

Aus der Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie  
des Deutschen Herzzentrums München  
an der Technischen Universität München  
Direktor : Prof. Dr. med. Rüdiger Lange

**Langzeitergebnisse nach Aortenwurzelersatz :  
Klappentragende Gefäßprothese versus klappenerhaltendem  
Aortenwurzelersatz**

Dissertation zum Erwerb des Doktorgrades  
der Medizin an der Technischen Universität München

Vorgelegt von  
Konstantinos Sideris  
München 2017

Aus der Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie  
des Deutschen Herzzentrums München  
an der Technischen Universität München  
Direktor : Prof. Dr. R. Lange

**Langzeitergebnisse nach Aortenwurzelersatz:  
Klappentragende Gefäßprothese versus klappenerhaltendem Aortenwurzelersatz**

Konstantinos Sideris

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität  
München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Medizin  
genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr. E. J. Rummeny  
Prüfer der Dissertation: 1. Priv.-Doz. Dr. B. Voss  
2. Prof. Dr. R. Lange

Die Dissertation wurde am 09.02.2017 bei der Technischen Universität München  
eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 06.12.2017 angenommen.

# INHALTSVERZEICHNIS

---

Inhaltsverzeichnis.....	3
1. Einleitung.....	1
1.1 Historischer Hintergrund.....	1
1.2 Anatomische Grundlagen.....	1
1.3 Chirurgische Therapie.....	3
1.4 Thematische Einleitung und Fragestellung.....	4
1.5 Ziel der Studie.....	4
2. Patienten und Methodik.....	5
2.1 Studienaufbau und Patientenauswahl.....	5
2.2 Datenerfassung.....	5
2.3 Studienkollektiv.....	6
2.3.1 Verteilung der Patienten.....	6
2.3.2 Präoperativer Status.....	7
2.3.2.1 Alter.....	7
2.3.2.2 Aortenklappenmorphologie und Insuffizienzgrad.....	8
2.3.2.3 Marfan Syndrom.....	8
2.3.2.4 Voroperationen.....	9
2.3.2.5 Herzrhythmus.....	9
2.3.2.6 Angeborene begleitende Herzerkrankungen.....	9
2.4 Operative Vorbereitung.....	10
2.5 Operativer Ablauf.....	11
2.6 Postoperative Behandlung.....	11
2.7 Operative Techniken.....	11
2.7.1 Operation nach Bentall.....	12
2.7.2 Klappenerhaltende Verfahren.....	13
2.7.2.1 Operation nach Yacoub.....	14
2.7.2.2 Operation nach David.....	14
2.8 Beobachtungszeitraum / Untersuchungen.....	15
2.9 Statistische Analyse.....	16
3. Ergebnisse.....	17
3.1 Operative Daten.....	17
3.2 Überleben.....	20
3.2.1 Todesursachen.....	20
3.2.2 Überlebensraten.....	20
3.3 Reoperationen.....	22
3.3.1 Frühpostoperative Re-Operationen.....	22
3.3.2 Spätpostoperative Re-Operationen.....	23

3.3.3 Freiheit von Re-operationen .....	24
3.4 Postoperative thrombembolische und neurologische Ereignisse.....	25
3.5 Postoperative Endokarditis.....	25
3.6 Blutungen während der Nachbeobachtungszeit .....	25
3.7 Aortenklappenfunktion.....	26
4. Diskussion .....	27
5. Zusammenfassung .....	32
I. Literaturverzeichnis.....	34
II. Abbildungsverzeichnis.....	38
III. Tabellenverzeichnis.....	39
IV. Danksagung.....	40

---

---

# 1. EINLEITUNG

---

## 1.1 HISTORISCHER HINTERGRUND

---

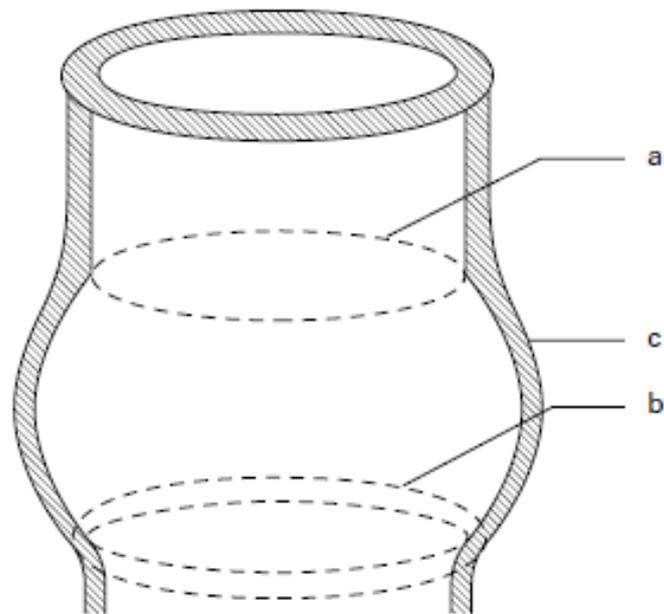
Der Durchbruch in der chirurgischen Behandlung der Aorta ascendens gelang 1956 als Cooley und De Bakey erstmals einen tubulären Ersatz der Aorta ascendens mittels extrakorporalen Zirkulation durchführten [4, 5]. In den 1960er Jahren wurde es mit Einführung von Klappenprothesen möglich, das therapeutische Spektrum auf Aortenwurzeldilatation mit begleitender Aortenklappeninsuffizienz zu erweitern, indem klappentragende Gefäßprothesen eingesetzt wurden (Bentall-Operation) [4, 6]. Im weiteren Verlauf wurden mit wachsendem Verständnis zum pathophysiologischen Mechanismus der Entstehung der Aortenklappeninsuffizienz [7-9], Operationstechniken entwickelt, bei denen die native Aortenklappe rekonstruiert wird [10-13]. Grundlage dieser Techniken ist jeweils die Wiederherstellung der anatomischen Struktur der Aortenwurzel.

## 1.2 ANATOMISCHE GRUNDLAGEN

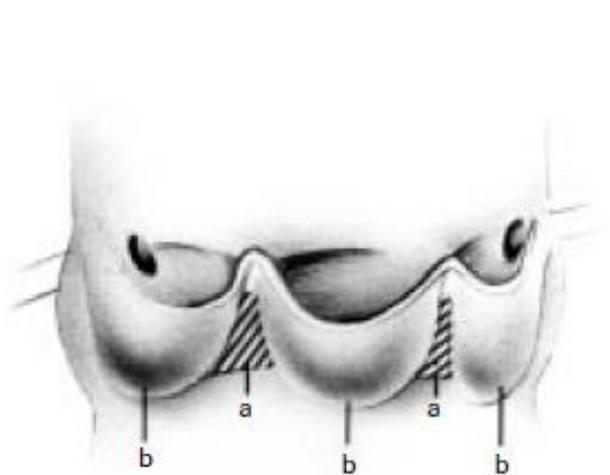
---

Die Aorta ascendens besteht aus der Aortenwurzel und einem ascendierenden tubulären Anteil deren Grenze als sinutubulärer Übergang bezeichnet wird. Die Aortenklappe ist anatomisch ein Teil der Aortenwurzel (Abb.1). Sie besteht aus einem kronenförmigen Klappenring und den Klappentaschen. An ihrer Basis sind die Klappentaschen zu jeweils gleichen Teilen halbmondförmig mit der Aortenwurzel verbunden (Abb.2). Die Stelle an der sich zwei benachbarte Klappentaschen treffen, wird als Kommissur bezeichnet. Steigt der linksventrikuläre Druck in der Systole an, so öffnen sich die Klappentaschen und das Blut wird mit hohem Druck in die Aorta ausgeworfen. In der Diastole schließen sich die freien Klappentaschenränder wieder und legen sich einander an. Die zentrale Koaptation der Segel wird zusätzlich durch knotenförmige Verdickungen, den Noduli arantii sichergestellt, die jeweils in der Mitte der freien Segelränder liegen. Dadurch wird verhindert, dass das gerade ausgeworfene Blut wieder zurück in das Herz fließt. Die Aortenklappe fungiert somit als Ventil. Kommt es durch eine Dilatation oder eine Dissektion der Aortenwurzel zu

einem Verzug der Klappengeometrie, so ist der vollständige Klappenschluss nicht mehr gewährleistet, was zu einer Insuffizienz der Aortenklappe führt. Somit hat die Wiederherstellung einer normalen Aortenwurzelgeometrie eine zentrale Bedeutung bei der Korrektur einer begleitenden Aortenklappeninsuffizienz [2, 14, 15].



**Abbildung 1** Grafische Darstellung der Aortenwurzel: (a) Sinutubulärer Übergang, (b) Aortenwurzelbasis (Annulus), (c) Valsalva sinus. [2]



**Abbildung 2** Grafische Darstellung der Aortenwurzel (longitudinale Öffnung) (a) Dreieckiger Klappentaschenzwischenraum, (b) Klappentaschen [2]

### 1.3 CHIRURGISCHE THERAPIE

---

Die konventionelle chirurgische Therapie der akuten Dissektion der Aorta ascendens (Typ A) oder des chronischen Aortenwurzaneurysmas mit begleitender Dysfunktion der Aortenklappe, insbesondere beim Marfan Syndrom [16-22], beinhaltet den gemeinsamen Ersatz der Aortenwurzel und der Aortenklappe mit einer klappentragenden Gefäßprothese [20, 23, 24]. Diese Technik wurde erstmals 1968 durch Bentall und De Bono vorgestellt [6] und wird allgemein als „Bentall Operation“ bezeichnet. Als Klappenprothesen werden dabei mechanische oder biologische Klappen verwendet [25].

Die Nachteile dieser Operation bestehen bei der Verwendung mechanischer Klappenprothesen in dem Risiko thromboembolischer Komplikationen, der Gefahr von Blutungen durch die lebenslang notwendige Antikoagulantientherapie, der eingeschränkten Hämodynamik der Kunstklappe, des paravalvulären Lecks (Gesamtrisiko ca. 5% pro Patient und Jahr) und der psychischen Belastung durch mögliche Prothesengeräusche. Bei der Verwendung biologischer Klappen besteht vor allem das Risiko der Prothesendegeneration mit der Notwendigkeit einer Re-OP oder Reintervention [23, 26]. Bis heute gilt die Bentall Operation als der Goldstandard in der chirurgischen Therapie von Patienten mit Aortenwurzaneurysma und Aortenklappeninsuffizienz [20].

Bei den meisten Patienten mit den oben beschriebenen Krankheitsbildern sind die Aortenklappensegel jedoch nicht oder nur wenig pathologisch verändert. Somit ist in den meisten Fällen prinzipiell die Möglichkeit gegeben, die Aortenwurzel unter Erhalt der Klappensegel zu rekonstruieren. Zu diesem Zweck sind zwei unterschiedliche Operationstechniken entwickelt worden, die erst in jüngster Zeit in spezialisierten Zentren angewandt werden: Die eine Rekonstruktionstechnik entwickelte Magdi Yacoub Anfang der 80er Jahre mit der nach ihm benannten „Yacoub – Operation“ [11, 13]. Dabei wird die gesamte Aortenwurzel reseziert und anschließend mit einer zungenförmig zugeschnittenen Prothese rekonstruiert, so dass drei neue Sinus valsalvae aus der Prothese entstehen (Abb. 4).

Im Jahre 1992 stellten Christopher Feindel und Tiron David die sogenannte „David-Operation“ vor. Hierbei wird die Aortenwurzel ebenfalls komplett reseziert und durch eine Rohrprothese ersetzt [10]. Im Gegensatz zur Yacoub-Operation wird bei dieser

Technik die Prothese jedoch komplett über die native Aortenklappe gestülpt und die Klappe durch Einnähen somit in der Prothese fixiert (Abb. 5).

---

#### 1.4 THEMATISCHE EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

---

Klappenerhaltende Techniken zur chirurgischen Behandlung von Aortenwurzelerkrankungen sind im Vergleich zur Bentall Operation technisch komplexer und finden daher nur in speziellen herzchirurgischen Zentren Anwendung. Von vielen Herzchirurgen wird das Rezidiv-Risiko für eine erneute Aortenklappeninsuffizienz bei klappenerhaltenden Techniken als zu hoch eingeschätzt und daher weiterhin die Bentall-Operation als Therapie der Wahl angeboten [20]. Bisher gibt es nur wenige Daten über den Langzeitverlauf der verschiedenen Techniken. Es stellt sich also die Frage, ob für Patienten mit Aortenwurzelektasie und Aorteninsuffizienz die „relativ“ einfache, schnelle und sichere Bentall-OP oder eine klappenerhaltende Operationstechnik, trotz der Komplexität im Langzeitverlauf von Vorteil ist. Es ist daher notwendig größere Kollektive von Patienten auch mit komplexeren Aortenklappenpathologien zu untersuchen, um den Wert klappenerhaltender OP-Techniken gegenüber der Bentall-Operation zu untersuchen.

---

#### 1.5 ZIEL DER STUDIE

---

Ziel der vorliegenden Studie ist es, die Langzeitergebnisse nach klappenerhaltenden Aortenwurzelerersatz mit denen nach Bentall Operationen mit mechanischer bzw. biologischer Prothese zu vergleichen. Es sollen die Unterschiede bezüglich des Überlebens, der Reoperations- und der Komplikationsrate (Endokarditis, Blutung, Schlaganfall) des jeweiligen Vorgehens erfasst werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sollen dazu beitragen die optimale Operationsstrategie zur Behandlung von Aortenwurzelerkrankungen zu finden.

## 2. PATIENTEN UND METHODIK

---

### 2.1 STUDIENAUFBAU UND PATIENTENAUSWAHL

---

Diesbezüglich liegt ein positives Ethikvotum der Technischen Universität München mit der Projektnummer 513/16 S vor. Es handelt sich um eine retrospektive Untersuchung bei Patienten die zwischen 2000 und 2011 im Deutschen Herzzentrum München in der Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie aufgrund eines Aortenaneurysmas mit oder ohne begleitende Aorteninsuffizienz operiert wurden (n=941). Dabei waren Patienten mit einer akuten Typ-A Dissektion die notfallmäßig operiert wurden in die Studie eingeschlossen. Patienten mit einer Aortenklappenstenose und post-stenotischer Wurzeldilatation die eine Bentall Operation erhielten wurden von der Studie ausgeschlossen (n=145). Ebenfalls ausgeschlossen wurden Patienten die entweder einen isolierten, oder mit einem Aortenklappenersatz kombinierten suprakoronaren Aorta ascendens Ersatz erhielten (n=424). Neugeborene und Kinder unter einem Jahr (n=2) wurden ebenso ausgeschlossen. Das zu untersuchende Patientenkollektiv bestand somit aus 370 Patienten bei denen die Diagnose Aortenwurzelaneurysma mit oder ohne begleitende Aortenklappeninsuffizienz gestellt wurde.

Bei diesen Patienten wurde entweder der komplette Wurzelersatz mit Ersatz der Aortenklappe (Bentall Operation mit biologischer oder mechanischer klappentragender Gefäßprothese) oder eine klappenerhaltene Aortenwurzelersatzoperation nach David oder Yacoub durchgeführt.

Die Nachuntersuchung der Patienten erfolgte im Zeitraum zwischen August 2011 und August 2012. Als Quelle für die demographischen und perioperativen klinischen Daten dienten die Krankenakten der Patienten und die hauseigene elektronische Datenbank für aortenklappenerhaltende Operationen.

### 2.2 DATENERFASSUNG

---

Die perioperativen Daten wurden anhand der Befunde aus den Krankenakten und der hauseigenen elektronischen Patientendatenbank erhoben. Intraoperative Befunde sowie die intraoperativen chirurgischen Daten wurden den

Operationsprotokollen entnommen. Die klinischen und echokardiographischen Nachuntersuchungen wurden in den meisten Fällen in der hauseigenen ambulanten Abteilung erhoben. Für Patienten, die zur Nachuntersuchung nicht in unsere Klinik kommen konnten, wurden die benötigten Daten aus den Berichten der niedergelassenen kardiologischen Kollegen entnommen. Jedem Patienten wurde ein Fragebogen zugesandt, mit dem der aktuelle klinische Status sowie Daten über den Behandlungsverlauf erhoben wurden. Fehlende Daten wurden durch telefonische Befragung der Patienten ergänzt.

Die Beurteilung der prä- und postoperativen Aortenklappeninsuffizienz wurde mittels transthorakaler oder transösophagealer Echokardiographie bestimmt. Der Grad der Aorteninsuffizienz wurde dabei wie folgt eingeteilt: keine Aortenklappeninsuffizienz, Grad I°, Grad II°, Grad III° und Grad IV°

Der Durchmesser der Aortenwurzel wurde mittels Computertomographie und Echokardiographie bestimmt. Die Linksventrikuläre Pumpfunktion wurde durch echokardiographische Messung als normal (Ejektionsfraktion  $\geq 50\%$ ), mittelgradig (Ejektionsfraktion 30-49%) oder hochgradig eingeschränkt (Ejektionsfraktion  $<30\%$ ) eingestuft.

Die echokardiographische Untersuchung wurde gemäß der Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie und der ACC/AHA/ASE-Richtlinien zur Beurteilung der Morphologie und Funktion der Aortenklappe, der Ejektionsfraktion und der linksventrikulären Maße durchgeführt [27, 28]. Die Morphologie und Funktion des Herzens und der Klappen wurde im 2D- sowie im M-Mode beurteilt. Mittels CW-Doppler und Color-Doppler wurde die valvuläre Hämodynamik untersucht. Alle erfassten Daten wurden digital gespeichert, ausgewertet und miteinander verglichen.

---

## 2.3 STUDIENKOLLEKTIV

---

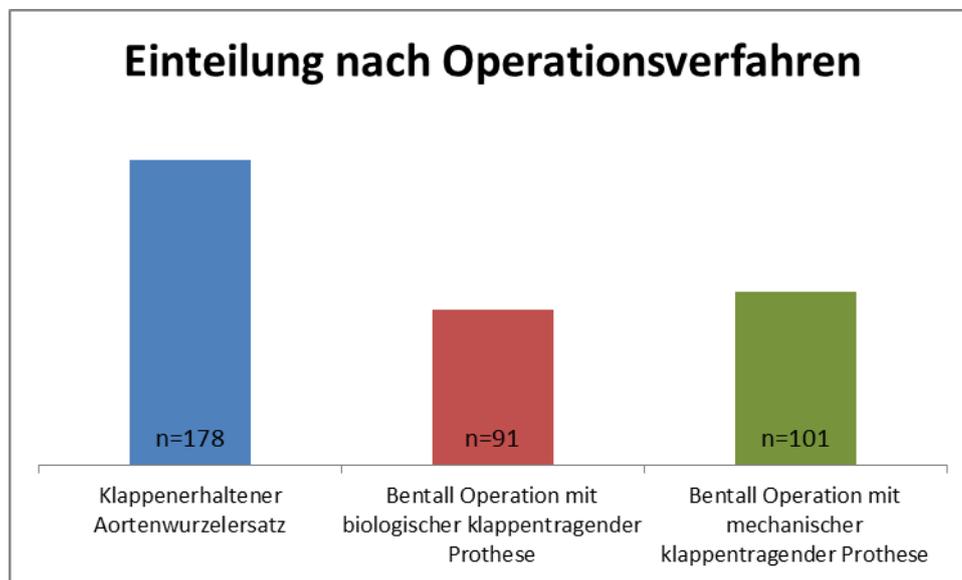
---

### 2.3.1 VERTEILUNG DER PATIENTEN

---

Das Gesamtkollektiv beinhaltete 370 Patienten, darunter waren 272 (73,5 %) Patienten männlichen und 98 Patienten weiblichen Geschlechts (26,5%). Das mittlere Alter lag am Operationstag bei  $52,2 \pm 16,5$  Jahren, verteilt im Bereich von 2,9 Jahre bis 87,7 Jahre. Anhand der durchgeführten Operation, wurden die Patienten in

drei unterschiedlichen Gruppen aufgeteilt. Die Patienten der Gruppe A (n=178) erhielten eine klappenerhaltene Operation nach David oder Yacoub (VSRR, engl. Valve Sparing Root Replacement). Der Gruppe B (n=91) wurden Patienten mit einer Bentall Operation mit biologischer klappentragender Prothese zugeordnet und die Patienten der Gruppe C (n=101) erhielten eine Bentall Operation mit mechanischer klappentragender Prothese (Tabelle 1). Die Patienten bei denen der Chirurg intraoperativ wegen eines ausgeprägten Befundes an der Aortenklappe vom klappenerhaltenem Verfahren zur Bentall Operation konvertieren musste, wurden der Gruppe B oder Gruppe C zugeteilt, je nachdem was für eine Klappenprothese die Patienten erhielten.



**Tabelle 1** Einteilung nach Operationsverfahren. Klappenerhaltener Aortewurzelersatz nach David oder Yacoub **Gruppe A** (n=178), Bentall Operation mit biologischer klappentragender Gefäßprothese **Gruppe B** (n=91), Bentall Operation mit mechanischer klappentragender Gefäßprothese **Gruppe C** (n=101)

---

## 2.3.2 PRÄOPERATIVER STATUS

---

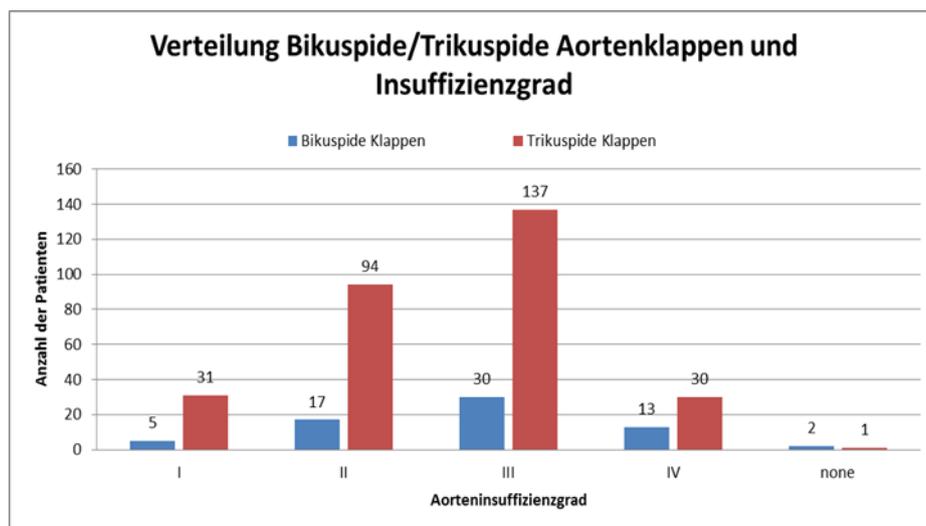
### 2.3.2.1 ALTER

---

Das höchste Alter zeigte sich in der Gruppe mit Bentall Operation mit einer biologischen klappentragende Prothese ( $65 \pm 11$ ,  $p < 0,01$ ). Die beiden anderen Gruppen (VSRR und mechanische Bentall Operation) zeigten keinen signifikanten Unterschied im Alter ( $48,19 \pm 16,10$  und  $47,18 \pm 14,47$ ). Zwölf Patienten (3,2%) waren unter 18 Jahre alt.

### 2.3.2.2 AORTENKLAPPENMORPHOLOGIE UND INSUFFIZIENZGRAD

Eine bikuspidale Aortenklappe wurde bei 67 der insgesamt 370 Patienten (18,1%) präoperativ diagnostiziert. Von diesen Patienten hatten 2,9% eine funktionell unauffällige Aortenklappe (2 von 67 Patienten), 7,5% (5/67) hatten eine Aortenklappeninsuffizienz grad I, 25,4% (17/67) hatten eine Insuffizienz grad II, 44,8% (30/67) hatten eine Aorteninsuffizienz grad III und bei 19,4% der bikuspiden Aortenklappen (13/67) zeigte sich präoperativ eine Aortenklappeninsuffizienz grad IV. Eine trikuspid angelegte Aortenklappe wurde bei 303 von insgesamt 370 Patienten präoperativ diagnostiziert (81,9%), von denen 0,3% (1/303) eine funktionell unauffällige Aortenklappe hatten, 10,2% (31/303) eine Aorteninsuffizienz grad I, 31,3% (94/303) eine Insuffizienz grad II, 45,2% (137/303) eine Insuffizienz grad III und 9,9% der Patienten (30/303) Aorteninsuffizienz grad IV. Bei 11 von 303 Patienten (9,9%) mit einer trikuspid angelegten Aortenklappe gab es präoperativ keine Angaben zum Insuffizienzgrad (Tabelle 2).



**Tabelle 2** Verteilung der bikuspid und trikuspid angelegten Aortenklappen im gesamt Kollektiv und Insuffizienzgrade

### 2.3.2.3 MARFAN SYNDROM

Zweiundvierzig Patienten aus dem Gesamtkollektiv (11,35%) hatten ein Marfan Syndrom. Die Diagnose wurde anhand der Ghent-Kriterien oder durch eine genetische Analyse gestellt. Die Verteilung in den drei Gruppen war wie folgt: VSRR n=26, Bentall Operation mit einer biologischen Klappenprothese n=2, Bentall Operation mit mechanischer Klappenprothese n=14, p=0,04 (Tabelle 3).

#### *2.3.2.4 VOROPERATIONEN*

---

Bei 54 Patienten wurde eine oder mehrere Vor-Operationen am Herzen durchgeführt. Im einzelnen waren dies: Eingriffe an der Mitralklappe (n=7), Eingriffe an der Trikuspidalklappe (n=3), Aortenklappenersatz (n=12), aortokoronare Bypassoperation (n=3), Ross-Operation (n=2), CoA Resektion (n=6), Vorhofseptumdefekt (ASD) oder Ventrikelseptumdefekt (VSD) Verschluss (n=7), Senning Operation (n=1), „double outlet right ventricle“ Korrektur (n=2), Blalock-Taussig-Shunt Implantation (n=2), Yacoub Operation (n=4), Bentall Operation (n=2), suprakoronaren Aorta ascendens Ersatz (n=8), Aortenbogenersatz (n=1), Aorta descendens Ersatz oder descendens Stent Implantation (n=6) und Maze Operation (n=2). Notfallmäßig wurden 64 der insgesamt 370 Patienten operiert (16,7%).

#### *2.3.2.5 HERZRHYTHMUS*

---

Ein Sinusrythmus wurde bei insgesamt 345 Patienten aus dem Gesamtkollektiv präoperativ festgestellt (90,5%). Vorhofflimmern lag bei 33 (8,9%) Patienten vor. Zwei Patienten (0,6%) hatten einen Schrittmacherrhythmus.

#### *2.3.2.6 ANGEBORENE BEGLEITENDE HERZERKRANKUNGEN*

---

Aus den präoperativ erhobenen Daten zeigte sich, dass bei 10 Patienten aus dem Gesamtkollektiv, zusätzlich zur Aortenwurzelektasie ein angeborener Herzfehler bestand. Im Einzelnen waren dies: ASD oder persistierendes Foramen Ovale (PFO) (n=4), persistierender Ductus arteriosus (n=1), VSD (n=4) und Aortenisthmusstenose (n=1).

**Tabelle 3** Präoperative Daten, Patientencharakteristika (VSSR: klappenerhaltender Aortenwurzelersatz nach David oder Yacoub, Bentall b: biologische klappentragende Gefäßprothese, Bentall m: mechanische klappentragende Gefäßprothese)

	<b>VSSR</b>	<b>BENTALL B</b>	<b>BENTALL M</b>	<b>P</b>
<b>ANZAHL DER PATIENTEN</b>	178	91	101	
<b>MITTLERES ALTER± SD</b>	48,19 ±16,10	65±11	47,18±14,47	<0,01
<b>GESCHLECHT</b>				
<b>MÄNNLICH</b>	127 (71,3%)	64 (70,3%)	81 (80,2%)	0,15
<b>WEIBLICH</b>	51 (28%)	27 (29,7%)	20(19,8%)	
<b>LINKSVENTRIKULÄRE EJEKTIONSFRAKTION</b>				
<b>≥50%</b>	130 (73,0%)	55 (60,4%)	52 (51,5%)	0,01
<b>30-50%</b>	44 (24,7%)	25 (27,5%)	29 (28,7%)	0,48
<b>&lt;30%</b>	1 (0,5%)	5 (5,5%)	10 (9,9%)	<0,01
<b>NYHA KLASSE</b>				
<b>I</b>	46 (25,8%)	4 (4,4%)	5 (5,5%)	<0,01
<b>II</b>	61 (34,3%)	20 (21,9%)	34 (33,7%)	0,07
<b>III</b>	43 (24,2%)	45 (49,5%)	37 (36,3%)	<0,01
<b>IV</b>	14 (7,9%)	14 (15,4%)	12 (11,9%)	0,13
<b>AORTENANEURYSMA</b>	161 (90,4%)	67 (73,6%)	77 (76,2%)	0,01
<b>TYP A DISSEKTION</b>	17 (9,6%)	24 (26,4%)	24 (23,8%)	0,01
<b>MARFAN SYNDROM</b>	26 (14,6%)	2 (2,2%)	14 (13,9%)	0,04
<b>KORONARE HERZERKRANKUNG</b>	26 (14,6%)	35 (38,5%)	16 (15,8%)	<0,01
<b>TRIKUSPIDALKLAPPEN VITIAM</b>	39 (21,9%)	16 (17,6%)	8 (7,9%)	0,06
<b>MITRALKLAPPEN VITIAM</b>	66 (37,1%)	23 (25,3%)	20 (19,8%)	0,08
<b>ARTERIELLE HYPERTONIE</b>	105 (58,9%)	66 (72,5%)	50 (49,5%)	0,05
<b>HYPELIPIDÄMIE</b>	61 (34,3%)	27 (29,7%)	16 (15,8%)	0,41
<b>DIABETES MELLITUS</b>	14 (7,9%)	4 (4,4%)	5 (4,9%)	0,65
<b>KONGENITAL ERWORBENE HERZFEHLER</b>	7 (3,9%)	0	3 (3,0%)	0,16
<b>NIERENINSUFFIZIENZ</b>	10 (5,6%)	13 (14,3%)	14 (13,9%)	0,02

## 2.4 OPERATIVE VORBEREITUNG

Alle Patienten wurden nach der entsprechenden Prämedikation intubiert und mit peripheren sowie zentralen Zugängen ausgestattet. Bei allen Patienten wurde routinemäßig auch eine transösophageale (TEE) -Sonde gelegt und prä- sowie intraoperative echokardiographische Kontrollen durchgeführt.

## 2.5 OPERATIVER ABLAUF

---

Nach sterilem Abwaschen erfolgte der operative Zugang über eine mediane Sternotomie. Alle Operationen wurden unter Einsatz der Herz-Lungen-Maschine durchgeführt. Bei Eingriffen, die sich auf die Aortenklappe und die Aortenwurzel beschränkten, erfolgte die arterielle Kanülierung im proximalen Aortenbogen und die venöse Kanülierung über den rechten Vorhof mit Kühlung auf 32°C. Bei Eingriffen bei denen auch der Aortenbogen saniert werden musste, wurde die arterielle Kanülierung in der A. femoralis oder A. subclavia platziert. Der Ersatz des Aortenbogens erfolgte in tiefer Hypothermie (24°C) und Kreislaufstillstand, mit selektiver antegraden Kopfperfusion. Als Kardioplegie wurde kalte kristalloide Lösungen nach Bretschneider (Custodiol - Dr. Köller Chemie, Germany) antegrad infundiert und deren Applikation alle 60 Minuten wiederholt. Alle Patienten erhielten eine perioperative antibiotische Prophylaxe mit Ceforuxim, die über 3 Tage weitergeführt wurde.

## 2.6 POSTOPERATIVE BEHANDLUNG

---

Patienten mit einem klappenerhaltenen Wurzelersatz erhielten postoperativ keine orale Antikoagulation. Patienten bei denen eine Bentall Operation mit biologischer klappentragender Gefäßprothese durchgeführt wurde, erhielten postoperativ eine orale Antikoagulation für einen Zeitraum von 3 Monaten, mit einem Ziel INR von 2,5-3,0. Patienten bei denen eine Bentall Operation mit einer mechanischen klappentragender Gefäßprothese durchgeführt wurde, erhielten lebenslang eine orale Antikoagulation mit einem Ziel-INR zwischen 2,5 und 3,5.

## 2.7 OPERATIVE TECHNIKEN

---

Die operative Strategie der Behandlung des Aneurysmas der Aortenwurzel, basierte zu Beginn des Einschlusszeitraums auf der Expertise des Operateurs mit den verschiedenen Wurzelersatztechniken. Darüber hinaus wurde ein klappenerhaltener Wurzelersatz nur bei Patienten mit einer morphologisch intakten trikuspiden Aortenklappe und meist höchstens mittelgradiger Aorteninsuffizienz durchgeführt und nur bei elektiven Eingriffen. Als Folge der guten Ergebnisse, wurde in den letzten

Jahren die Indikationsstellung für eine klappenerhaltende Operation zunehmend erweitert. Dementsprechend wurden klappenerhaltene Verfahren auch bei Patienten mit einer bikuspiden Aortenklappe, mit höhergradiger Insuffizienz oder sogar morphologisch geringgradig veränderten Taschen durchgeführt.

---

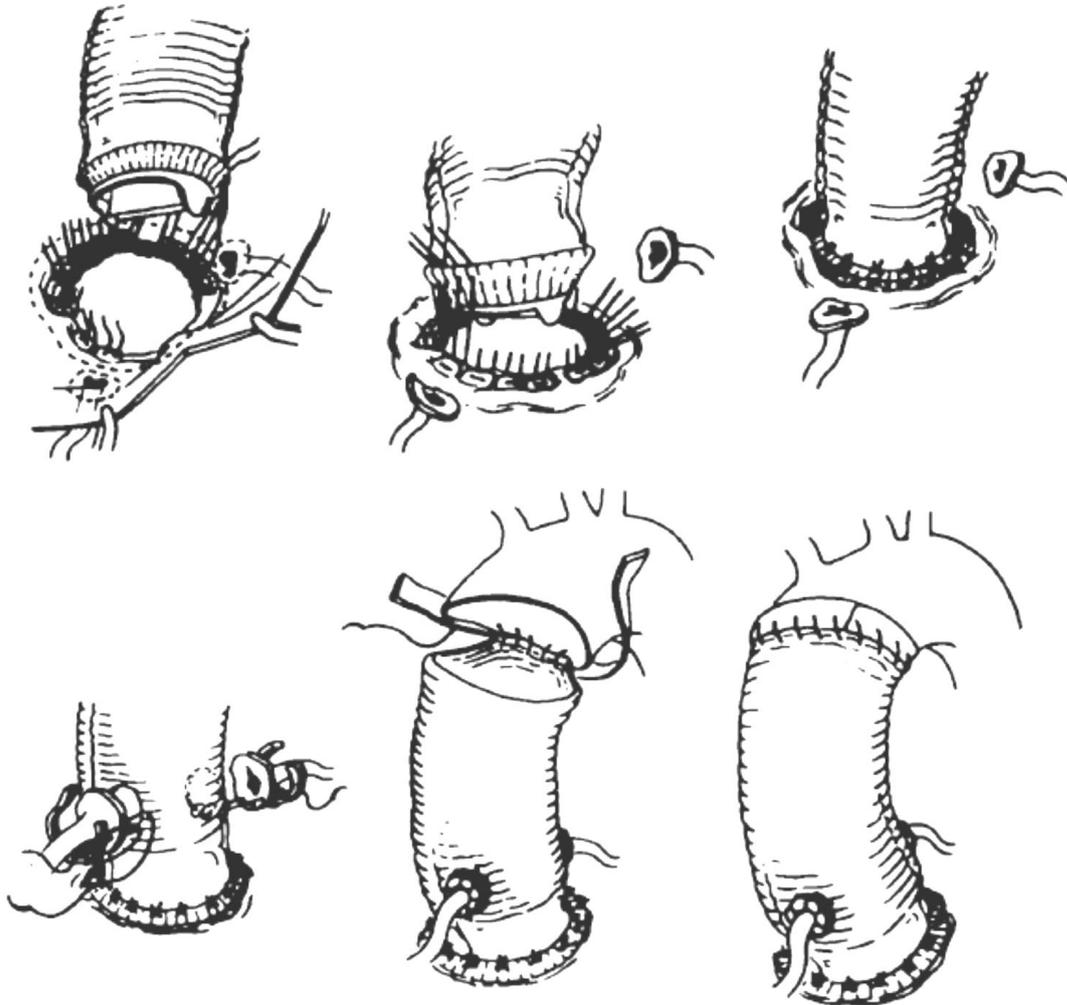
### 2.7.1 OPERATION NACH BENTALL

---

Die erstmals durch Bentall und Bono (1968) beschriebene Operationstechnik, besteht aus einem kombinierten Ersatz der Aortenklappe und der Aorta ascendens durch eine klappentragende Gefäßprothese. Dabei wird die erkrankte Aortenklappe und Aortenwurzel exzidiert und die klappentragende Prothese im Aortenannulus fixiert. Nach der Originalmethode werden die Koronarostien in Kontinuität mit der Aortenwand reimplantiert. Bei der „modifizierten“ Bentall Operation [1, 29, 30], die auch als „Button“-Technik bekannt ist, werden die Koronarostien zunächst als Buttons exzidiert. Teflon armierte Nähte werden durch den Aortenklappenannulus vorgelegt und werden anschließend fortlaufend durch den Nahring der klappentragenden Gefäßprothese gestochen. Annulus und Basis der Prothese werden miteinander fest eingeknotet. Es folgt die Reimplantation der Koronarostien in die Prothese. So entsteht eine spannungsfreie Verbindung zwischen Gefäßprothese und Koronarostien wodurch das Risiko der Entstehung eines Pseudoaneurysmas auf das geringste minimiert wird. Die Gefäßprothese wird schließlich mit der distalen Aorta End-zu-End anastomosiert (Abb.3).

In unserer Studie wurde bei 192 Patienten eine „modifizierte“ Bentall Operation durchgeführt, davon erhielten 91 Patienten eine biologische klappentragende Gefäßprothese und 101 Patienten eine mechanische klappentragende Gefäßprothese.

**Abbildung 3** „Modifizierte“ Bentall Operation („Button Technique“). Darstellung der chirurgischen Vorgehensweise. Die Koronarostien werden trompetenförmig ausgeschnitten und in die Prothese reimplantiert [1]



---

### 2.7.2 KLAPPENERHALTENDE VERFAHREN

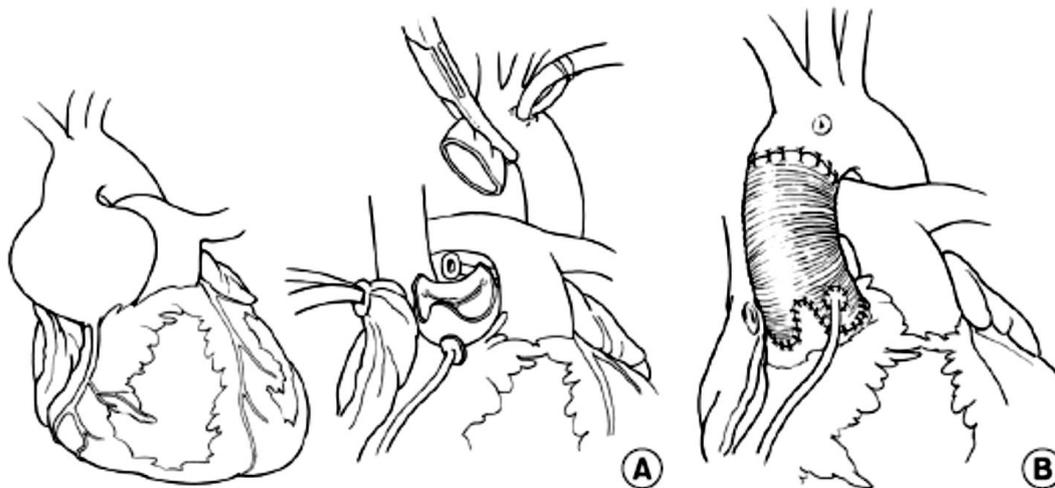
---

In der Gruppe der Patienten die ein klappenerhaltenes Verfahren erhielten, wurde in unserem Studienkollektiv bei 26 Patienten (14,6%) eine Remodelierung der Aortenwurzel nach Yacoub durchgeführt und bei 152 Patienten (85,4%) eine Reimplantation der Aortenklappe nach David. Für die Auswahl des Operationsverfahrens wurden keine speziellen klinischen oder echokardiographischen Parameter angewandt.

### 2.7.2.1 OPERATION NACH YACOUB

---

Bei dem klappenerhaltenen Verfahren nach Yacoub wird die gesamte Aortenwurzel reseziert. Anschließend wird eine Prothese zungenförmig zugeschnitten, so dass drei neue Sinus Valsalvae aus der Prothese entstehen. Diese werden dann direkt an den Aortenklappenannulus mit fortlaufender Naht genäht (Abb. 4). Auf diesem Weg wird die anatomische Form der Wurzel nachgebildet und die Funktionalität der Wurzel erhalten. Abschließend erfolgen die Reinsertation der Koronararterien und die End-zu-End Anastomosierung der Prothese mit der distalen Aorta [11-13, 31].



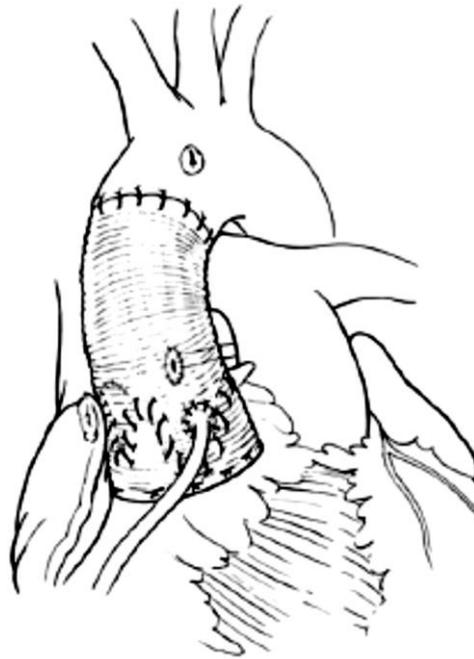
**Abbildung 4** Remodelierung der Aortenwurzel nach Yacoub. Die drei sinus valsalvae werden reseziert (A). Anschließend wird die zungenförmig zugeschnittene Rohrprothese an den Aortenklappenannulus genäht und die Koronarostien reimplantiert (B)[3]

### 2.7.2.2 OPERATION NACH DAVID

---

Bei dem klappenerhaltenen Verfahren nach David, wird die Aortenwurzel einschließlich der Klappensinus unter Umschneidung der Koronarostien vom Klappenhalteapparat abgetrennt und reseziert. Eine Rohrprothese wird über die Klappe gestülpt und mittels subanulär, von innen nach außen gestochener, filzverstärkter Nähte fixiert (Abb. 5). Die mobilisierten nativen Aortenklappensegel, welche an den Kommissuren aufgehängt sind, werden in die Rohrprothese eingenäht. Die Koronararterien werden in die Prothese reinseriert und die Gefäßprothese wird End-zu-End mit der distalen Aorta ascendens vernäht [10].

**Abbildung 5** Reimplantation der Aortenklappe. Klappenerhaltender Aortenwurzelsatz nach David. Die drei Sinus valsalvae werden wie in Abb. 4 reseziert. Unterschiedlich als bei der Yacoub Operation wird hier die Prothese über die Klappe gestülpt und fixiert. anschließend werden die Koronarostien reinsertiert [3]



## 2.8 BEOBACHTUNGSZEITRAUM / UNTERSUCHUNGEN

---

Bei den Patienten der Gruppe A (klappenerhaltender Aortenwurzelsatz) wurde konsequent eine jährliche Nachsorgeuntersuchung durchgeführt. Die Abschließende Nachsorgeuntersuchung der Patienten aller Gruppen wurde durch telefonische Befragung der Patienten oder deren behandelnde Kardiologen durchgeführt. Ebenso wurden Daten anhand eines zugesandten Fragebogens erhoben. Klinische und echokardiographische Befunde wurden durch den behandelnden Kardiologen oder bei Untersuchung in unserer Klinik erhoben. Während des Beobachtungszeitraums wurden Daten wie Elektrokardiographie, Doppler Echokardiographie und Daten zum klinischen Zustand erhoben. Die Nachbeobachtung konnte in 91,4% der Patienten abgeschlossen werden. Der mittlere Beobachtungszeitraum betrug 4,3 Jahre (der Bereich erstreckte sich zwischen einem Monat und 12 Jahre), was einem gesamten Beobachtungszeitraum von 1551,4 Patientenjahren entspricht. Der Funktionsstatus wurde gemäß der New York Heart Association (NYHA) Klassifizierung bestimmt. Die Todesursachen wurden aus Aufzeichnungen in den Patientenakten oder der Hauseigenen Datenbank entnommen.

## 2.9 STATISTISCHE ANALYSE

---

Kontinuierliche Daten wurden als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung und kategoriale Variablen wurden als absolute und relative Häufigkeiten angegeben. Für die Berechnung der p-Werte zum Vergleich einzelner Operationstechniken wurde für die qualitativen Variablen der Fischer-Exakt- und für die quantitativen Variablen der Kruskal-Wallis-Test angewandt. Die geschätzten Freiheitsraten von den definierten Endpunkten (Überleben, Reoperation, schwerwiegende Blutungen, neurologische oder thromboembolische Ereignisse) wurden als Kaplan-Meier-Kurve graphisch dargestellt. Zur Identifikation univariater bzw. multivariater Prädiktoren für Sterblichkeit und Reoperation wurde eine COX-Regressionsanalyse erstellt. Dabei wurde ein p-Wert von  $\leq 0,05$  als signifikantes Ergebnis definiert. Die statistischen Berechnungen erfolgten mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS 21.0 für Windows.

## 3. ERGEBNISSE

---

### 3.1 OPERATIVE DATEN

---

#### *Auswahl des Prothesentyps in den verschiedenen Untergruppen*

In der Gruppe der Patienten die eine Bentall Operation mit einer biologischen klappentragenden Gefäßprothese erhielten (n=91), wurde bei 53 Patienten eine Biovalsalva™ klappentragende Gefäßprothese (Vascutet, Renfrewshire, UK) implantiert. Eine Hancock™ klappentragende Gefäßprothese (Medtronic, Minneapolis, MN, USA) erhielten 26 Patienten und in 12 Fällen wurde eine Toronto Root™ klappentragende Prothese (SJM, St. Paul, Minnesota, USA) implantiert (Abb. 7). In der Gruppe der Patienten die eine Bentall Operation mit einer mechanischen klappentragenden Gefäßprothese erhielten (n=101), wurde in 86 Fällen ein St. Jude Medical™ Prothese (SJM, St. Paul, MN, USA) und bei 15 Patienten eine Carbomedics™ Carbo-Seal klappentragende Gefäßprothese der Firma Sorin (Sorin, Milano, Italy) eingesetzt (Abb.8). In der Patientengruppe die eine klappenerhaltende Operation erhielten (n=178), wurde bei 126 Patienten eine Vascutek Gelweave Valsalva™ Prothese (Vascutek, Renfrewshire, UK) verwendet. Eine Hemashield™ Prothese (Maquet, Rastatt, Germany) wurde bei 50 Patienten eingesetzt und 2 Patienten erhielten eine Braun Uni-Graft W™ Prothese (B. Braun Melsungen, Melsungen, Germany) (Abb.6).

#### *Begleitoperationen*

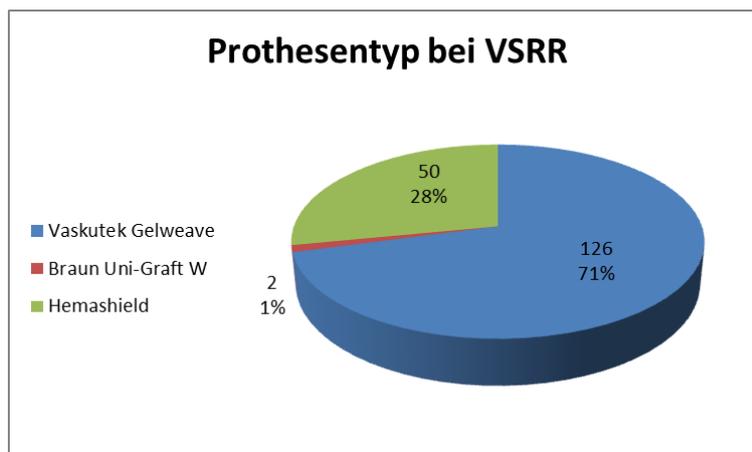
Bei 138 Patienten aus dem Studienkollektiv mit insgesamt 370 Patienten wurden zusätzlich ein oder mehrere Begleiteingriffe durchgeführt. Eine Bypassoperation erhielten 60 Patienten (16,2%), ein begleitender Eingriff an der Mitralklappe wurde bei 15 Patienten durchgeführt (4,1%), eine Trikuspidalklappenoperation (Ersatz oder Rekonstruktion) bei 6 Patienten (1,6%). Eingriffe am Aortenbogen (Komplett- oder Teilbogenersatz) wurde an 52 Patienten durchgeführt (14,1%). Eine subvalvuläre Myektomie erhielten 17 (4,6%) und einen VSD oder ASD Verschluss erhielten 5 Patienten. Schließlich wurde bei 7 Patienten ein antegrades Stenting der Aorta descendens durchgeführt (1,9%). Die Anzahl der Bypassoperationen bezieht sich nicht nur auf Patienten die eine Koronare Herzerkrankung hatten, sondern auch auf

Patienten bei denen wegen der Typ A Dissektion eine Pathologie an den Koronarien festgestellt wurde (Tabelle 4).

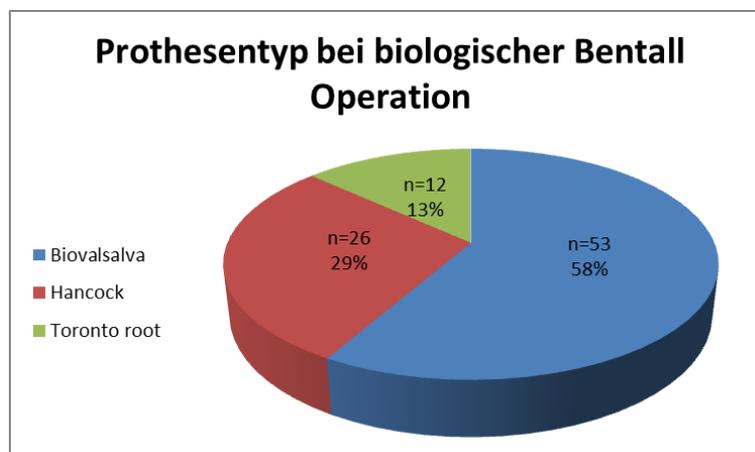
### Operationszeiten

Die mittlere Bypass Zeit betrug im Gesamtkollektiv 165±57 Minuten. Im Einzelnen betrug die mittlere Abklemmzeit 128±28 Minuten in der Gruppe A (VSRR), 118±43 Minuten in der Gruppe B (Bentall OP mit biologischer klappentragender Gefäßprothese) und 115±39 Minuten in der Gruppe C (Bentall OP mit mechanischer klappentragender Gefäßprothese) ( $p < 0,01$ ). Die mittlere Bypasszeit betrug im Gesamtkollektiv 122±35 Minuten und im Einzelnen 166±47 Minuten in der Gruppe A, 170±70 in der Gruppe B und 158±61 Minuten in der Gruppe C ( $p = 0,32$ ) (Tabelle 4).

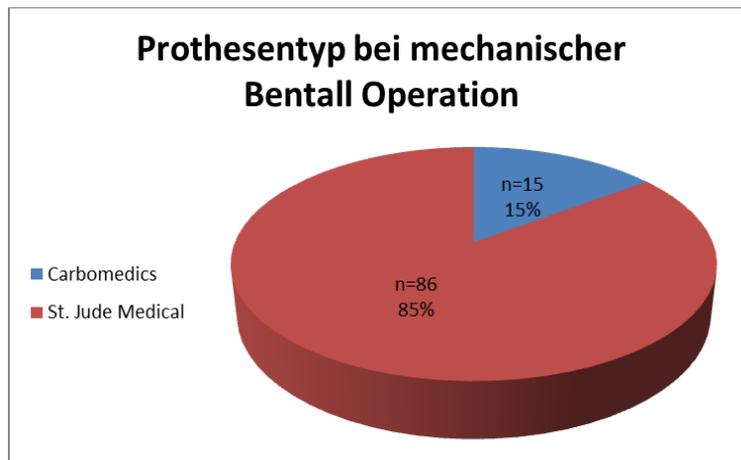
**Abbildung 6** Prothesenwahl bei VSRR (Klappenerhaltender Aortenwurzelersatz nach David oder Yacoub)-**Gruppe A**



**Abbildung 7** Prothesenwahl bei Bentall Operation mit biologischer klappentragender Gefäßprothese-**Gruppe B**



**Abbildung 8** Prothesenwahl bei Bentall Operation mit mechanischer klappentragender Gefäßprothese-Gruppe C



**Tabelle 4** Zusammenfassung der Operativen Daten

	GRUPPE A	GRUPPE B	GRUPPE C	P-VALUE
<b>ANZAHL DER PATIENTEN</b>	178	91	101	
<b>NOTFALLEINGRIFFE</b>	14 (7,9%)	25 (27,5%)	24 (23,8%)	<0,01
<b>MITTLERE ABKLEMMZEIT (MIN.)</b>	128.02 ± 27.61	117.86 ± 43.36	115.35 ± 39.13	<0,01
<b>MITTELWERT (STREUUNG)</b>	127 (56–227)	105.5 (56–310)	107 (66–274)	
<b>BYPASSZEIT (MIN.)</b>	166 ± 47	170.46 ± 69.95	158.08 ± 60.83	0,32
<b>MITTELWERT (STREUUNG)</b>	160 (32–557)	150 (88–411)	139 (86–415)	
<b>BEGLEITEINGRIFFE</b>	45 (25.3%)	55 (60.4%)	38 (37.6%)	<0,01
<b>BYPASSOPERATION</b>	19 (10.7%)	30 (32.9%)	11 (10.9%)	<0,01
<b>AORTENBOGENERSATZ (ODER TEIL-)</b>	17 (9.6%)	20 (21.9%)	15 (14.9%)	0,02
<b>FROZEN ELEPHANT TRUNK</b>	1 (0.6%)	5 (5.5%)	15 (14.9%)	0,01
<b>MITRALKLAPPENEINGRIFF</b>	1 (0.6%)	8 (8.8%)	6 (5.9%)	<0,01
<b>TRIKUSPIDALKLAPPENEINGRIFF</b>	1 (0.6%)	2 (2.2%)	3 (2.9%)	0,27
<b>ANDERE</b>	6 (3.4%)	2 (2.2%)	3 (2.9%)	0,29
<b>RE-OPERATION BEI BLUTUNG</b>	12 (6.7%)	8 (8.8%)	16 (15.8%)	0,03

---

## 3.2 ÜBERLEBEN

---

---

### 3.2.1 TODESURSACHEN

---

In der gesamten Studiengruppe gab es drei intraoperative Todesfälle, bei denen es sich um Patienten mit einer akuten Typ A Dissektion handelte. Zwei von diesen Patienten erhielten eine modifizierte Bentall Operation mit einer biologischen klappentragenden Gefäßprothese und ein Patient erhielt einen klappenerhaltenen Aortenwurzelersatz. Alle drei Patienten wiesen eine ausgeprägte Dissektion der Aortenwand mit extrem zerbrechlichem Aortengewebe auf. Todesursache war bei allen drei Patienten eine massive und nicht kontrollierbare intraoperative Blutung.

Weitere 14 Patienten aus der gesamten Kohorte starben während des postoperativen klinischen Aufenthaltes. Folgende Pathologien wurden als Todesursache dokumentiert: akute Herzinsuffizienz (n=6), Ruptur der Aorta ascendens (n=1), neurologische Komplikationen / zerebrale Blutung (n=3), refraktäres Kammerflimmern (n=2) und elektromechanische Entkopplung (n=2). In 10 von diesen 14 frühpostoperativen Todesfällen wurde aufgrund einer akuten Typ-A Dissektion eine notfallmäßige Operation durchgeführt.

Während der Nachbeobachtungszeit wurden weitere 33 Todesfälle aufgezeichnet. Hier wurden folgende Todesursachen dokumentiert: schwere Herzinsuffizienz (n=10), Aortenruptur (n=1), neurologische Komplikationen / zerebrale Blutung (n=2), refraktäres Kammerflimmern (n=7), elektromechanische Entkopplung (n=2), Herzinfarkt-Komplikationen (n=2), plötzlicher Herztod (n=2), Multiorganversagen (n=5). Zwei Patienten die infolge eines nicht kardialen Grundes und ohne Zusammenhang zur Operation verstorben sind, wurden aus der Mortalitätsberechnung ausgeschlossen.

---

### 3.2.2 ÜBERLEBENS RATEN

---

Die errechnete Überlebensrate nach 5-Jahren im Gesamtkollektiv lag bei  $86,5 \pm 2,1\%$ . In den einzelnen Gruppen zeigte sich ein signifikanter Unterschied zugunsten der Patienten die eine klappenerhaltende Prozedur erhielten. Die 5-Jahres

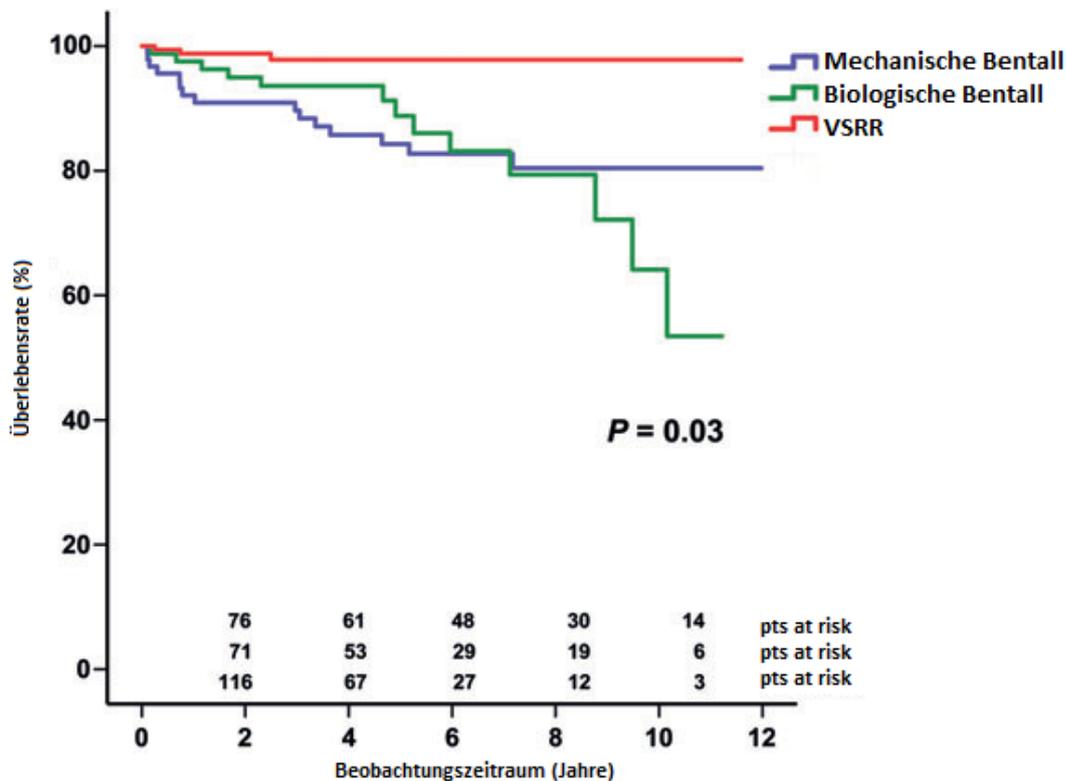
Überlebensraten für die unterschiedlichen Gruppen waren  $95,2 \pm 1,8\%$  für die Gruppe A,  $80,9 \pm 4,4\%$  für die Gruppe B und  $79,3 \pm 4,5\%$  für die Gruppe C ( $p < 0,01$ ; log-rank).

Dieser signifikante Unterschied zugunsten der VSRR Gruppe bestätigte sich auch in den Berechnungen in denen nur Patienten mit einem elektiven Eingriff einbezogen wurden. In diesem Fall war die errechnete Überlebensrate nach 5 Jahren  $96,1 \pm 1,8$  in der VSRR Gruppe,  $88,9 \pm 4,4$  in der Gruppe der Patienten die eine Bentall Operation mit biologischer klappentragender Gefäßprothese erhielten und  $82,3 \pm 4,9$  in der Gruppe der Patienten die eine mechanische klappentragende Gefäßprothese erhielten ( $p < 0,02$ ; log-rank).

Auch nach Ausschluss der intraoperativen und frühpostoperativen Todesfälle aus der Berechnung, blieb der Unterschied in der Überlebenswahrscheinlichkeit zwischen den Gruppen weiterhin signifikant. Demnach war die errechnete 5-Jahres-Überlebensrate nach Ausschluss der frühpostoperativen Todesfällen und nur für Patienten bei denen ein elektiver Eingriff durchgeführt wurde  $97,6 \pm 1,4\%$  in der Gruppe A,  $90,8 \pm 4,1\%$  in der Gruppe B und  $84,3 \pm 4,6\%$  in der Gruppe C (log-rank;  $p = 0,03$ ) (Abb.9). Auch im direkten Vergleich zwischen der klappenerhaltenen Prozedur und der modifizierten Bentall Operation mit einem mechanischen klappentragenden Gefäßprothese, blieb der Unterschied in der errechneten Überlebensrate signifikant zu Gunsten der VSRR ( $p < 0,01$ ).

In der univariaten Analyse wurden Voroperationen (Quotenverhältnis [engl. odds ratio-OR]: 3.00, Konfidenzintervall [95% KI] 1.166-5.748,  $p < 0,01$ ), notfallmäßige Operationen (OR: 3.52, 95% KI 1.931-6.423,  $p < 0,01$ ), Alter (OR: 1.023, 95% KI 1.003-1.043,  $p = 0,03$ ), Begleitoperationen (OR: 3.95, 95% KI 1.684-5.550,  $p < 0,01$ ) und die Abklemmzeit (OR: 1.10, 95% KI 1.006-1.019,  $p < 0,01$ ) als unabhängige Prädiktoren für die Sterblichkeit identifiziert. Ferner zeigte sich, dass klappenerhaltene Operationen eine signifikant höhere Überlebensrate vergleichbar mit den anderen Gruppen aufweisen. (HR: 0.158, 95% KI 0.062-0.402,  $p < 0,01$ ). In der multivariaten Analyse, bestätigten sich nur das Vorhandensein einer Voroperation (OR: 3.10, 95% KI 1.505-6.417,  $p < 0,01$ ) bzw. die Notwendigkeit einer notfallmäßigen Operation (OR: 2.24, 95% KI 1.129-4.480,  $p = 0,02$ ) als unabhängige Prädiktoren für eine erhöhte Mortalität. Auch in dieser Analyse, konnte eine Überlegenheit der klappenerhaltenen Operation, bezüglich der Überlebensrate, gegenüber den Vergleichsgruppen nachgewiesen werden (OR: 0.26, 95% KI 0.089-0.782,  $p = 0,02$ ).

Abbildung 9 Überlebensrate gemäß der angewandten Operationstechnik



### 3.3 REOPERATIONEN

#### 3.3.1 FRÜHPSTOPERATIVE RE-OPERATIONEN

Während des klinischen postoperativen Aufenthaltes mussten zwei Patienten reoperiert werden. Bei dem ersten Patienten wurde ursprünglich eine Operation nach Yacoub durchgeführt. Unmittelbar postoperativ kam es zu einer Myokardischämie mit schwerer Einschränkung der Ventrikelfunktion aufgrund einer Torsion der A. circumflexa. Zusätzlich entwickelte der Patient eine hochgradige postoperative Aortenklappeninsuffizienz. Elf Tage nach dem ersten Eingriff, wurde bei diesem Patienten eine modifizierte Bentall Operation mit einer mechanischen klappentragenden Gefäßprothese durchgeführt. Der zweite Patient unterzog sich ursprünglich einer klappenerhaltenen Operation nach David. Frühpostoperativ entwickelte der Patient erneut eine schwere Aortenklappeninsuffizienz und musste deshalb reoperiert werden. Bei diesen Patienten wurde ein mechanischer Aortenklappenersatz durchgeführt.

### 3.3.2 SPÄTPOSTOPERATIVE RE-OPERATIONEN

Nach ihrer Entlassung aus der Klinik mussten im Verlauf 12 Patienten aufgrund einer Dysfunktion der Aortenklappe reoperiert werden.

Bei acht davon wurde ursprünglich eine klappenerhaltene Operation durchgeführt (vier davon erhielten eine Operation nach David und vier einen klappenerhaltenen Wurzelersatz nach Yacoub). Zwei Patienten erhielten ursprünglich eine modifizierte Bentall Operation mit einer mechanischen Prothese und zwei Patienten eine Bentall Operation mit einer biologischen klappentragenden Gefäßprothese (Tabelle 5).

Alle 12 reoperierten Patienten waren bis zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung am Leben.

**Tabelle 5** Daten der reoperierten Patienten. (AAA: Aorta ascendens Ersatz. AI: Aorteninsuffizienz, SKAAE: Suprakoronarer Aorta ascendens Ersatz, b Bentall: biologische Bentall Operation, M Bentall: mechanische Bentall Operation, TAVI: Transkatheter Aortenklappenimplantation, B AKE: biologischer Aortenklappenersatz, M AKE: mechanischer Aortenklappenersatz, <sup>(1)</sup> in Jahren)

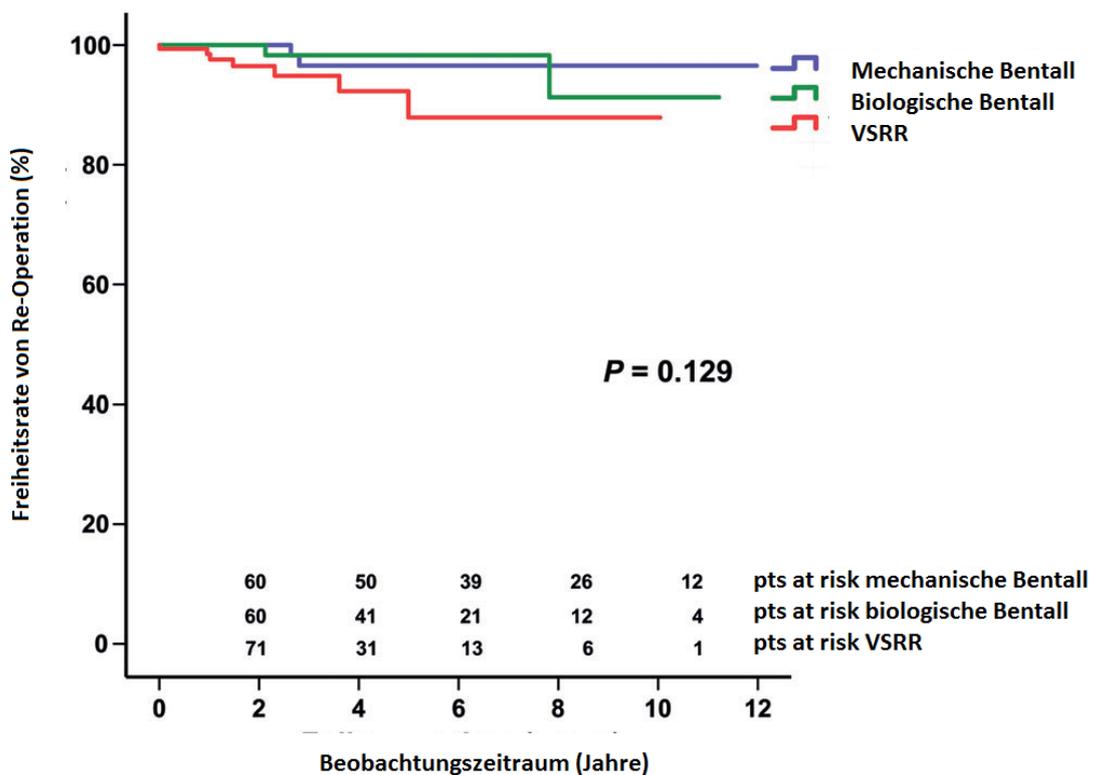
	Präoperative Diagnose	Präoperativer AI Grad	Marfan Patient	Operation	Grund für Reoperation	Re-OP	Zeitraum bis Re-OP <sup>1</sup>
<b>Patient 1</b>	AAA	Hochgradig	Nein	B Bentall	Hochgradige AI	TAVI	7,8
<b>Patient 2</b>	AAA	Hochgradig	Nein	B Bentall	Endokarditis	B AKE	2,1
<b>Patient 3</b>	AAA	Mittelgradig	Nein	M Bentall	Endokarditis	M Bentall	2,6
<b>Patient 4</b>	AI, Z.n. Yacoub	Hochgradig	Ja	M Bentall	Endokarditis	M Bentall	2,8
<b>Patient 5</b>	AI, AAA, Z.n.SKAAE	Mittelgradig	Nein	David	Hochgradige AI	B AKE	3,6
<b>Patient 6</b>	Typ A Dissektion	Hochgradig	Nein	David	Hochgradige AI	B AKE	1,4
<b>Patient 7</b>	AAA	Hochgradig	Nein	Yacoub	Mittelgradige AI	M AKE	1
<b>Patient 8</b>	Typ A Dissektion	Hochgradig	Ja	Yacoub	Hochgradige AI	M Bentall	2,3
<b>Patient 9</b>	AAA	Hochgradig	Ja	Yacoub	Mittelgradige AI	M AKE	1
<b>Patient 10</b>	AAA	Mittelgradig	Nein	Yacoub	Hochgradige AI	M AKE	5
<b>Patient 11</b>	AAA	Hochgradig	Nein	David	Hochgradige AI	B AKE	1
<b>Patient 12</b>	AAA	Hochgradig	Nein	David	Mittelgradige AI	B AKE	0,9

### 3.3.3 FREIHEIT VON RE-OPERATIONEN

Im Gesamtkollektiv betrug die 5-Jahres-Freiheitsrate von Re-Operationen an der Aortenklappe  $94,3 \pm 1,9\%$ . Ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ließ sich nicht nachweisen ( $p=0,13$ ). Die errechnete Freiheitsrate von einer Re-Operation nach 5 Jahren war in der Gruppe A  $87,9 \pm 5,4\%$ , in der Gruppe B  $98,3\%$  und in der Gruppe C  $96,6 \pm 2,4\%$ . (Abb.10)

In der univariaten Analyse wurden das Marfan Syndrom (OR: 3.38, 95% KI 1.040-11.004,  $p=0.04$ ) und die klappenerhaltene Operation (OR: 3.78, 95% KI 1.113-12.855,  $p=0.03$ ) als Prädiktoren für Re-Operationen an der Aortenklappe identifiziert, diese wurden jedoch nicht als unabhängige Prädiktoren in der multivariaten Cox Regressionsanalyse bestätigt.

Abbildung 10 Freiheitsrate von Re-Operationen



### 3.4 POSTOPERATIVE THROMBOEMBOLISCHE UND NEUROLOGISCHE EREIGNISSE

---

Anhand der Kaplan-Meier-Kurve wurden die Freiheitsraten von thromboembolischen und neurologischen Ereignissen und der Endokarditis berechnet. Die geschätzte Freiheitsrate von thromboembolischen Ereignissen zwischen den unterschiedlichen Gruppen zeigte keinen signifikanten Unterschied ( $p=0,53$ ). Die geschätzte 5-Jahres-Freiheitsrate von thromboembolischen Ereignissen war  $93,6\pm 2,0\%$  in der gesamten Studienpopulation. Auch die Freiheitsrate von insgesamt neurologischen Komplikationen zeigte zwischen den Gruppen keinen signifikanten Unterschied ( $p=0,93$ ). Die errechnete 5-Jahres-Freiheitsrate von neurologischen Ereignissen in der Gesamtpopulation betrug  $91,5\pm 2,0\%$ .

### 3.5 POSTOPERATIVE ENDOKARDITIS

---

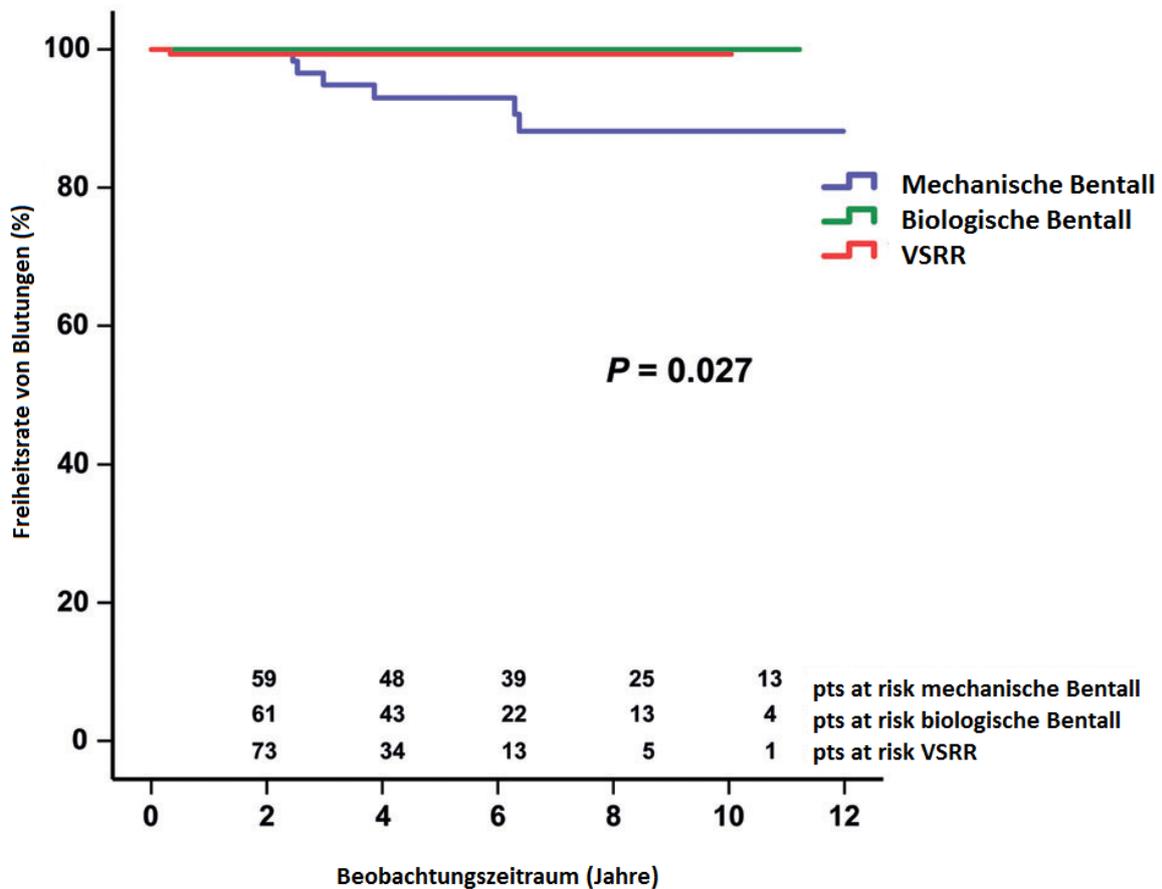
Die Errechnete Freiheitsrate von Endokarditis im Nachbeobachtungszeitraum betrug im Gesamtkollektiv  $96,1\pm 1,5\%$ . Ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den unterschiedlichen Gruppen konnten nicht nachgewiesen werden ( $p=0,46$ ).

### 3.6 BLUTUNGEN WÄHREND DER NACHBEOBACHTUNGSZEIT

---

Die Freiheitsrate von schwerwiegenden Blutungen während der Nachbeobachtungszeit betrug im Gesamtkollektiv  $97,2\pm 1,3\%$ . Im Gruppenvergleich zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied zu Lasten der Patienten die eine Bentall Operation mit einer mechanischen klappentragender Gefäßprothese erhielten ( $p=0,03$ ). Im Einzelnen betrug die Freiheitsrate von Blutungen  $99,3\pm 0,7\%$  in der Gruppe der Patienten die einen klappenerhaltenen Aortenwurzelersatz erhielten,  $100\%$  in der Gruppe der Patienten die eine Bentall Operation mit einer biologischen klappentragenden Gefäßprothese erhielten und  $93\pm 3,4\%$  in der Gruppe der Patienten die eine Bentall Operation mit einer mechanischen klappentragender Gefäßprothese erhielten (Abb. 11).

Abbildung 11 Freiheitsrate von Blutungen (Nachbeobachtungszeit)



### 3.7 AORTENKLAPPENFUNKTION

Zum Zeitpunkt der letzten echokardiographischen Nachuntersuchung hatten 35,9% der überlebenden Patienten keine Aortenklappeninsuffizienz. Eine Aortenklappeninsuffizienz Grad I° war bei 43,6% der Patienten vorhanden und eine Aortenklappeninsuffizienz Grad II° bei 10,25% der Patienten. Zu den restlichen Patienten (10,25%) lagen uns keine oder unzureichende echokardiographische Daten vor. Aus den erhobenen Daten konnte bei keinem Patienten aus dem Studienkollektiv eine signifikante Aortenklappenstenose nachgewiesen werden.

## 4. DISKUSSION

---

Die Bentall-Operation stellt die chirurgische Standardtherapie zur Behandlung von Patienten mit Dilatation oder Dissektion der Aortenwurzel dar [20, 25]. Dabei wird der betroffene Teil der Aorta ascendens und die Aortenklappe durch eine klappentragende Gefäßprothese ersetzt, die entweder eine mechanische oder biologische Aortenklappenprothese trägt. Klappenprothesen haben jedoch Nachteile: bei mechanischen Prothesen ist das vor allem die Notwendigkeit einer lebenslangen Antikoagulation, bei biologischen Prothesen die Gefahr der Klappendegeneration. Um diese Nachteile zu vermeiden, wurden als Alternative zur Bentall Operation klappenerhaltene Prozeduren entwickelt.

Die am häufigsten durchgeführten klappenerhaltenden Wurzelersatzverfahren sind die Remodelierung der Aortenwurzel nach Yacoub und die Reimplantation der Aortenklappe nach David. Ziel dieser Operationstechniken ist der Erhalt der nativen Aortenklappe, um die hämodynamische Überlegenheit im Vergleich zur mechanischen oder biologischen Aortenklappenprothese aufrecht zu erhalten. Diese Verfahren stellen insbesondere für junge Patienten eine Alternative dar, um auf eine lebenslange Antikoagulation zu verzichten, weil in dieser Altersgruppe vorwiegend mechanischer Klappenprothesen zum Einsatz kommen. Die Frage ob die Bentall Operation oder klappenerhaltende Operationstechniken zur Behandlung von Aortenwurzelpathologien vorteilhafter sind, wird derzeit noch kontrovers diskutiert. Zur Beantwortung dieser Frage sind insbesondere die Langzeitergebnisse der Verfahren von Bedeutung. Hierzu gibt es bisher aber nur sehr wenige Untersuchungen, so dass mit der vorliegenden Studie zur Klärung diese Frage beigetragen werden sollte.

Untersucht wurde ein Gesamtkollektiv von 370 Patienten. In unserer Studie zeigte sich eine statistisch signifikant höhere Überlebensrate bei Patienten mit klappenerhaltendem Aortenwurzelersatz. Als unabhängige Prädiktoren für eine höhere Mortalität wurden Notfalloperationen und Reoperationen identifiziert. Obwohl das Marfan Syndrom und der klappenerhaltene Aortenwurzelersatz als univariable Prädiktoren für Reoperationen identifiziert wurden, konnten diese beiden Faktoren in der statistischen Analyse nicht als unabhängige Risikofaktoren für eine Reoperation

an der Aortenklappe bestätigt werden. Die von vielen Chirurgen postulierte Vermutung die Notwendigkeit der Reoperation sei nach klappenerhaltender Operation erhöht, wurde in unserer Studie widerlegt.

Der Unterschied der Gruppe B (Bentall Operation mit biologischer klappentragender Gefäßprothese) zu den anderen Patienten der Gruppe A und C die insgesamt jünger waren, könnte den statischen Vergleich zwischen klappenerhaltenden Prozeduren und der Bentall Operation mit einer biologischen Prothese schwächen. Allerdings waren die übrigen präoperativen Ausgangsdaten nahezu identisch, so dass der statistische Vergleich der Gruppen trotzdem berechtigt erscheint. Verglichen mit bisherigen Studien war mit 370 Patienten die Zahl der untersuchten Patienten in unserer Studie relativ hoch. Weiterhin war der relative Anteil an Patienten, die einen klappenerhaltenden Eingriff erhielten mit 48 % weitaus höher als in allen bisher veröffentlichten Studien zu diesem Thema.

Die Arbeitsgruppe von Lim untersuchte 120 Patienten mit dilatierter Aortenwurzel und mittel- bis hochgradiger Aortenklappeninsuffizienz [32]. Achtundvierzig Patienten erhielten einen klappenerhaltenen Aortenwurzelerersatz (VSRR) und 72 Patienten eine Bentall Operation. Der mittlere Beobachtungszeitraum betrug 4,9 Jahren. In den Berechnungen zeigte sich kein signifikanter Unterschied in der 5-Jahres-Überlebensrate ( $88,4 \pm 5,2\%$  in der Bentall Gruppe und  $90,8 \pm 4,4\%$  in der VSRR Gruppe) sowie in den klappenbezogenen Komplikationen. Angesichts der Tatsache, dass in der Gruppe der Patienten die einen klappenerhaltenden Aortenwurzelerersatz erhielten, die Re-Operationsrate höher war, sprach die Arbeitsgruppe von Lim keine Empfehlung für dieses Verfahren aus. Wichtiger Punkt in dieser Studie ist, dass in der VSRR Gruppe nur 10 Patienten tatsächlich einen klappenerhaltenden Aortenwurzelerersatz nach David erhielten. Bei den restlichen 38 Patienten wurde lediglich eine Reduktion des sinutubulären Übergangs durchgeführt. Diese Technik kann kurzfristig zu einem guten Ergebnis führen, jedoch bleibt mittel- bis langfristig das Risiko für das Auftreten einer erneuten Aortenklappeninsuffizienz hoch, weil ohne Ersatz der Aortenwurzel eine sichere Stabilisierung des Aortenklappenringes fehlt.

Die Arbeitsgruppe von Kallenbach untersuchte 548 Patienten, die in vier Gruppen eingeteilt wurden [30]: 298 Patienten (54%) erhielten eine Bentall Operation, 154 (28%) einen suprakoronaren Aortenklappenersatz mit oder ohne begleitenden Aortenklappenersatz, 96 Patienten (21%) erhielten einen klappenerhaltenen Aortenwurzelersatz nach David und 13 Patienten (3%) eine Yacoub Operation. Es konnte gezeigt werden, dass die Faktoren Alter, Geschlecht, Kreatinin Spiegel, NYHA Klasse und eine COPD zum Zeitpunkt der Operation, Risikofaktoren für eine erhöhte Mortalität im Langzeitverlauf darstellen [33]. Die 5-, 10- und 15-Jahres Gesamtmortalität betrug jeweils  $91\pm 1,5\%$ ,  $78\pm 3,8\%$  und  $69\pm 5,7\%$ . Die Kaplan Mayer Analyse zeigte die beste Überlebensrate in der Gruppe mit David-Operation. Allerdings entschieden sich die Autoren, die Langzeitüberlebensdaten aufgrund der Heterogenität der Patienten und des unterschiedlich langen Beobachtungszeitraums, nicht zu vergleichen. Es besteht auch die Frage, ob ein Vergleich von Patienten mit suprakoronar dilatierter Aorta ascendens mit solchen die zusätzlich eine aneurysmatische Aortenwurzel zeigen, gerechtfertigt ist. Denn in den meisten Fällen ist die Dilatation der Aortenwurzel mit einer Aortenklappeninsuffizienz assoziiert, was Auswirkungen auf die Funktion des linken Ventrikels hat. Darüber hinaus stellt der Aortenwurzelersatz einen wesentlich komplexeren chirurgischen Eingriff dar. Weiterhin differenzierten die Autoren nicht, ob die Bentall Operation mit mechanischer oder biologischer Klappe durchgeführt wurde. Angesichts dieser Limitationen konnte die Arbeitsgruppe von Kallenbach aus ihren Ergebnissen lediglich schlussfolgern, dass die Wahl der Therapiestrategie bei jedem Patienten individuell auf dem Boden der zugrundeliegenden Pathologie getroffen werden sollte.

In einer weiteren Studie, verglichen Franke und seine Arbeitsgruppe die Daten von 143 Patienten die entweder eine Bentall Operation (n=67) oder eine David Operation (n=76) erhielten [34]. Dabei zeigte sich eine höhere 3-Jahres Überlebensrate in der Gruppe der Patienten die eine David Operation erhielten (91,9% vs. 81,1%,  $p=0,146$ ). Außerdem konnte eine signifikant höhere Inzidenz von schwerwiegenden unerwünschten Ereignissen in der Gruppe der Patienten die eine Bentall Operation erhielten nachgewiesen werden (28,35 vs. 10,8%,  $p=0,008$ ). Die Arbeitsgruppe favorisierte daher die David Operation. Ein Schwachpunkt dieser Studie stellt jedoch die fehlende Differenzierung in der Bentall-Gruppe zwischen mechanischer und biologischer Gefäßprothese dar. Zudem waren in der Bentall Gruppe nicht nur

Aortenklappen mit Insuffizienz, sondern auch 21 Patienten mit einer Aortenklappenstenose.

In einer weiteren Studie von Dias und seinen Mitarbeitern, wurden 164 Patienten untersucht, die entweder eine Bentall Operation mit mechanischer klappentragender Gefäßprothese (n=129) oder eine klappenerhaltende Operation (n=39) erhielten [35]. Dabei konnte eine signifikant höhere Frühmortalität in der mechanischen Bentall Gruppe gezeigt werden. Die 7-Jahres Überlebensrate war für Patienten die eine klappenerhaltene Operation erhielten mit 93,5% höher als in der Bentall Gruppe mit einer mechanischen Klappe (77,6%). Dieser Unterschied war jedoch statistisch nicht signifikant. In der Gruppe der Patienten mit mechanischer Bentall Operation konnten hingegen signifikant höhere Raten an klappenbezogenen Komplikationen nachgewiesen werden. Aus diesen Ergebnissen zogen die Autoren die Schlussfolgerung, dass die Überlegenheit der klappenerhaltenen Verfahren sich vor allem durch den Wegfall klappenbezogener Komplikationen wie z.B. Blutungen oder thromboembolische Ereignisse, ableitet.

In unserer Studie konnte ebenfalls eine signifikant höhere Rate an schwerwiegenden Blutungen in der Gruppe der Patienten die eine Bentall Operation mit einer mechanischen Prothese erhielten, nachgewiesen werden. Auch bei korrekter Einhaltung der Antikoagulationstherapie, mit Selbstbestimmung der Gerinnungswerte und optimaler Einstellung, spielen Blutungskomplikationen bei Patienten nach Bentall-OP mit mechanischer Klappenprothese weiterhin eine bedeutende Rolle. Daher vertreten wir die Ansicht, klappenerhaltende Eingriffe zu favorisieren. Falls dies nicht möglich ist, sollte zur Vermeidung von Blutungskomplikationen auch bei Patienten die jünger als 65 Jahre sind, der Einsatz einer biologischen Klappe evaluiert werden. Dieses Vorgehen rechtfertigt sich auch aus der neuerlichen Möglichkeit der kathetergestützten Aortenklappenimplantation. Im Falle der Degeneration einer biologischen Klappe, kann mittlerweile in den meisten Fällen interventionell eine „Valve-in-Valve“ Implantation erfolgreich durchgeführt werden.

Die vorliegende Arbeit hatte als retrospektive Untersuchung folgende Limitationen: Die Verteilung der Fallzahlen auf die einzelnen Gruppen war relativ heterogen mit unterschiedlich langen Nachbeobachtungszeiträumen. Die echographischen Nachuntersuchungen wurden nicht in allen Fällen in unserer Klinik durchgeführt und

waren teilweise lückenhaft. Die Operationen wurden von einer relativ großen Gruppe von Operateuren durchgeführt, wobei die Entscheidung für ein bestimmtes Verfahren in vielen Fällen von der individuellen Erfahrung des einzelnen Chirurgen abhing. Letztendlich war die Rückantwortrate der Fragebögen nicht zu 100% vollständig.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Ergebnisse unserer Studie die Überlegenheit des klappenerhaltenen Aortenwurzelersatzes unterstützen. Somit sollte zur Behandlung von Aortenwurzelkrankungen, wenn technisch möglich, die klappenerhaltende Operation die Methode der ersten Wahl sein. Sollte eine Bentall-Operation unvermeidlich sein, so ist der Einsatz einer biologischen Klappe auch bei Patienten die jünger als 65 Jahre sind zu empfehlen, um Blutungskomplikationen zu vermeiden.

## 5. ZUSAMMENFASSUNG

---

Die „Bentall-Operation“ gilt als Standardverfahren zur Behandlung von Aortenwurzelpathologien, wobei der erkrankte Aortenabschnitt durch eine klappentragende Gefäßprothese, mit mechanischer oder biologischer Klappenprothese, ersetzt wird. Zur Vermeidung von Prothesen-assoziierten Komplikationen wurden als Alternative zur Bentall-Operation klappenerhaltende Techniken nach David bzw. Yacoub entwickelt.

Ziel der vorliegenden Studie war es, die Langzeitergebnisse der unterschiedlichen chirurgischen Methoden zur Behandlung der Aortenwurzelarterien-erweiterung zu vergleichen. Hierzu wurden in einem Gesamtkollektiv von 370 Patienten folgende OP-Techniken miteinander verglichen:

- Gruppe A : Klappenerhaltender Aortenwurzelersatz (VSRR, n=178)
- Gruppe B: Bentall OP mit biologischer klappentragender Gefäßprothese (n=101)
- Gruppe C: Bentall OP mit mechanischer klappentragender Gefäßprothese (n=91)

Alle Patienten wurden prä- sowie postoperativ echokardiographisch und klinisch untersucht. Die mittlere Nachbeobachtungszeit betrug 4.3 Jahre.

Die errechnete Überlebensrate nach 5-Jahren im Gesamtkollektiv betrug  $86,5 \pm 2,1\%$ . Im Gruppenvergleich zeigte sich ein signifikanter Unterschied zugunsten der Patienten die eine klappenerhaltende Prozedur erhielten (Gruppe A  $95,2 \pm 1,8\%$ , Gruppe B  $80,9 \pm 4,4\%$  und Gruppe C  $79,3 \pm 4,5\%$ ,  $p < 0,01$ ). Die Überlegenheit der klappenerhaltenden Verfahren bestätigte sich auch in den Berechnungen in denen nur Patienten mit einem elektiven Eingriff einbezogen wurden (Gruppe A  $96,1 \pm 1,8\%$ , Gruppe B  $88,9 \pm 4,4\%$  und Gruppe C  $82,3 \pm 4,9\%$ ,  $p < 0,02$ ).

Hinsichtlich der Freiheitsrate von Reoperationen zeigte sich zwischen den Gruppen kein signifikanter Unterschied (Gruppe A  $87,9 \pm 5,4\%$ , Gruppe B  $98,3\%$  und Gruppe C  $96,6 \pm 2,4\%$ ,  $p = 0,13$ ). Im Gesamtkollektiv betrug die errechnete Freiheitsrate von einer Reoperation nach 5 Jahren  $94,3 \pm 1,9\%$ .

Auch in den Endpunkten postoperative thromboembolische und neurologische Ereignisse sowie postoperative Endokarditis konnte in unseren Untersuchungen kein Unterschied zwischen den Gruppen nachgewiesen werden. Im Gesamtkollektiv

betrug die Freiheitsrate von thromboembolischen Ereignissen  $93,6\pm 2,0\%$ , von neurologischen Ereignissen  $91,5\pm 2,0\%$  und Endokarditiden  $96,1\pm 1,5\%$ .

Bezüglich der Freiheitsrate von schwerwiegenden Blutungen zeigte unsere Untersuchung einen signifikanten Unterschied zu Lasten der Patienten die eine Bentall Operation mit einer mechanischen klappentragender Gefäßprothese erhielten (Gruppe A  $99,3\pm 0,7\%$ , Gruppe B 100% und Gruppe C  $93,0\pm 3,4\%$ ,  $p=0.03$ ).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass klappenerhaltende Operationsverfahren zur Behandlung von Aortenwurzelerkrankungen im Vergleich zur Bentall Operation im Trend zu besseren Langzeitergebnissen führen und somit zu bevorzugen sind. Falls ein klappenerhaltender Eingriff nicht möglich ist, sollte die Bentall Operation aufgrund des signifikant geringeren Blutungsrisikos mit einer biologischen Klappenprothese durchgeführt werden.

## I. LITERATURVERZEICHNIS

---

- [1] Midulla PS, Ergin A, Galla J, Lansman SL, Sadeghi AM, Levy M et al. Three faces of the Bentall procedure. *Journal of cardiac surgery* 1994;9:466-81.
- [2] Underwood MJ, El Khoury G, Deronck D, Glineur D, Dion R. The aortic root: structure, function, and surgical reconstruction. *Heart (British Cardiac Society)* 2000;83:376-80.
- [3] David TE. Aortic valve sparing operations: a review. *The Korean journal of thoracic and cardiovascular surgery* 2012;45:205-12.
- [4] Cooley DA. The history of surgery of the thoracic aorta. *Cardiol Clin* 1999;17:609-13.
- [5] Cooley DA, De Bakey ME. Resection of entire ascending aorta in fusiform aneurysm using cardiac bypass. *Journal of the American Medical Association* 1956;162:1158-9.
- [6] Bentall H, De Bono A. A technique for complete replacement of the ascending aorta. *Thorax* 1968;23:338-9.
- [7] Grande KJ, Cochran RP, Reinhall PG, Kunzelman KS. Mechanisms of aortic valve incompetence: finite element modeling of aortic root dilatation. *The Annals of thoracic surgery* 2000;69:1851-7.
- [8] Stein PD. Mechanisms of opening of aortic valve. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery* 1980;79:473-4.
- [9] Waller BF, Howard J, Fess S. Pathology of aortic valve stenosis and pure aortic regurgitation: a clinical morphologic assessment--Part II. *Clinical cardiology* 1994;17:150-6.
- [10] David TE, Feindel CM. An aortic valve-sparing operation for patients with aortic incompetence and aneurysm of the ascending aorta. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery* 1992;103:617-21; discussion 22.

- [11] Fagan A, Yacoub M, Pillai R, Radley-Smith R. Dacron replacement of the ascending aorta and sinuses with resuspension of the aortic valve and re-implantation of the coronary arteries: a new method for treatment of aneurysmal or acute dissection of the aortic root. Proceedings of Joint International Cardiovascular and Thoracic Surgical Conference, Stockholm. Scand J Cardiothoracic Surg 1982.
- [12] Sarsam MA, Yacoub M. Remodeling of the aortic valve anulus. The Journal of thoracic and cardiovascular surgery 1993;105:435-8.
- [13] Yacoub M, Fagan A, Stassano P, Radley-Smith R. Results of valve conserving operations for aortic regurgitation. Circulation 1983;68:311-21.
- [14] Anderson RH. The surgical anatomy of the aortic root. Multimedia manual of cardiothoracic surgery : MMCTS / European Association for Cardio-Thoracic Surgery 2007;2007:mmcts.2006.002527.
- [15] Greim CA, Roewer N. Transösophageale Echokardiographie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag 2011:144.
- [16] Bachet J, Termignon JL, Goudot B, Dreyfus G, Piquois A, Brodaty D et al. Aortic root replacement with a composite graft. Factors influencing immediate and long-term results. European journal of cardio-thoracic surgery : official journal of the European Association for Cardio-thoracic Surgery 1996;10:207-13.
- [17] Birks EJ, Webb C, Child A, Radley-Smith R, Yacoub MH. Early and long-term results of a valve-sparing operation for Marfan syndrome. Circulation 1999;100:II29-35.
- [18] Gott VL, Greene PS, Alejo DE, Cameron DE, Naftel DC, Miller DC et al. Replacement of the aortic root in patients with Marfan's syndrome. The New England journal of medicine 1999;340:1307-13.
- [19] Gott VL, Laschinger JC, Cameron DE, Dietz HC, Greene PS, Gillinov AM et al. The Marfan syndrome and the cardiovascular surgeon. European journal of cardio-thoracic surgery : official journal of the European Association for Cardio-thoracic Surgery 1996;10:149-58.

- [20] Kouchoukos NT, Wareing TH, Murphy SF, Perrillo JB. Sixteen-year experience with aortic root replacement. Results of 172 operations. *Annals of surgery* 1991;214:308-18; discussion 18-20.
- [21] Safi HJ, Vinnerkvist A, Bhama JK, Miller CC, 3rd, Koussayer S, Haverich A. Aortic valve disease in Marfan syndrome. *Current opinion in cardiology* 1998;13:91-5.
- [22] Smith JA, Fann JI, Miller DC, Moore KA, DeAnda A, Jr., Mitchell RS et al. Surgical management of aortic dissection in patients with the Marfan syndrome. *Circulation* 1994;90:li235-42.
- [23] Etz CD, Homann TM, Silovitz D, Spielvogel D, Bodian CA, Luehr M et al. Long-term survival after the Bentall procedure in 206 patients with bicuspid aortic valve. *The Annals of thoracic surgery* 2007;84:1186-93; discussion 93-4.
- [24] Halstead JC, Spielvogel D, Meier DM, Rinke S, Bodian C, Malekan R et al. Composite aortic root replacement in acute type A dissection: time to rethink the indications? *European journal of cardio-thoracic surgery : official journal of the European Association for Cardio-thoracic Surgery* 2005;27:626-32; discussion 32-3.
- [25] Etz CD, Bischoff MS, Bodian C, Roder F, Brenner R, Griep RB et al. The Bentall procedure: is it the gold standard? A series of 597 consecutive cases. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery* 2010;140:S64-70; discussion S86-91.
- [26] David TE, Armstrong S, Maganti M, Colman J, Bradley TJ. Long-term results of aortic valve-sparing operations in patients with Marfan syndrome. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery* 2009;138:859-64; discussion 63-4.
- [27] Cheitlin MD, Armstrong WF, Aurigemma GP, Beller GA, Bierman FZ, Davis JL et al. ACC/AHA/ASE 2003 guideline update for the clinical application of echocardiography: summary article: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/ASE Committee to Update the 1997 Guidelines for the Clinical Application of Echocardiography). *Circulation* 2003;108:1146-62.

- [28] Hoffmann R, Arbeitsgruppe Kardiovaskularer Ultraschall der DGK. [Position paper on quality standards in echocardiography]. *Zeitschrift für Kardiologie* 2004;93:975-86.
- [29] Kouchoukos NT, Marshall WG, Jr., Wedige-Stecher TA. Eleven-year experience with composite graft replacement of the ascending aorta and aortic valve. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery* 1986;92:691-705.
- [30] Svensson LG, Crawford ES, Hess KR, Coselli JS, Safi HJ. Composite valve graft replacement of the proximal aorta: comparison of techniques in 348 patients. *The Annals of thoracic surgery* 1992;54:427-37; discussion 38-9.
- [31] Fagan A, Pillai R, Radley-Smith R, Yacoub M. Results of new valve conserving operation for treatment of aneurysms or acute dissection of aortic root. *Br Heart J* 1983;49:302.
- [32] Lim JY, Kim JB, Jung SH, Choo SJ, Chung CH, Lee JW. Surgical Management of Aortic Root Dilatation with Advanced Aortic Regurgitation: Bentall Operation versus Valve-sparing Procedure. *The Korean journal of thoracic and cardiovascular surgery* 2012;45:141-7.
- [33] Kallenbach K, Kojic D, Oezsoez M, Bruckner T, Sandrio S, Arif R et al. Treatment of ascending aortic aneurysms using different surgical techniques: a single-centre experience with 548 patients. *European journal of cardio-thoracic surgery : official journal of the European Association for Cardio-thoracic Surgery* 2013;44:337-45.
- [34] Franke UF, Isecke A, Nagib R, Breuer M, Wippermann J, Tigges-Limmer K et al. Quality of life after aortic root surgery: reimplantation technique versus composite replacement. *The Annals of thoracic surgery* 2010;90:1869-75.
- [35] Dias RR, Mejia OA, Fiorelli AI, Pomerantzeff PM, Dias AR, Mady C et al. Analysis of aortic root surgery with composite mechanical aortic valve conduit and valve-sparing reconstruction. *Revista brasileira de cirurgia cardiovascular : orgao oficial da Sociedade Brasileira de Cirurgia Cardiovascular* 2010;25:491-9.

## II. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

---

<b>Abbildung 1</b> Grafische Darstellung der Aortenwurzel: (a) Sinutubulärer Übergang, (b) Aortenwurzelbasis (Annulus), (c) Valsalva sinus. [2] .....	2
<b>Abbildung 2</b> Grafische Darstellung der Aortenwurzel (longitudinale Öffnung) (a) Dreieckiger Klappentaschenzwischenraum, (b) Klappentaschen [2] .....	2
<b>Abbildung 3</b> „Modifizierte“ Bentall Operation („Button Technique“). Darstellung der chirurgischen Vorgehensweise. Die Koronarostien werden trompetenförmig ausgeschnitten und in die Prothese reimplantiert [1] .....	13
<b>Abbildung 4</b> Remodelierung der Aortenwurzel nach Yacoub. Die drei sinus valsalvae werden reseziert (a). Anschließend wird die zungenförmig zugeschnittene Rohrprothese an den Aortenklappenannulus genäht und die Koronarostien reimplantiert (b)[3] .....	14
<b>Abbildung 5</b> Reimplantation der Aortenklappe. Klappenerhaltender Aortenwurzelerersatz nach David. Die drei Sinus valsalvae werden wie in Abb. 4 reseziert. Unterschiedlich als bei der Yacoub Operation wird hier die Prothese über die Klappe gestülpt und fixiert. anschließend werden die Koronarostien reinseriert [3] .....	15
<b>Abbildung 6</b> Prothesenwahl bei VSRR (Klappenerhaltender Aortenwurzelerersatz nach David oder Yacoub)- <b>Gruppe A</b> .....	18
<b>Abbildung 7</b> Prothesenwahl bei Bentall Operation mit biologischer klappentragender Gefäßprothese- <b>Gruppe B</b> .....	18
<b>Abbildung 8</b> Prothesenwahl bei Bentall Operation mit mechanischer klappentragender Gefäßprothese- <b>Gruppe C</b> .....	19
<b>Abbildung 9</b> Überlebensrate gemäß der angewandten Operationstechnik .....	22
<b>Abbildung 10</b> Freiheitsrate von Re-Operationen .....	24
<b>Abbildung 11</b> Freiheitsrate von Blutungen (Nachbeobachtungszeit) .....	26

### III. TABELLENVERZEICHNIS

---

<b>Tabelle 1</b> Einteilung nach Operationsverfahren. Klappenerhaltener Aortewurzelsatz nach David oder Yacoub <b>Gruppe A</b> (n=178), Bentall Operation mit biologischer klappentragender Gefäßprothese <b>Gruppe B</b> (n=91), Bentall Operation mit mechanischer klappentragender Gefäßprothese <b>Gruppe C</b> (n=101).....	7
<b>Tabelle 2</b> Verteilung der bikuspid und trikuspid angelegten Aortenklappen im gesamt Kollektiv und Insuffizienzgrade .....	8
<b>Tabelle 3</b> Präoperative Daten, Patientencharakteristika (VSSR: klappenerhaltender Aortenwurzelsatz nach David oder Yacoub, Bentall b: biologische klappentragende Gefäßprothese, Bentall m: mechanische klappentragende Gefäßprothese).....	10
<b>Tabelle 4</b> Zusammenfassung der Operativen Daten .....	19
<b>Tabelle 5</b> Daten der reoperierten Patienten. (AAA: Aorta ascendens Ersatz, AI: Aorteninsuffizienz, SKAAE: Suprakoronarer Aorta ascendens Ersatz, b Bentall: biologische Bentall Operation, M Bentall: mechanische Bentall Operation, TAVI: Transkatheter Aortenklappenimplantation, B AKE: biologischer Aortenklappenersatz, M AKE: mechanischer Aortenklappenersatz, ( <sup>1</sup> ) in Jahren) .....	23

## IV. DANKSAGUNG

---

Ich danke Herrn Professor Dr. Rüdiger Lange, Direktor der Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie des Deutschen Herzzentrums München, dass ich die vorliegende Arbeit in seiner Klinik durchführen konnte.

Herrn PD Dr. Catalin Badiu danke ich für die Überlassung des Themas und die durchwegs kompetente Beratung und freundschaftliche Arbeitsatmosphäre.

Mein besonderer Dank gilt Herrn PD Dr. Bernhard Voss für die Übernahme der Betreuung dieses interessanten und relevanten Themas und seiner außerordentlichen Unterstützung während der gesamten Zeit.

Herrn Dr. med. Marcus-Andrè Deutsch, danke ich für die allseits freundliche und engagierte Beratung bei der statistischen Auswertung der vorliegenden Arbeit.

Mein Dank gilt auch Frau Dr. med. Stephanie Voss für Ihre Unterstützung bei der Durchführung der vorliegenden Arbeit, die bei jeglichen Fragen eine absolute Hilfe war.

Meiner Familie danke ich von ganzem Herzen für die unerschöpfliche Unterstützung und Motivation während der Anfertigung dieser Dissertation.