2): 66-72
70. Wallock M., Kuehn B., Hoff W.
Single pump mechanically aspirated venous drainage (SPMAVD) for cardiac reoperation; Correspondence
Perfusion 1996; 11: 351-353
71. Walther T., Tsang V., Hawkey D., de Leval M.
Vacuum-assisted venous drainage in complex congenital cardiac surgery
J Thorac Cardiovasc Surg 2002; 50 (2): 100-101
72. Wenger RK., Bavaria JE., Ratcliffe MB., Bogen D., Edmunds LH. jr.
Flow dynamics of peripheral venous catheters during extracorporeal membrane oxygenation with a centrifugal pump
J Thorac Cardiovasc Surg 1988; 96 (3): 478-484
73. Willcox TW.
Vacuum-assisted venous drainage: To air or not to air, that is the question. Has the bubble burst?
J Extra Corpor Technol 2002; 34: 24-28
74. Willcox TW., Mitchell SJ., Gorman DF.
Venous air in the bypass circuit: A source of arterial line emboli exacerbated by vacuum-assisted drainage
Ann Thorac Surg 1999; 68: 1285-1289
75. Wright G., Sanderson JM.
Cellular aggregation and trauma in cardiotomy suction systems
Thorax 1979; 34 (5): 621-628

DANKSAGUNG

Ich möchte an dieser Stelle allen, die zur Fertigstellung meiner Dissertation beigetragen haben, meinen herzlichen Dank aussprechen.

Besonderer Dank gebührt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. med. H. Reichenspurner, Ph.D., für die Überlassung des Themas und seine tatkräftige Unterstützung und Förderung.

Für seine häufigen, anregenden und kritischen Diskussionen möchte ich mich bei meinem Mitbetreuer Herrn Darius Rassoulian, Assistenzarzt der Herzchirurgie Großhadern, ganz besonders bedanken. Er hat es verstanden mein Interesse an selbständiger, wissenschaftlicher Arbeit zu fördern.

Ebenso gebührt mein Dank den Mitarbeitern der kardiotechnischen Abteilung der Herzchirurgie am Klinikum Großhadern und den Kollegen der klinischen Chemie am Klinikum Großhadern, ohne deren Unterstützung die Durchführung dieser Studie nicht möglich gewesen wäre. Sie trugen darüber hinaus durch kritische Diskussion und Anregung dazu bei, die Problematik dieser Studie von verschiedenen Standpunkten aus zu beleuchten.

LEBENS LAUF

- Geboren am 09. Januar 1971 in München
- Schulausbildung beendet 1992 mit der Allgemeinen Hochschulreife am Hochrhein-Gymnasium in Waldshut
- Zivildienst 1992/ 93 als Springer in der zentralen Operationsabteilung des Kreiskrankenhauses Waldshut
- 1993/ 94 zwei Semester Maschinenbau an der Technischen Universität München
- Beginn des Medizinstudiums an der Ludwig-Maximilians Universität München im Sommersemester 1995
- Ärztliche Vorprüfung am 15.09.1997
- Erstes Staatsexamen am 18.09.1998
- Zweites Staatsexamen am 13.09.2000
- Ärztliche Prüfung am 22.11.2001
- Tätigkeiten neben dem Medizinstudium:
 - September 1995 bis Mai 1998 Springer im Herzchirurgischen OP, Zentralklinikum Augsburg
 - April 1999 bis Februar 2000 wissenschaftlicher Mitarbeiter der Herzchirurgie, Universitätsklinikum Großhadern
- Vom 01.12.2001 bis 30.11.2002 Arzt im Praktikum in der Chirurgischen Abteilung des Krankenhauses der Missions-Benediktinerinnen Tutzing. Seit 01.12.2002 Arzt im Praktikum in der Chirurgischen Abteilung des Kreisklinikums Mindelheim
- Beginn der Dissertation an der Herzchirurgischen Klinik der LMU München im Wintersemester 1999