Aus der Klinik für Kardiovaskuläre Chirurgie
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Artur Lichtenberg

# Frühpostoperative Ergebnisse nach Chirurgie der Aortenwurzel mit und ohne Aortenklappenersatz

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Ioanna Anders
2017

Als Inauguraldissertation gedruckt mit der Genehmigung der
medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:
Dekan: Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker
Erstgutachter: Prof. Dr. med. Artur Lichtenberg
Zweitgutachter: Prof. Dr. med. Christian Jung

Für meinen geliebten Ehemann

Eine Zusammenfassung dieser Arbeit wurde als Poster bei der 42. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie im Februar 2013 in Freiburg veröffentlicht.

Teile dieser Arbeit wurden als Originalarbeit im The Journal of Heart Valve Disease [A. Blehm, P. Schurr, V.A. Sorokin, I. Zianika, H. Kamiya, A. Albert, A. Lichtenberg, Comparison of different surgical techniques in 112 consecutive patients with aortic root operations: When should the valve be spared? The Journal of Heart Valve Disease 2014 Jan;23(1):9-16)] veröffentlicht.

# I. Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---|---|
| A. | Arteria |
| ACC | American College of Cardiology |
| AHA | American Heart Association |
| AI | Aortenklappeninsuffizienz |
| AKE | Aortenklappenersatz |
| AS | Aortenklappenstenose |
| AV | Atrioventrikulär |
| CABG | Coronary artery bypass grafting |
| CT | Computertomographie |
| ESC | European Society of Cardiology |
| EuroSCORE | European System for Cardiac Operative Risk Evaluation |
| HLM | Herz-Lungen-Maschine |
| ICU | Intensive Care Unit |
| IMC | Intermediate Care |
| KHK | Koronare Herzkrankheit |
| KI | Konfidenzintervall |
| KÖF | Klappenöffnungsfläche |
| LV | Linker Ventrikel |
| LVEDD | Linksventrikulärer enddiastolischer Durchmesser |
| LVEF | Linksventrikuläre Ejektionsfraktion |
| LVESD | Linksventrikulärer endsystolischer Durchmesser |
| M | Mittelwert |
| MKR | Mitralklappenrekonstruktion |
| pAVK | Periphere arterielle Verschlusskrankheit |
| SACP | Selektive antegrade zerebrale Perfusion |
| SD | Standardabweichung |
| SPSS | Statistical Package for the Social Science |
| TAA | Thorakales Aortenaneurysma |
| TEE | Transoesophageale Echokardiographie |
| TTE | Transthorakale Echokardiographie |
| V. | Vena |
| $V_{max}$ | Maximale Flussgeschwindigkeit über der Aortenklappe |
| VRR | Valve aortic root replacement |
| vs. | versus |
| VSR | Valve-sparing aortic root replacement |
| $\Delta P_{mean}$ | Mittlerer transaortaler systolischer Druckgradient |

# II. Inhaltsverzeichnis


**1 ZUSAMMENFASSUNG ..... 1**

**2 EINLEITUNG ..... 4**

2.1 HISTORISCHER ÜBERBLICK ..... 5

2.2 DIE ANATOMIE DER AORTENWURZEL UND DER AORTENKLAPPE ..... 7

2.3 HERZKLAPPENERKRANKUNGEN ..... 9

*2.3.1 Die Aortenklappenstenose ..... 10*

*2.3.2 Die Aortenklappeninsuffizienz ..... 12*

2.4 DER AORTENKLAPPENERSATZ ..... 13

*2.4.1 Der biologische Herzklappenersatz ..... 14*

*2.4.2 Der mechanische Herzklappenersatz ..... 17*

2.5 ERKRANKUNGEN DER AORTENWURZEL ..... 19

*2.5.1 Das thorakale Aortenaneurysma ..... 19*

*2.5.2 Die Aortendissektion Typ A ..... 20*

2.6 DIE AORTENWURZELCHIRURGIE ..... 23

*2.6.1 Die Remodellierung nach Yacoub ..... 23*

*2.6.2 Die Reimplantationstechnik nach David ..... 24*

2.7 ZIEL DER ARBEIT ..... 26

**3 MATERIAL UND METHODEN ..... 27**

3.1 EINSCHLUSSKRITERIEN ..... 27

3.2 AUSSCHLUSSKRITERIEN ..... 27

3.3 PRÄOPERATIVE DATEN ..... 28

3.4 INTRAOPERATIVE DATEN ..... 29

3.5 *VALVE AORTIC ROOT REPLACEMENT* (VRR) MIT EINER BIOLOGISCHEN GERÜSTLOSEN KLAPPE IN DER *FULL-ROOT*-TECHNIK ..... 30

3.6 *VALVE AORTIC ROOT REPLACEMENT* (VRR) MIT EINEM CONDUIT NACH DER BENTALL-KUCHUCUS-TECHNIK ..... 31

3.7 VALVE SPARING AORTIC ROOT REPLACEMENT (VSR) NACH DAVID ..... 31

3.8 TEIL- ODER TOTALBOGENERSATZ ..... 34

3.9 POSTOPERATIVE DATEN ..... 34

3.10 DIE ECHOKARDIOGRAPHIE ..... 35

3.11 STATISTISCHE AUSWERTUNG ..... 35

**4 ERGEBNISSE ..... 36**

4.1 PATIENTENALTER ..... 36

4.2 PRÄOPERATIVE MORBIDITÄT ..... 36

4.3 ECHOKARDIOGRAPHISCHE DATEN ..... 37

4.4 AV-BLOCK UND POSTOPERATIVE KOMPLIKATIONEN ... 42
4.5 LIEGEDAUER AUF ICU ... 43
4.6 ICU UND EUROSCORE II ... 45
4.7 ÜBERLEBENSDATEN ... 48
4.8 ABKLEMMZEIT UND PERFUSIONSZEIT ... 56

**5 DISKUSSION ... 59**

*5.1.1 Geschlecht ... 59*
*5.1.2 Patientenalter ... 60*
*5.1.3 Antikoagulation ... 61*
*5.1.4 Echokardiographische Ergebnisse ... 61*
*5.1.5 Vergleich der operativen Technik hinsichtlich Dauer und Blutkonserven-verbrauch ... 63*
*5.1.6 Möglicher Vorteil der Full-root-Technik ... 63*
*5.1.7 Taschenkorrekturen ... 63*
*5.1.8 Der Einfluss des höheren Operationsrisikos durch Aortenbogenbeteiligung, Typ-A-Dissektion und des hohen EuroSCORE II auf die Ergebnisse ... 64*
*5.1.9 Mortalität ... 65*
*5.1.10 Limitationen der Studie ... 66*

**6 ABSTRACT ... 67**

**7 REFERENZLISTE ... 68**

**8 ANHANG ... 78**

8.1 TABELLENVERZEICHNIS ... 78
8.2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS ... 79

**9 DANKSAGUNG**

**10 EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG**

# 1 Zusammenfassung

Zwischen Februar 2009 und November 2010 wurden bei 112 Patienten in der Klinik für Kardiovaskuläre Chirurgie der Uni-Klinik Düsseldorf operative Eingriffe an der Aortenwurzel vorgenommen. Ziel der konsekutiven Single-Center-Studie war der Vergleich zwischen der klappenerhaltenden Rekonstruktion nach David (*valve sparing aortic root replacement*; VSR David) und den klappenersetzenden Verfahren (*valve aortic root replacement*; VRR).

In die Studie wurden Patienten mit stattgehabter Aortenwurzelchirurgie eingeschlossen, d.h. Patienten, bei denen die Aortenwurzel entweder samt Klappe ersetzt wurde oder die Aortenwurzel rekonstruiert wurde, unabhängig vom Ausmaß des übrigen Aortenersatzes. Daher wurden sowohl Patienten mit als auch ohne Aortenbogenersatz im Kreislaufstillstand eingeschlossen. Wesentliches Kennzeichen aller Patienten war die Reimplantation der Koronarostien, unabhängig von der Pathologie der Aortenwurzel und dem Abstand der distalen Anastomose.

Die Diagnosen der Patienten umfassten Typ A-Dissektionen, Aortenwurzelaneurysmen, Aortenklappeninsuffizienzen mit oder ohne Ringdilatation sowie Aortenklappenstenosen. Massiv kalzifizierte Aortenwurzeln oder schmale Aortenringe mit einem Durchmesser unter 21 mm führten zu einem Aortenwurzelersatz. In der VRR Stentless-Gruppe wurde die Aortenklappe durch eine gerüstlose porcine Medtronic-Freestyle-Klappe ersetzt. In der VRR Prothetik-Gruppe nutzte man ein biologisches oder mechanisches Conduit.

Von den 112 Patienten waren 72 (64 %) männlich und hatten zum Operationszeitpunkt ein Durchschnittsalter von 64,1 ± 12,4 Jahren. Die 40 (36 %) weiblichen Patienten hatten zum Operationszeitpunkt ein durchschnittliches Alter von 71,1 ± 8,7 Jahren. Es war statistisch signifikant, dass die männlichen Patienten zum Operationszeitpunkt jünger waren als die weiblichen Patienten ($p = 0.002$).

47 Patienten (42 %) unterzogen sich im genannten Zeitraum einer VSR David. Deren mittleres Alter betrug 64,0 ± 11,3 Jahre. 34 Patienten (30 %) erhielten eine VRR Stentless mit einer gerüstlosen Medtronic Freestyle-Klappe. Deren mittleres Alter betrug 72,9 ± 6,4 Jahre. 31 Patienten (28 %) mit einem mittleren Alter von 63,7 ± 14,4 Jahren unterzogen sich einer VRR Prothetik mit biologischem oder mechanischem Conduit. Zwischen den Gruppen bestand ein statistisch signifikanter Altersunterschied

($p$ = 0.001). Je älter die Patienten waren, umso eher wurde eine VRR Stentless durchgeführt. Jüngere Patienten erhielten eine VSR David oder alternativ eine VRR Prothetik.

Anhand der präoperativen Daten wurde für jeden Patienten die erwartete 30-Tage-Mortalität anhand des EuroSCORE II ermittelt. Die Patienten in der VRR Prothetik-Gruppe hatten den höchsten mittleren EuroSCORE II (M = 15,9 %), verglichen zu denen aus der VSR David-Gruppe (M = 10,8 %) und VRR Stentless-Gruppe (M = 10,4 %). Zehn Patienten verstarben perioperativ; sieben Patienten aus der VRR Prothetik-Gruppe und drei Patienten aus der VSR David-Gruppe. Die 30-Tage-Mortalitätsrate in der VRR Prothetik-Gruppe war signifikant höher als in den beiden anderen untersuchten Gruppen (22,6 %, $p$ = 0.004). Nach der durchschnittlichen *Follow-up*-Zeit von 32 Monaten lebten 82,1 % der Patienten. Hinsichtlich der ICU zeigte sich, dass kein Aortenwurzelverfahren signifikant zu einer längeren Verweildauer auf der ICU führte ($p$ = 0.119). Die Verweildauer erhöhte sich signifikant bei einem höheren EuroSCORE II und bei Operationen im Kreislaufstillstand ($p$ = 0.01).

In Bezug auf Aortenpathologien zeigte sich, dass 18 von 29 Patienten (62 %) mit Typ A-Dissektionen eine mittlere Überlebenszeit von 20,45 Monaten (95 %-KI 14,7 – 26,2) hatten. 17 von 20 Patienten (85 %) mit Aortenstenose überlebten im Mittel 26,6 Monate (95 %-KI 22,3 – 30,8). 28 von 30 Patienten (93,3 %) mit Aneurysma und Anulusdilatation hatten eine mittlere Überlebenszeit von 30,6 Monate (95 %-KI 27,9 – 33,3). 29 von 33 Patienten (87,9 %), die wegen eines Aneurysmas mit Klappendegeneration operiert werden mussten, überlebten im Mittel 34,2 Monate (95 %-KI 30,0 – 38,4). Der $p$-Wert betrug 0.023. Bei elektiven Eingriffen schien per se keine der untersuchten Aortenwurzelverfahren das Überleben signifikant negativ zu beeinflussen ($p$ = 0.648). Patienten, die sich notfallmäßig einem Eingriff an der Aortenwurzel aufgrund einer akuten Typ A-Dissektion unterziehen mussten, überlebten länger, wenn VSR David angewandt wurde. Dies war jedoch nicht signifikant unterschiedlich zu VRR Stentless und VRR Prothetik ($p$ = 0.120)

Es wurden ein prä- sowie ein postoperatives Echokardiogramm geschrieben und die Ergebnisse miteinander verglichen. Präoperativ zeigte sich, dass in der VRR Stentless-Gruppe im Vergleich zu VSR David und VRR Prothetik die kleinsten aortalen Durchmesser (4 ± 1,1 cm, $p < 0.001$), die kleinsten Klappenöffnungsflächen (0,87 ± 0,30 cm², $p < 0.001$), die höchsten $V_{max}$ (2,97 ± 1,42 m/s, $p < 0.001$) sowie die höchsten $\Delta P_{mean}$ (67 ± 23,2 mmHg, $p$ = 0.018) zu finden waren. Diese Ergebnisse waren aufgrund der

stärkeren Anwesenheit von Patienten mit Aortenklappenstenose in der VRR Stentless-Gruppe zu erwarten.

Postoperativ verbesserte sich die Hämodynamik in der VRR Stentless-Gruppe. $V_{max}$ betrug 1,98 ± 0,45 m/s ($p$ = 0.012) und $\Delta P_{mean}$ 19,7 ± 7,4 mmHg ($p$ = 0.689). Die LVEF betrug im Median 62 %. Mögliche Ursachen sind, dass die biologische Aortenwurzelprothese die physiologische Wurzelgeometrie beibehält und die Funktion der Tasche nicht negativ beeinflusst.

Die transaortale Fließgeschwindigkeit über der Aortenklappe war postoperativ signifikant niedriger in der VSR David-Gruppe ($V_{max}$ = 1,67 ± 0,54 m/s) verglichen zu VRR Stentless (1,98 ± 0,45 m/s) und VRR Prothetik (2,29 ± 0,39 m/s). Der $p$-Wert betrug 0.012. Die LVEF lag im Median bei 59 %. Postoperativ gab es ausschließlich in der VSR David-Gruppe Aortenklappeninsuffizienzen Grad II. Dies war statistisch nicht signifikant ($p$ = 0.245). Die VSR David-Patienten hatten zu einem ganz überwiegenden Anteil als zugrundeliegende Diagnose eine Aortenwurzelerweiterung, was dann auch trotz Rekonstruktion eine immer noch weite Aorta/Prothese ergibt. Grundsätzlich besteht hier also ein Bias.

Die VRR Prothetik-Gruppe zeigte postoperativ eine schlechtere Hämodynamik als VRR Stentless und VSR David. $V_{max}$ betrug 2,29 ± 0,39 m/s ($p$ = 0.012), $\Delta P_{mean}$ lag bei 26,6 ± 10,4 mmHg (p = 0.689). Die LVEF lag im Median bei 60 %. Dies ist auf den eingearbeiteten Stent zurückzuführen, der die Klappenöffnungsfläche verringert. Postoperativ gab es in dieser Gruppe signifikant die meisten AV-Blöcke ($p$ = 0.017). Bei drei Patienten kam es zu einem totalen AV-Block, zwei Patienten erhielten daraufhin einen Herzschrittmacher.

Intraoperativ zeigte sich, dass für Patienten aus der VSR David-Gruppe signifikant längere Kreislaufstillstände (207 ± 68 Min., $p < 0.001$) und höhere Abklemmmzeiten (140 ± 38 Min., $p < 0.001$) nötig waren. Dies war aufgrund der technisch anspruchsvollen Operationsmethode zu erwarten.

Bei Patienten über 65 Jahren und Patienten mit einer niedrigen Lebenserwartung ist die VRR Stentless der VRR Prothetik und VSR David vorzuziehen. Das Operationsverfahren ist technisch einfach und schnell, die postoperative Hämodynamik wird verbessert und das Risiko eines strukturellen Klappenversagens sinkt mit zunehmendem Alter. Zudem kann auf eine Antikoagulation verzichtet werden. Eine VRR Prothetik ist zu

empfehlen bei Patienten jünger als 60 Jahren, da Conduits eine längere Haltbarkeit haben. Jedoch ist eine lebenslange Antikoagulation indiziert.

Bei jüngeren Patienten ist der Erhalt der natürlichen Aortenklappe mittels VSR David eine gute Alternative gegenüber dem konventionellen Aortenklappenersatzverfahren. Die VSR David ist technisch aufwendig und die Erfahrung des Chirurgen spielt bei diesem Verfahren eine wichtige Rolle. Es sind höhere Abklemm- und Perfusionszeiten nötig. Jedoch rechtfertigen die hervorragenden postoperativen hämodynamischen Ergebnisse dieses Verfahrens den Eingriff, was wahrscheinlich langfristig der wichtigste Vorteil in Bezug auf die myokardiale Leistung ist. Eine lebenslange Antikoagulation ist nicht notwendig. Komplikationen wie Thrombembolien, Endokarditis, Blutungen und struktureller Verschleiß, die eine Re-Operation nach sich ziehen, können weitgehend verhindert werden. Aufgrund der kurzen *Follow-up*-Periode kann nicht über den Langzeitnutzen berichtet werden, jedoch scheint die Analyse der kurzfristigen Überlebensrate zugunsten der VSR David auszufallen.

# 2 Einleitung

In der modernen Herzchirurgie zählen seit einigen Jahren, neben dem Ersatz der Aortenklappe durch biologische oder mechanische Herzklappen, rekonstruktive Verfahren unter Erhalt der nativen, körpereigenen Aortenklappe zu den Routineeingriffen. Die rekonstruktive Herzchirurgie erlaubt die Behandlung der kombinierten Pathologie von Aortenwurzel und Aortenklappe, ohne die Nachteile einer Herzklappenprothese in Kauf nehmen zu müssen. Aortenklappenrekonstruktionen eignen sich insbesondere bei Aortenklappeninsuffizienzen. Diese können angeboren (z.B. uni- oder bikuspide Aortenklappe) oder erworben sein oder durch Veränderungen der Aortenwurzel (z.B. bei Aneurysma, Typ A-Dissektion) entstehen. In letzterem Fall ist die Wiederherstellung der Klappenschlussdichtigkeit nur durch die Implantation einer Gefäßprothese möglich. Dies erfolgt durch eine Remodellation nach Yacoub oder durch eine Reimplantation nach David. Die technischen Herausforderungen einer Aortenklappenrekonstruktion sind die anatomische Position der Koronarostien, die Beurteilung der Klappentaschen sowie die Größenbestimmung des Klappenringes. Daneben spielt die Erfahrung des operierenden Chirurgen eine wichtige Rolle, ob die Aortenklappe ersetzt oder rekonstruiert wird. Das Ziel der Aortenklappenrekonstruktion ist die Wiederherstellung der Klappenanatomie sowie deren Physiologie.

## 2.1 Historischer Überblick

„1952 implantierte Dr. Hufnagel erstmals bei einer Aortenklappenschlussundichtigkeit eine künstliche Klappe in die absteigende Aorta […]. Diese Herzklappe – „Kugelkäfigklappe“ – hatte eine Kugel als Ventil. Ein kleiner Metallkäfig verhinderte, dass diese Kugel in den Kreislauf gelangte“ (Bauer und Ennker (2008) S. 47). Diese Kugelkäfigklappe war der Vorläufer für die späteren mechanischen Herzklappen. 1955 implantierte Dr. Murray eine Herzklappe eines Verstorbenen, einen sog. Homograft, in die Aorta descendens eines Patienten mit Aortenklappeninsuffizienz. 1962 nähte Dr. Ross einen Homograft als neue Klappe anstelle der alten Herzklappe ein. Fünf Jahre später ersetzte er die erkrankte Aortenklappe eines Patienten durch dessen gesunde Pulmonalklappe. Die entfernte Pulmonalklappe wurde durch eine gespendete menschliche Pulmonal- oder Aortenklappe ersetzt.

Die Drs. Duran und Gunning implantierten 1964 bei einem Hund die erste tierische Herzklappe vom Schwein (Xenograft) in Aortenposition (vgl. Myat und Gershlick (2012) S. 319). „Die ersten Ergebnisse waren gut, allerdings versagten diese Herzklappen nach

wenigen Jahren. In Frankreich entwickelte Dr. Carpentier ein chemisches Verfahren zur Fixierung der tierischen Herzklappen und zog sie auf ein Gerüst (*Stent*) auf, das es erlaubte, sie sowohl in Aorten- als auch in Mitralposition zu implantieren“ (Bauer und Ennker (2008) S. 49).

Hugh Bentall und Antony De Bono beschrieben im Jahre 1968 erstmalig den gleichzeitigen vollständigen Ersatz der Aortenklappe mittels einer künstlichen mechanischen Herzklappe und der Aorta ascendens durch eine Aortenprothese, ein sogenanntes Conduit oder auch Composite (Abb. 1). Die Koronararterien wurden in das klappentragende Conduit eingenäht. Die Indikation war ein Aneurysma der Aorta ascendens mit einhergehender Erweiterung der Aortenwurzel bei einem 33-jährigen Mann (vgl. Bentall und De Bono (1968) S. 338). Das Verfahren nach Bentall und De Bono wurde der Goldstandard für die Behandlung kombinierter Pathologien der Aorta ascendens und der Aortenklappe, Aortenaneurysmen und Aortendissektionen und wird heute noch angewandt (vgl. Shrestha et al. (2012) S. 56).

Erstmalig beschrieb Sir Magdi Yacoub (London, Großbritannien) 1983 die Remodellierung der Aortenwurzel bei gleichzeitigem Erhalt der nativen Aortenklappe (vgl. Yacoub, Fagan, Stassano und Radley-Smith (1983) S. 311-321). Die Prothese wurde so zugeschnitten, dass sie zungenförmig in die drei Klappensinus reichte. Der Klappenanulus blieb unangetastet. Die Koronararterien wurden abschließend reinseriert (Abb. 1). In jüngerer Zeit wurde die Remodellierungstechnik mit einer Anuloplastie ergänzt, um weite Klappenringe zu raffen. Es wird beabsichtigt, die Physiologie der Aortenwurzel wiederherzustellen mit gleichzeitiger Resuspension der Taschenklappen und einer subvalvulären aortalen Anuloplastie (vgl. Lansac et al. (2013) S. 117-123; Gatti et al. (2015) S. 1-7).

Der brasilianische Herzchirurg Tirone Esperidiao David präsentierte 1992 in Toronto, Kanada, erstmalig die nach ihm benannte Reimplantationstechnik (vgl. David und Feindel (1992) S. 617-621). „Die Methode nach David sieht die Rekonstruktion des sinutubulären Übergangs mit Ersatz des Sinus valsalvae und Stabilisation des Anulus vor“ (Solf und Gansera (2012) S. 39). Dabei werden die Dimensionen der Aortenwurzel verkleinert und anschließend die Aortenklappe in eine Prothese reimplantiert (Abb. 1). Nach Reimplantation der Koronarostien erfolgt die distale Prothesenanastomose. Die klappenerhaltende Operation wird zunehmend durchgeführt, da sie die Reparatur der nativen Aortenklappe und den gleichzeitigen Ersatz der erkrankten Aortenwurzel und der

Aorta ascendens mit sehr guten Langzeitergebnissen ermöglicht (vgl. Beyersdorf und Rylski (2012) S. 73).

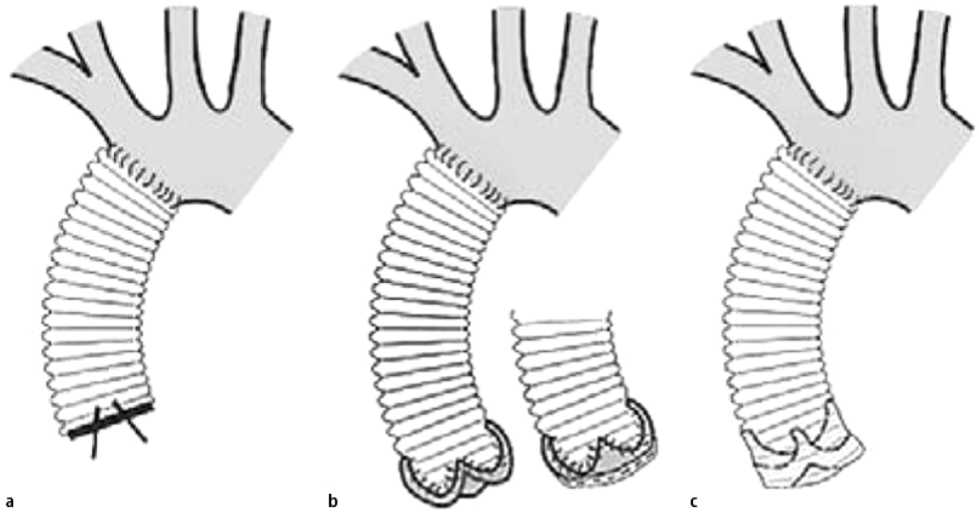



**Abb. 1. Aorta-ascendens-Ersatz mittels a Composite-Graft, b Yacoub- oder c David-Technik (Conzelmann et al. (2009), mit freundlicher Genehmigung von Springer Science + Business Media)**

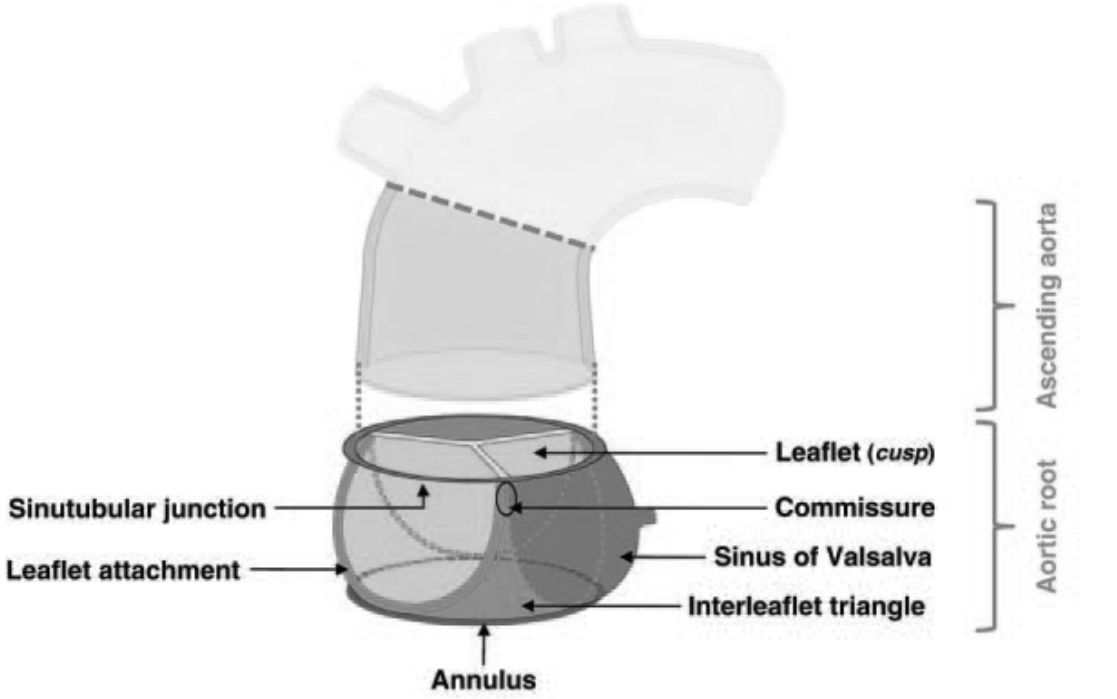
## 2.2 Die Anatomie der Aortenwurzel und der Aortenklappe

Die Aortenwurzel verbindet das Herz mit dem systemischen Kreislauf und besteht aus der Aortenklappe, dem Anulus fibrosus, den freien Segelrändern, den Sinus Valsalvae, den Trigona fibrosa (auch: Dreiecke, *interleaflet triangles*) und dem sinotubulären Übergang (vgl. Anderson (2000) S. 672, (2007) S. 3; Sievers et al. (2012) S. 479; Charitos und Sievers (2013) S. 53) (Abb. 2).

Die Aortenklappe (Valva aortae) sorgt für einen unidirektionalen Blutfluss vom Herzen in den großen Kreislauf. Sie besteht aus drei halbmondförmigen Taschenklappen (Valvulae semilunares; auch als „Segel“ bezeichnet), die sich während der Systole öffnen.; Das Blut fließt vom linken Ventrikel in die Aorta ascendens. Während der Diastole schließen sich die Taschenklappen und verhindern so den Rückstrom des Blutes in den linken Ventrikel. Die Taschenklappen haben Einbuchtungen (Sinus Valsalvae), die sich beim Zuklappen der Aortenklappe mit Blut füllen und so den Bulbus aortae bilden. Vom linken und vom rechten Sinus gehen jeweils die linke und die rechte Koronararterie ab, so dass die Sinus entsprechend linkskoronarer Sinus und rechtskoronarer Sinus genannt werden. Da aus dem dritten Sinus keine Koronararterie abgeht, wird dieser als akoronarer Sinus bezeichnet. „Auf Höhe der Spitzen der Kommissuren verjüngen sich diese Sinus

zum sinutubulären Übergang der Aorta. […] Vom ventrikulären Aspekt her markieren die Insertionsstellen der Klappe dreieckige Flächen unterhalb der Klappentaschen mit einer etwas stärkeren Aortenwand. Diese Dreiecke trennen den linksventrikulären Ausflusstrakt von der Perikardhöhle. Die Höhe und die Weite dieser unterhalb der Kommissuren und zwischen den Klappentaschen gelegenen Dreiecke bestimmen die Überlappungsfläche (Koaptation) der Klappentaschenränder. Bei einer normalen, trikuspiden Aortenklappe entspricht die Länge des freien Randes jeder einzelnen Klappe etwa dem Durchmesser der Aorta. Eine geringfügige Überlänge der freien Ränder der Klappentasche sorgt dabei für die normale valvuläre Schluss- und Öffnungsfunktion. Während der Kammersystole erlaubt diese Überlänge jeder einzelnen Klappe die Bewegung bis zur Wand des Sinus Valsalvae, dessen Diameter etwas größer ist als der des Aortenanulus. So wird ein völlig stenosefreier Blutfluss während der Kammersystole gewährleistet. Gleichzeitig verhindern turbulente Strömungen im Sinus Valsalvae einen Verschluss der Koronarostien durch die Klappentaschen. Somit ist die systolische Perfusion des Myokards gewährleistet, wenn auch der wesentliche Anteil der Perfusion des Herzens diastolisch erfolgt“ (Ziemer und Haverich (2010) S. 422). Zentral auf den freien Segelrändern liegen die Noduli Arrantii. Diese gewährleisten den vollständigen Klappenschluss und bilden den oberen Abschluss der Koaptationsfläche.

„Der Ring der Aortenklappe [Anulus fibrosus, Anm. d. Autorin] besteht aus fibrösen Ansatzrändern der Taschen und ist in seiner Größe durch den sinutubulären Durchmesser, den aortoventrikulären Übergang sowie die Weite der Sinus bestimmt“ (Schäfers und Böhm (2004) S. A2475) (Abb. 2). Dieser Ring wird als anatomischer Anulus bezeichnet, ähnelt jedoch mehr einer dreizackigen Krone (vgl. Anderson (2000) S. 672). Der chirurgische Anulus hingegen ist der ringförmige Übergang vom Ventrikel zur Aortenwurzel (vgl. Anderson (2007) S. 5; Sievers et al. (2012) S. 479). Hier nähen Chirurgen Herzklappenprothesen ein oder implantieren nahtlos. Dabei kann es durch die Lage des Atrioventrikularknotens (AV-Knoten) in diesem Bereich zu einer AV Überleitungsstörung kommen, so dass die Erregungsleitung von Vorhöfen zu Kammern verzögert oder blockiert ist.




| | | |
|---|---|---|
| **Aortic valve:** | **Three leaflets only** | |
| **Aortic root:** | **All components** | (*Sinuses of Valsalva, interleaflet triangles, sinutubular junction, leaflet attachments, leaflets, annulus*) |

**Abb. 2. „Dreidimensionale schematische Darstellung der Aortenwurzel; die mit „Annulus“ bezeichnete Struktur entspricht dem chirurgischen Annulus“ (aus Sievers et al. (2012), mit freundlicher Genehmigung von Oxford University Press)**

## 2.3 Herzklappenerkrankungen

Herzklappenerkrankungen gehören zu den häufigsten kardiologischen Erkrankungen, die einen operativen Eingriff nötig machen. Prinzipiell kann sich ein Herzklappendefekt als Stenose oder als Insuffizienz manifestieren. Finden sich an einer Klappe sowohl eine Stenose als auch eine Insuffizienz, so handelt es sich um ein kombiniertes Klappenvitium.

### 2.3.1 Die Aortenklappenstenose

„Unter einer Klappenstenose versteht man eine verminderte Öffnungsfähigkeit der Klappe, die zu einer Behinderung des vorwärts gerichteten Blutflusses führt“ (Amann-Vesti (2006) S. 610). Sie ist die häufigste Herzklappenerkrankung in den Industrienationen (vgl. Carabello and Paulus (2009) S. 956) und ist, mit einer Prävalenz von 2 % bis 5 % bei den über 65-jährigen, die Hauptursache für die Morbidität und Mortalität bei älteren Menschen (vgl. Daniel et al. (2006) S. 621; Carabello und Paulus (2009) S. 956; Chrysohoou et al. (2011) S. 349).

„Bis vor wenigen Jahren wurde angenommen, dass es sich bei der kalzifizierenden Aortenklappenstenose um einen degenerativen Prozess handelt. In jüngster Zeit konnte nachgewiesen werden, dass ursächlich nicht ein degenerativer, sondern ein aktiver entzündlicher Prozess mit Ähnlichkeiten zur Atherosklerose vorliegt“ (Daniel et al. (2006) S. 621). Trikuspide Aortenklappen werden in der Regel zwischen dem 60. und 80. Lebensjahr stenotisch, kongenitale bikuspide Klappen etwa 20 Jahre früher (vgl. Carabello und Paulus (2009) S. 956).

Die Aortenklappenstenose führt durch die fortschreitende Klappenverengung zu einer Zunahme des Afterload, was sekundär zur Entwicklung einer Linksherzhypertrophie führt (vgl. Dweck, Boon und Newby (2012) S. 1854). „Durch diesen Adaptationsmechanismus kann die systolische Funktion bis ins Endstadium der Erkrankung aufrechterhalten werden“ (Arastéh et al. (2013) S. 203). Viele Patienten bleiben daher selbst bei hochgradiger Aortenklappenstenose klinisch lange ohne Beschwerden und körperlich uneingeschränkt. „Bei vielen Patienten, bei denen im Spätstadium der Erkrankung eine reduzierte Auswurffraktion vorliegt, besteht eine Kombination aus exzessiver Nachlast und reduzierter Myokardkontraktilität“ (Daniel et al. (2006) S. 621).

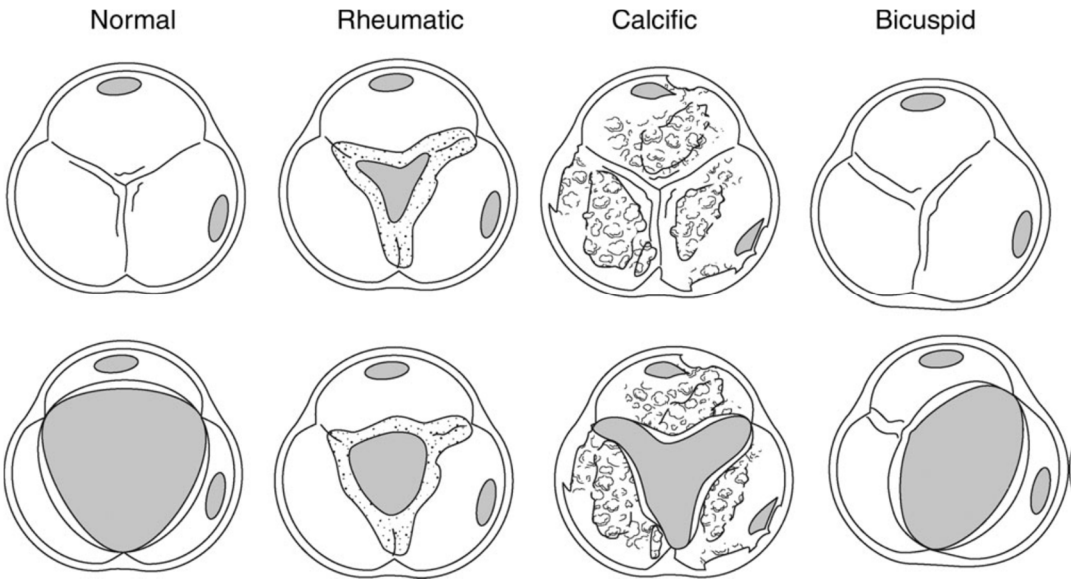



**Abb. 3. „Die Ätiologie der Aortenklappenstenose. Morphologie der rheumatischen Aortenklappenstenose, der kalzifizierten Aortenklappenstenose und der bikuspiden Klappe" (aus Baumgartner et al. (2009), mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Helmut Baumgartner, Universitätsklinikum Münster)**

Neben Anamnese, körperlicher Untersuchung und Auskultation des typischen Holosystolikums stellt die transthorakale Echokardiographie (TTE) zur Diagnose einer Aortenklappenstenose die wichtigste nicht-invasive Untersuchung dar. Die TTE ermöglicht die Erkennung einer Aortenklappenerkrankung und sie kann die Ursache der Klappendysfunktion sowie die genaue Quantifizierung der Krankheitsschwere bestimmen (vgl. Otto (2010) S. 276). Eine TTE ist indiziert, wenn auskultatorisch ein unerklärliches systolisches Herzgeräusch oder ein einzelner zweiter Herzton festgestellt werden, der Patient eine bekannte bikuspide Aortenklappe hat oder er Symptome zeigt, die auf eine Aortenklappenstenose zurückzuführen sind (vgl. Nishimura et al. (2014) S. 29). „Intraoperativ ist die transoesophageale Echokardiographie (TEE) der Goldstandard. Die Schallfrequenz kann erhöht werden und somit eine höhere Auflösung erzielt werden" (Solf und Gansera (2012) S. 26).

Baumgartner et al. verweisen auf drei empfohlene Parameter zur Quantifizierung der Klappenhämodynamik bei einer Aortenklappenstenose. Die maximale Flussgeschwindigkeit über der Aortenklappe ($V_{max}$ in m/s) wird per Dopplerechokardiographie direkt gemessen. Mit Hilfe von $V_{max}$ berechnet das Echokardiographiegerät sodann den mittleren transaortalen systolischen Druckgradienten ($\Delta P_{mean}$ in mmHg) nach der Bernoulli-Gleichung und die mittels der Kontinuitätsgleichung berechnete Klappenöffnungsfläche

(KÖF in $cm^2$) (vgl. Baumgartner et al. (2009) S. 5). Eine schwere symptomatische Aortenklappenstenose ist laut ACC/AHA- und ESC-Richtlinien durch folgende Messwerte charakterisiert:

- $V_{max} \geq 4$ m/s
- $\Delta P_{mean} \geq 40$ mmHg
- KÖF $\leq 1{,}0$ $cm^2$

(vgl. Vahanian et al. (2012) S. 2456; Nishimura et al. (2014) S. 35).

Die Indikation für eine Klappenoperation besteht laut ACC/AHA-Richtlinien bei symptomatischen Patienten mit einer schweren Aortenklappenstenose zusätzlich zu den oben genannten echokardiographischen Parametern, wenn Patienten Symptome einer Herzinsuffizienz zeigen und unter Synkopen, belastungsabhängiger Dyspnoe und Angina pectoris leiden (vgl. Nishimura et al. (2014) S. 35). „Bei Angina pectoris beträgt die mittlere Überlebenszeit 5 Jahre, bei Synkopen oder Präsynkopen 3 Jahre und bei symptomatischer linksventrikulärer Dysfunktion nur 2 Jahre“ (Arastéh et al. (2013) S. 206).

### 2.3.2 Die Aortenklappeninsuffizienz

Als Aortenklappeninsuffizienz bezeichnet man die „Schlussunfähigkeit der Aortenklappe mit Blutrückfluss von der Aorta in den linken Ventrikel in der Diastole“ (Arastéh et al. (2013) S. 206). Die Ursachen einer Aortenklappeninsuffizienz sind Erkrankungen der Taschenklappen und/oder Veränderungen der Aortenwurzelgeometrie (vgl. Vahanian et al. (2012) S. 2460). „Eine akute Aorteninsuffizienz wird am häufigsten durch eine bakterielle Endokarditis oder retrograde Aortendissektion mit Klappenbeteiligung verursacht“ (Arastéh et al. (2013) S. 207). Chronisch kann eine Aortenklappeninsuffizienz entweder durch eine primäre Klappenerkrankung (kongenitale bikuspide Aortenklappe, degenerative Veränderungen, rheumatisches Fieber, bakterielle Endokarditis) oder durch eine Erweiterung der Aorta ascendens hervorgerufen werden (arterielle Hypertonie, thorakales Aortenaneurysma, Marfan-Syndrom, Ehlers-Danlos-Syndrom, Lues) (vgl. Arastéh et al. (2013) S. 207).

Pathophysiologisch kommt es durch den diastolischen Rückfluss des Blutes über die schlussunfähige Aortenklappe in den linken Ventrikel zu einer erhöhten Vorlast des linken Herzens. Das Schlagvolumen und die Ejektionsfraktion des Herzens vergrößern

sich. „Die **Druck- und Volumenbelastung** [Hervorhebung im Original] des linken Ventrikels führt neben einer Dilatation zu einer erheblichen Zunahme der Wanddicke (exzentrische Hypertrophie)“ (Arastéh et al. (2013) S. 207). Klinisch kommt es zu Palpitationen, Belastungsdyspnoe, peripheren Ödemen und Linksherzinsuffizienz.

Diagnostisch fallen bei der Aortenklappeninsuffizienz das Herzgeräusch während der Diastole (Diastolikum), ein beschleunigter arterieller Puls sowie ein niedriger diastolischer Druck auf (vgl. Vahanian et al. (2012) S. 2460). „Die Farbdopplerechokardiographie ist die **Methode der Wahl** [Hervorhebung im Original] zum Nachweis und zur Schweregradbestimmung einer Aorteninsuffizienz. In der 2-dimensionalen Echokardiografie kann darüber hinaus häufig die Ursache einer Aorteninsuffizienz festgestellt werden“ (Arastéh et al. (2013) S. 207). Ein präoperativ durchgeführtes TEE hat sich als aussagekräftig in Bezug auf die Herzklappenreparatur und den postoperativen Langzeiterfolg erwiesen (vgl. le Polain de Waroux et al. (2007) S. I-264; Vahanian et al. (2012) S. 2460).

Ohne ärztliche Intervention ist die Prognose für Patienten mit einer Aortenklappeninsuffizienz aufgrund der hämodynamischen Instabilität schlecht. Sobald eine Aortenklappeninsuffizienz symptomatisch wird, steigt die Mortalitätsrate bei Patienten mit Aortenklappeninsuffizienz und ohne chirurgischen Eingriff auf 10 % bis 20 % pro Jahr an (vgl. Vahanian et al. (2012) S. 2460). Laut den aktuellen ESC-Richtlinien ist die Indikationsstellung zur Operation gegeben, wenn die Aortenklappeninsuffizienz symptomatisch ist. Bei asymptomatischer schwerer Aortenklappeninsuffizienz ist eine Operation indiziert, wenn die linksventrikuläre Ejektionsfraktion (LVEF) < 50 % beträgt und der enddiastolische Ventrikeldurchmesser (LVEDD) > 70 mm bzw. der endsystolische Ventrikeldurchmesser (LVESD) > 50 mm betragen (vgl. Vahanian et al. (2012) S. 2461).

## 2.4 Der Aortenklappenersatz

Basierend auf den Daten der Deutsche Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie wurden in Deutschland im Jahr 2014 an 78 deutschen herzchirurgischen Zentren 11.881 isolierte Aortenklappenoperationen durchgeführt. Es wurden 1.360 mechanische Herzklappen eingesetzt, 10.375 Xenografts implantiert, 29 Homografts transplantiert und 117 Aortenklappen rekonstruiert (vgl. Beckmann et al. (2015) S. 261). Die Wahl des Aortenklappenersatzes wird bei jedem Patienten individuell getroffen und hängt von mehreren Faktoren ab. Hierbei müssen die Klappenhaltbarkeit, die zu erwartende

Hämodynamik bei spezifischen Klappentypen und -größen, das Patientenalter, das Operationsrisiko, die potentielle Notwendigkeit einer lebenslangen Antikoagulation und auch die Präferenz des Patienten berücksichtigt werden (vgl. Nishimura et al. (2014) S. 113). Gemäß den ESC-Richtlinien sollen mechanische Klappen bei Patienten jünger als 60 Jahre implantiert werden, Patienten über 65 Jahre sollen eine biologische Klappe erhalten. Patienten zwischen 60 und 65 Jahre können sowohl eine biologische als auch eine mechanische Klappe erhalten (vgl. Vahanian et al. (2012) S. 2481 f.). Gemäß den AHA/ACC-Richtlinien sollen Patienten jünger als 60 Jahre eine mechanische Klappe erhalten, Patienten über 70 Jahre eine biologische Klappe. Zwischen 60 und 70 Jahre sind sowohl eine mechanische als auch eine biologische Klappe eine gute Option (vgl. Nishimura et al. (2014) S. 113).

### 2.4.1 Der biologische Herzklappenersatz

Eine erkrankte Herzklappe kann durch eine biologische Herzklappe ersetzt werden. Hierbei unterscheidet man zwischen Herzklappen aus menschlichem Gewebe (Homograft/Allograft, Autograft) oder aus tierischem Gewebe (Heterograft/Xenograft).

#### Homografts

Homografts, auch als Allografts bezeichnet, sind humane Herzklappen, die von verstorbenen Spendern stammen oder von Spendern, denen das Herz im Rahmen einer Multi-Organentnahme entnommen wurde und dann nicht komplett als Transplantat verwendet wurde. Sie werden nach einer speziellen Vorbehandlung in flüssigem Stickstoff tiefgefroren aufbewahrt. Wichtige Limitationen sind jedoch die schlechte Haltbarkeit und die begrenzte Verfügbarkeit. Homografts werden heute gelegentlich noch bei Kindern und bei ausgeprägten endokarditischen Befunden verwendet, oder wenn Kontraindikationen für eine Antikoagulation bestehen (vgl. Nägele, Döring, Rödinger und Kalmár (2000) S. 651 ff.).

#### Pulmonaler Autograft

Autografts sind Herzklappen vom selben Individuum. Dr. Donald Ross hatte 1967 eine Methode entwickelt, bei der die Aortenklappe durch die patienteneigene Pulmonalklappe ersetzt wird. Anstelle der Pulmonalklappe wird ein Homograft transplantiert. Berdajs und Sievers et al. verweisen auf die Vorteile der Ross-Operation: sehr gute hämodynamische

Eigenschaften, eine niedrige Thrombogenität, der Verzicht auf eine lebenslange Antikoagulation, die geringe klappenbedingte Morbidität und die verbesserte Lebensqualität. Da die Aortenwurzel mitwächst, ist diese Operation insbesondere für Kinder und Jugendliche geeignet (vgl. Berdajs (2012) S. 1; Sievers et al. (2010) S. 216). Die Freiheit von einer Re-Operation beträgt nach zehn Jahren zwischen 86 % und 97,4 % (vgl. Elkins, Thompson, Lane, Elkins und Peyton (2008) S. 625; Sievers et al. (2010) S. 221; Berdajs (2012) S. 2; Kalfa et al. (2014) S. 6).

**Xenografts**

„Xenografts stammen vom Schwein oder Rind und sind oft durch Gerüste verschiedener Materialien verstärkt, die das Klappengewebe in seiner natürlichen, beziehungsweise anatomisch-funktionellen Position fixieren (Stent-Bioprothesen) […]. Diese Prothesen werden aus Aortenklappen vom Schwein oder aus Rinderperikard hergestellt. Das häufig verwendete Fixationsmittel Glutaraldehyd stabilisiert das Kollagengerüst und mindert die Antigenität“ (Hoffmann et al. (2008) S. 144) (Abb. 4).

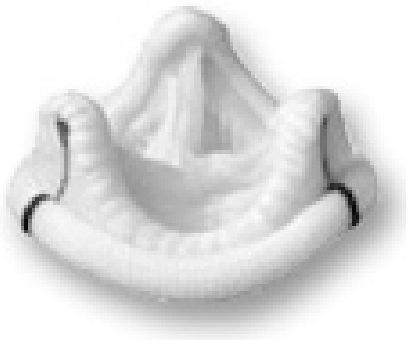


**Abb. 4. Biologische Herzklappenprothese mit Gerüst (Modell Biocor™, mit freundlicher Genehmigung von St. Jude Medical GmbH, Eschborn)**

„Das Konzept für gerüstlose Klappen wurde während der frühen 1990er Jahre entwickelt“ (Ennker und Ennker (2012) S. 1). Dazu wurde auf den obstruktiven Stent und den Nahtring verzichtet, der den effektiven Innendurchmesser der Klappe verringert und daher zu einem höheren transvalvulären Gradienten und einer reduzierten effektiven Klappenöffnungsfläche führen kann (vgl. Ennker und Ennker (2012) S. 1) (Abb. 5). „Die Bauweise gerüstloser Klappen resultiert in einem besseren physiologischen Fluss im Vergleich zu gerüsteten Bioprothesen“ (Ennker und Ennker (2012) S. 1). Die gerüstlosen Bioklappen werden entweder mittels der subkoronaren Technik oder in der *Full-root*-Technik implantiert. „In der subkoronaren Technik wird die Klappenbasis analog zu den

gestentenen Prothesen im Aortenanulus fixiert. Die Kommissuren der Klappenprothese und der freie aortale Prothesenrand werden unter Aussparung der nativen Koronarostien anschließend mit der Wand der nativen Aorta vernäht“ (Franke und Wahlers (2004) S. 738). Bei der *Full-root*-Technik wird die gesamte Aortenwurzel herausgeschnitten und die Prothese eingenäht. „In die Sinus der Klappenprothese werden Öffnungen gestanzt, in die die zuvor mobilisierten Koronarostien anastomosiert werden“ (Franke und Wahlers (2004) S. 738).

Die Vorteile der gerüstlosen Bioklappen sind eine größere Öffnungsfläche und günstigere hämodynamische Eigenschaften. Eine Antikoagulation wird bei Bioprothesen „meistens während der ersten drei Monate nach der Herzklappenoperation durchgeführt, bis das Kunststoffgerüst von körpereigenem Gewebe überzogen ist und nicht mehr zu einer Gerinnselbildung führen kann“ (Bauer und Ennker (2008) S. 57).

Das Risiko des strukturellen Klappenversagens nach 15 bis 20 Jahren sinkt mit zunehmendem Patientenalter. Dieses beträgt bei 20-jährigen 90 %, bei 70-jährigen liegt es bei 10 % (vgl. Pibarot und Dumesnil (2009) S. 1043; Mohammadi et al. (2012) S. 200; Nishimura et al. (2014) S. 114;).

Bioprothesen sind indiziert bei Frauen mit Kinderwunsch, Leistungssportlern, bei Patienten, die eine orale Antikoagulation verweigern oder bei denen eine Antikoagulation kontraindiziert ist (vgl. Nishimura et al. (2014) S. 113). „Da die Herzklappenprothesen aus natürlichem Material sind, ist bei ihnen das für die mechanischen Herzklappenprothesen so typische klickende Geräusch bei der Herzklappenflügelbewegung nicht vorhanden“ (Bauer und Ennker (2008) S. 57).

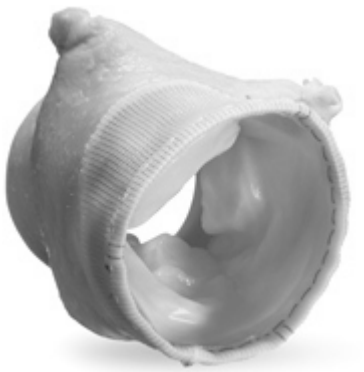


**Abb. 5. Gerüstfreie biologische Herzklappenprothese, (Modell Medtronic Freestyle®, mit freundlicher Genehmigung von Medtronic plc, Dublin, Irland)**

### 2.4.2 Der mechanische Herzklappenersatz

„Die heutzutage verwendeten mechanischen Herzklappen werden, je nach der Beschaffenheit des Ventilmechanismus, in Einzel- und Doppelkippscheibenprothesen eingeteilt“ (Bauer und Ennker (2008) S. 55). „Die Kippscheibenprothesen […] besitzen eine bewegliche Scheibe auf einem exzentrisch gelegenen Drehscharnier. Durch diese Konstruktion können die meisten Kippscheibenprothesen nur bis ca. 70° geöffnet werden, so daß der Ein- und Ausstrom abhängig von der Einbaurichtung der Prothese unterschiedliche Flußmuster aufweist. Man unterscheidet einen stärkeren Hauptstrom zur einen und einen schwächeren Nebenstrom zur anderen Wand“ (Aust (2000) S. 15) (Abb. 6).

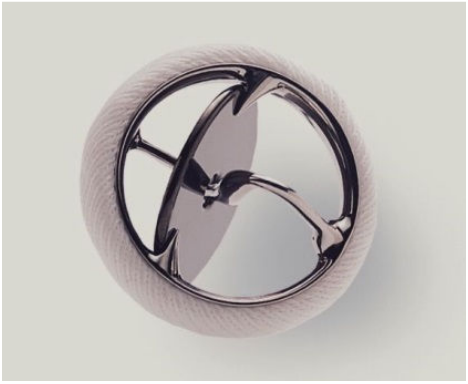


**Abb. 6. Kippscheibenprothese (Modell Medtronic Hall™, mit freundlicher Genehmigung von Medtronic plc, Dublin, Irland)**

Bei den Doppel-Kippscheibenprothesen, auch Doppelflügelprothesen genannt, erfüllen mittig zwei Flügel die Ventilfunktion (Abb. 7). „Hierbei öffnen sich zwei Klappendeckel wie Türflügel mit einem fast rechten Winkel, ca. 85°, so daß das Strombahnhindernis im inneren Prothesenbereich nicht sehr ausgeprägt ist. Wenn bei maximaler Öffnung die Flügel beinah senkrecht stehen, kann das Blut fast ungehindert durch zwei breitere seitliche und eine schmalere zentrale Öffnung ausströmen. Die Flußumkehr erfolgt entlang der Seitenwände“ (Aust (2000) S. 15).

**Abb. 7. Doppelflügelklappe (Modell Regent™, mit freundlicher Genehmigung von St. Jude Medical GmbH, Eschborn)**

Mechanische Herzklappenprothesen bestehen aus sehr beständigen Materialien wie Metall und Kunststoff und sind theoretisch unbegrenzt haltbar. Der aus Dacron oder Teflon bestehende äußere Ring dient zum Einnähen der Prothese in die Aortenwurzel.

Eine lebenslange Antikoagulation ist bei mechanischen Herzklappenprothesen notwendig, um Thrombembolien zu vermeiden Sie werden bei Patienten jünger als 60 Jahre und bei Hochrisikopatienten, z.B. Patienten mit vorangegangener Strahlentherapie oder mit schwer verkalkter Aorta (vgl. Nishimura et al. (2014) S. 114) empfohlen.

In der Praxis führen Endokarditiden, Blutungen oder die Apposition von Thromben zu einer Re-Operation. In der Literatur beträgt die Rate an

- Endokarditiden 0,1 % bis 2,3 % pro Patientenjahr (vgl. Augoustides et al. (2010) S. 1018; Chirillo et al. (2013) S. 1177; Misawa (2014) S. 2),

- Blutungen 0,5 % bis 1,47 % pro Patientenjahr, wobei ein instabiler INR sowie vorhergegangene Thrombembolien und Blutungen das Risiko erhöhen (vgl. Stassano et al. (2009) S. 1865; Misawa (2014) S. 2),

- Thrombembolien liegen bei 0,2 % bis 1 % pro Patientenjahr (vgl. Augoustides et al. (2010) S. 1018; Chirillo et al. (2013) S. 2; Misawa (2014) S. 2).

## 2.5 Erkrankungen der Aortenwurzel

### 2.5.1 Das thorakale Aortenaneurysma

Ein Aneurysma ist definiert als eine Dilatation eines Blutgefäßes auf über 150 % des Gefäßdurchmessers, das abhängig vom Geschlecht, Alter und Körpergewicht zu erwarten wäre (vgl. Lavall, Schäfers, Böhm und Laufs (2012) S. 227). Von einem Aneurysma verum spricht man, wenn alle drei Gefäßwandschichten - Adventitia, Media, Intima - an der Dilatation beteiligt sind. „Morphologisch können spindelförmige Aneurysmen (**Aneurysma fusiforme**) [Hervorhebung im Original] von sackförmigen (**Aneurysma sacculare**) [Hervorhebung im Original] unterschieden werden“ (Arastéh et al. (2013) S. 275). Bei einem falschen Aneurysma (Aneurysma spurium) reißen Intima und Media ein, jedoch nicht die Adventitia. Es entsteht ein extravaskuläres Hämatom, das auch als pulsierendes Hämatom bezeichnet wird.

Die Hauptursache für ein thorakales Aortenaneurysma (TAA) ist die Atherosklerose und die Inzidenz korreliert positiv mit den Risikofaktoren Hypertension, Nikotinabusus, Hyperlipidämie und ein fortgeschrittenes Alter. Weitere Ursachen sind unter anderem das Marfan-Syndrom, familiäre Prädispositionen sowie eine bikuspide Aortenklappe (vgl. Isselbacher (2005) S. 816; Booher und Eagle (2011) S. 38; Lavall et al. (2012) S. 227; Arastéh et al. (2013), S. 274).

60 % der TAA betreffen die Aortenwurzel und/oder die Aorta ascendens, 40 % die Aorta descendens, 10 % den Aortenbogen und 10 % betreffen die thorakoabdominale Aorta (vgl. Isselbacher (2005) S. 816). Klinisch bleibt das TAA meist stumm und wird typischerweise als Zufallsbefund bei Röntgenaufnahmen der Brust, beim CT oder beim Echokardiogramm entdeckt (vgl. Isselbacher (2005) S. 818). Der Patient klagt über Beschwerden wie Husten, Heiserkeit, Atemnot, Schluckbeschwerden, Brust- oder Rückenschmerzen sowie Anzeichen oder Symptome einer Aortenklappeninsuffizienz (vgl. Isselbacher (2005) S. 818).

Eine Operation sollte bei Patienten mit einer Aortenwurzelerkrankung erwogen werden, wenn der maximale Durchmesser der Aorta ascendens

≥ 45 mm bei Patienten mit Marfan-Syndrom beträgt und Risikofaktoren wie eine positive Familienanamnese bzgl. Aortendissektionen hinzukommen sowie der Aortendurchmesser > 2 mm/Jahr zunimmt,

≥ 50 mm bei Patienten mit einer bikuspiden Aortenklappe beträgt und Risikofaktoren wie eine Aortenisthmusstenose, Hypertension und eine positive Familienanamnese bzgl. Aortendissektionen hinzukommen sowie der Aortendurchmesser > 2 mm/Jahr zunimmt,

≥ 55 mm für alle anderen Patienten beträgt (vgl. Vahanian et al. (2012) S. 2461).

### 2.5.2 Die Aortendissektion Typ A

Die Aortendissektion Typ A ist eine lebensbedrohliche Erkrankung der Aorta. „Ihre Inzidenz beträgt 2,9/100 000 Einwohner und Jahr. Sie ist vor allen Dingen eine Erkrankung des 6. und 7. Lebensjahrzehnts mit einer Bevorzugung des männlichen Geschlechts (2 : 1)“ (Arastéh et al. (2013) S. 303). Etwa 40 % der Patienten sterben sofort, das Risiko präoperativ zu Versterben steigt auf 1 - 2 % stündlich, intra- und postoperativ versterben 10 - 15 % (vgl. Lavall et al. (2012) S. 230).

Die häufigste Ursache der Aortendissektion scheint die arterielle Hypertonie zu sein, wobei der Aorteneinriss nicht selten im Rahmen einer hypertensiven Krise entsteht (Golledge und Eagle (2008) S. 56). Weitere Ätiologien einer Dissektion sind unter anderem die Atherosklerose, genetische Erkrankungen (z.B. Marfan-Syndrom, Ehlers-Danlos-Syndrom), familiäre Prädisposition sowie bikuspide Aortenklappen (vgl. Hiratzka et al. (2010) S. e301 f.). Aufgrund eines Intimaeinrisses (Entry) kommt es zu einer intramuralen Einblutung in die Media, so dass ein zweites falsches Aortenlumen entsteht. Das falsche Lumen kann durch einen zweiten Intimaeinriss (Reentry) wieder Anschluss an das wahre Lumen finden (Abb. 4). „Leitsymptom ist der **plötzlich mit voller Intensität einsetzende, vernichtende Schmerz** [Hervorhebung im Original], der je nach Lokalisation der Dissektion hinter dem Brustbein, zwischen den Schulterblättern sowie im Rücken lokalisiert sein kann“ (Arastéh et al. (2013) S. 303).

Die zwei gebräuchlichsten Klassifikationen der Aortendissektion sind die Stanford-Klassifikation und die De Bakey-Klassifikation (Abb. 8).

De Bakey hat die Aortendissektion nach dem Ursprung des Entry klassifiziert und in drei Typen eingeteilt. Bei De Bakey Typ I befindet sich das Entry der Dissektion in der Aorta ascendens und die Dissektion schreitet mindestens bis zum Aortenbogen fort, meistens jedoch bis zur Aorta descendens. Eine Operation wird empfohlen. Bei De Bakey Typ II ist die Dissektion auf die Aorta ascendens beschränkt. Auch hier wird ein operatives Vorgehen empfohlen. Bei De Bakey Typ III befindet sich das Entry distal der A. subclavia, so dass die Aorta descendens betroffen ist. Ein nichtchirurgisches Vorgehen wird empfohlen (vgl. Hiratzka et al. (2010) S. e298 f.; Baliga et al. (2014) S. 407). Typ III wird unterteilt in Typ IIIa – die Dissektion reicht bis zum Zwerchfell – und Typ IIIb – die Dissektion reicht bis unterhalb des Zwerchfells (vgl. Hiratzka et al. (2010) S. e298 f.; Baliga et al. (2014) S. 407).

Bei der Stanford Typ A-Dissektion ist die Aorta ascendens unabhängig vom Ursprung des Entry betroffen; eine Operation wird empfohlen. Bei der Stanford Typ B-Dissektion ist die Aorta ascendens nicht betroffen. Ein nichtchirurgisches Vorgehen wird empfohlen (vgl. Hiratzka et al. (2010) S. e298 f.; Baliga et al. (2014) S. 407).

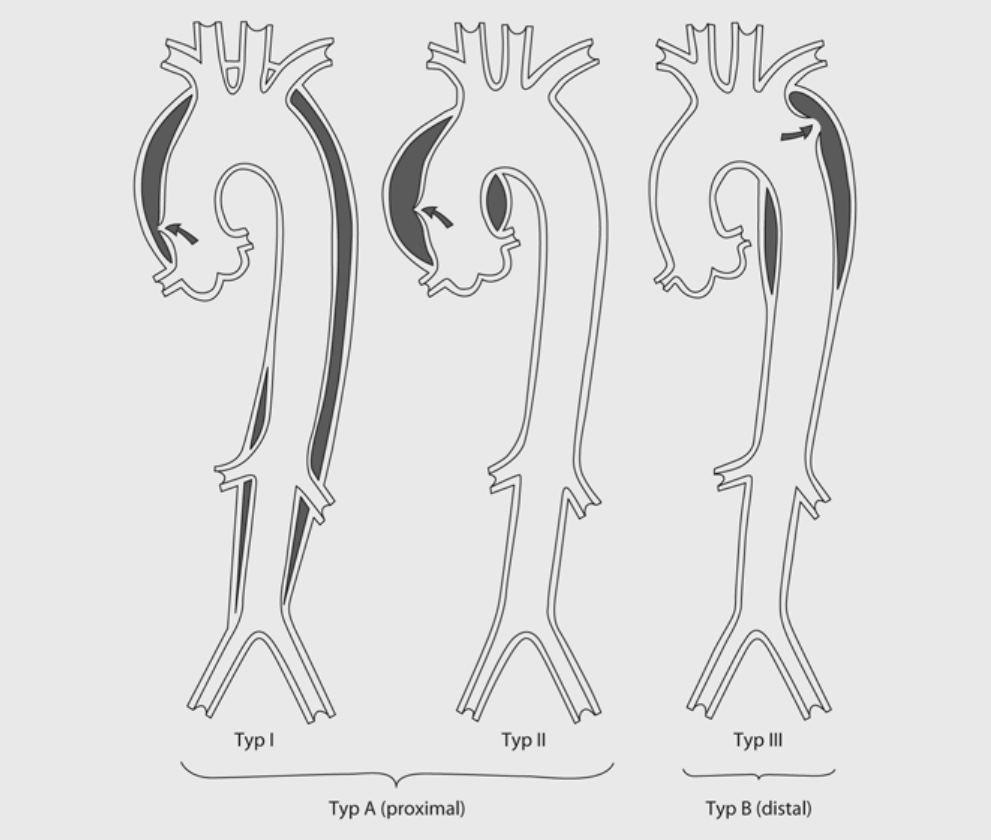



**Abb. 8. „Dissektion. Klassifikation nach Stanford und De Bakey“ (Larsen (2012), mit freundlicher Genehmigung von Springer Science + Business Media)**

De Bakey differenziert die Typen I – III; Stanford unterscheidet die Formen A und B.

**Klassifikation nach De Bakey**

Typ I (60 %) Dissektionen von Aorta ascendens, Aortenbogen und Aorta descendens bis nach Abgang der A. subclavia.
Typ II (15 %) Dissektion von Aorta ascendens und proximalen Aortenbogen
Typ III (25 %) Dissektion ab Abgang der linken A. subclavia bis
a) oberhalb des Zwerchfells
b) unterhalb des Zwerchfells

**Stanford-Klassifkation**

Typ A Dissektion der Aorta ascendens
Typ B Dissektion der Aorta descendens

## 2.6 Die Aortenwurzelchirurgie

Besteht eine Dilatation der Aortenwurzel, so muss die erkrankte Aortenwurzel unabhängig vom Ausmaß der begleitenden Aortenklappeninsuffizienz ersetzt werden, wenn der Aortendurchmesser ≥ 55 mm beträgt (siehe Punkt 2.5.1). Weitere Indikationen zur Aortenwurzelchirurgie sind Aortenklappeninsuffizienzen mit oder ohne Ringdilatation sowie Aortenklappenstenosen (vgl. Nishimura et al. (2014) S. 104). Diese treten auf, wenn die Aortenwurzel massiv kalzifiziert ist oder der Aortenanulus einen Durchmesser < 21 mm hat. Bei angeborenen bikuspiden Aortenklappen kommt es im Laufe der Zeit zu Verhärtungen und Versteifungen der Aortenklappe, die zu kalzifizierten Segeln führt. Dies führt zu einer Aortenklappenstenose. Bedingt durch die Klappenfehlanlage kommt es zu einem turbulenten Blutfluss in der Aorta ascendens, was zu einer Dilatation oder zu einem Aneurysma führen kann. Dies wiederum führt zu einer Aorteninsuffizienz. Bindegewebserkrankungen, wie z.B. das Marfan-Syndrom, erhöhen ebenfalls das Risiko an einem Aneurysma zu erkranken (vgl. Hiratzka et al. (2010) S. e307).

Das Ziel der Aortenwurzelchirurgie ist, die Aortenklappe zu erhalten. Hier haben sich zwei Verfahren bewährt: die Remodellierung nach Yacoub sowie die Reimplantation nach David. Letzere wird in der Literatur auch als David-Rekonstruktion bezeichnet.

### 2.6.1 Die Remodellierung nach Yacoub

Erstmalig beschrieb Sir Magdi Yacoub (London, Großbritannien) 1983 die Remodellierung der Aortenwurzel bei gleichzeitigem Erhalt der nativen Aortenklappe (vgl. Yacoub, Fagan und Stassano (1983) S. 311 ff.). Die Prothese wurde so zugeschnitten, dass sie zungenförmig in die drei Klappensinus reichte. Der Klappenanulus blieb unangetastet. Die Koronararterien wurden abschließend reinseriert (Abb. 1). Jedoch stabilisierte diese Methode die Aortenbasis nicht und auch der sinotubuläre Übergang wurde nicht verengt (vgl. Schmitto, Mokashi, Chen F. und Chen E. (2010) S. 103).

1993 veröffentlichten Yacoub und Sarsam eine Studie mit zehn Patienten, bei denen der Aortenanulus remodelliert wurde, um dessen normale Geometrie wiederherzustellen (vgl. Sarsam und Yacoub (1993) S. 435 ff.). Acht Patienten hatten aufgrund eines bestehenden Marfan-Syndroms eine schwere Aortenklappeninsuffizienz, zwei Patienten hatten eine Aortenklappeninsuffizienz sowie eine Typ A-Dissektion. Das mittlere Alter

betrug 35,7 Jahre. Die Aortenwand wurde exzidiert, die Koronarostien gelöst, der Faserring mit Hilfe einer Dacronprothese umgeformt und die Koronarostien reimplantiert. Ein Patient mit Typ A-Dissektion verstarb an Blutungen. Bei einem Patienten musste die Aortenklappe ein Jahr nach der Remodellation ersetzt werden. Die verbliebenen acht Patienten hatten nach einem mittleren *Follow-up* von 3,4 Jahren keine ($n$ = 6) oder eine milde ($n$ = 2) Aortenklappeninsuffizienz. Die Ergebnisse dieser kleinen Studie beschrieben die Autoren als ermutigend; die Remodellierungstechnik könne auch für andere Indikationen wie Aneurysmen der Sinus valsalvae geeignet sein. Weitere Studien seien jedoch nötig (vgl. Sarsam und Yacoub (1993) S. 435 ff.).

In jüngerer Zeit wurde die Remodellierungstechnik mit einer Anuloplastie ergänzt, um weite Klappenringe zu raffen. Es wird beabsichtigt, die Physiologie der Aortenwurzel wiederherzustellen mit gleichzeitiger Resuspension der Taschenklappen und einer subvalvulären aortalen Anuloplastie (vgl. Lansac et al. (2013) S. 117).

### 2.6.2 Die Reimplantationstechnik nach David

Der brasilianische Herzchirurg Tirone Esperidiao David präsentierte 1992 in Toronto, Kanada, erstmalig die nach ihm benannte Reimplantationstechnik (vgl. David und Feindel (1992) S. 617 ff.). Diese „sieht die Rekonstruktion des sinutubulären Übergangs mit Ersatz der Sinus valsalvae und Stabilisation des Anulus vor“ (Solf und Gansera (2012) S. 39). Dabei werden die Dimensionen der Aortenwurzel verkleinert und anschließend die Aortenklappe in eine Prothese reimplantiert. Nach Reimplantation der Koronarostien erfolgt die distale Prothesenanastomose.

Im Laufe der Jahre modifizierte David die Operationstechnik fünfmal. Miller nummerierte 2003 die David-Operationen von I bis V. David I ist die ursprüngliche Reimplantationstechnik von 1992, bei der ein zylindrisches Conduit an die Aortenwurzelbasis festgenäht wird. David II und David III sind Abwandlungen von Yacoubs Remodellierungstechnik. In der David IV-Technik wird eine Prothese reimplantiert, die 4 mm größer als der Anulusdurchmesser ist und über den Kommissuren gerafft ist. Bei der David V-Operation benutzt man Prothesen mit einem 6 bis 8 mm größeren Durchmesser als den Anulus. Dadurch haben die Chirurgen eine höhere Flexibilität in Bezug auf die von ihnen geformte Größe des Anulus, der neu geformten Sinus und des sinutubulären Übergangs (vgl. Miller (2003) S. 774).

David (2012) postuliert, dass die Wiederherstellung einer normalen Taschengeometrie der wichtigste technische Aspekt bei dieser Operation sei. Ein Schlüsselelement für einen dauerhaften Erfolg seien der Grad und die Fläche der Koaptation der Taschen. Am Ende des Verfahrens soll die Taschenkoaptation innerhalb der Aortenwurzel und ein paar Millimeter über der tiefsten Stelle des Aortenanulus liegen. Die Länge der Taschenkoaptation soll mindestens 4 mm betragen (vgl. David (2012a) S. 788).

Die Indikationen für die Reimplantationstechnik sind laut David (1996) Aortenwurzelaneurysmen und Aneurysmen der Aorta ascendens mit assoziierter Aortenklappeninsuffizienz bei einer Dilatation des sinutubulären Übergangs (vgl. David (1996) S. 44 ff.). Die Reimplantation der Aortenklappe spielt bei Aortenklappenstenosen laut Gleason (2006) eine eher untergeordnete Rolle, da die Taschenklappen verkalkt sind und somit schlechter mobilisiert werden können (vgl. Gleason (2006) S. 155). Komplikationen wie Thrombembolien, Endokarditis, Blutungen und struktureller Verschleiß, der eine Re-Operation nach sich zieht, können weitgehend verhindert werden (vgl. Rahnavardi et al. (2011) S. 189 ff.; Monsefi et al. (2014) S. 432 ff.; Schoenhoff et al. (2015) S. 1 ff.). Die Freiheit von Re-Operation beträgt nach 10 Jahren zwischen 67 % und 92 % (vgl. De Paulis et al. (2010) S. S24; Shrestha et al. (2011) S. 58; Tanaka et al. (2011) S. 1647; Kvitting et al. (2013) S. 119).

## 2.7 Ziel der Arbeit

Die Klinik für Kardiovaskuläre Chirurgie des Universitätsklinikums Düsseldorf verfolgt die operative Strategie, dass Patienten, die einen Eingriff an der Aortenwurzel benötigen, mit VSR David zu behandeln sind, sofern die Morphologie der Klappentaschen erhalten ist, d.h. es liegen keine Verkalkungen oder Vernarbungen vor. Diese Strategie ist nach Auffassung der Klinik für Kardiovaskuläre Chirurgie unabhängig von der Akutheit des Falls zu vertreten.

Ziel der vorliegenden konsekutiven Single-Center-Studie ist der Vergleich zwischen VSR David und den klappenersetzenden Verfahren VRR Stentless und VRR Prothetik bezogen auf präoperative Risikofaktoren, die postoperativen hämodynamischen Leistungen, das mittelfristige Überleben und technisch-prozedurale Merkmale.

Hierzu wurden folgende Fragestellungen untersucht:

- Welche Relevanz haben Geschlecht und Patientenalter auf das frühpostoperative *Outcome*?
- Inwiefern verbessern sich die postoperativen echokardiographischen Ergebnisse in Bezug auf das gewählte Aortenwurzelverfahren?
- Welches Aortenwurzelverfahren benötigt längere Abklemm- und Perfusionszeiten?
- Welche Faktoren führen zu einem höheren Operationsrisiko?
- Welchen Einfluss hat der EuroSCORE II für die perioperative Mortalität?
- Wie beeinflusst das ausgewählte Operationsverfahren das mittelfristige Überleben?
- Welche Faktoren beeinflussten die Liegedauer auf der ICU?
- Welche postoperativen Komplikationen gab es?
- Kann die VSR David als Alternative zu dem konventionellen Aortenwurzelersatz empfohlen werden?

# 3 Material und Methoden

Die vorliegende konsekutive Single-Center-Studie umfasst 112 Patienten, die sich zwischen Februar 2009 und November 2010 in der Klinik für Kardiovaskuläre Chirurgie der Uni-Klinik Düsseldorf einem Eingriff an der Aortenwurzel unterzogen haben. Die Studie ist als nicht-randomisierte retrospektive Studie ausgelegt. Die Ethikkommission an der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf genehmigte die Studie (Votum-Nr. 3518, genehmigt am 17.03.2011). Die Patienten gaben präoperativ ihr Einverständnis zur Datenerfassung und zur Auswertung ihrer Echokardiogramme. Die Daten wurden anhand von Aktenmaterial erhoben.

## 3.1 Einschlusskriterien

Eingeschlossen wurden nur Patienten mit stattgehabter Aortenwurzelchirurgie, d.h. Patienten bei denen die Aortenwurzel entweder samt Klappe ersetzt wurde oder die Aortenwurzel rekonstruiert wurde, unabhängig vom Ausmaß des übrigen Aortenersatzes. Daher wurden sowohl Patienten mit als auch ohne Aortenbogenersatz im Kreislaufstillstand eingeschlossen. Wesentliches Kennzeichen aller Patienten war die Reimplantation der Koronarostien, unabhängig von der Pathologie der Aortenwurzel und dem Abstand der distalen Anastomose.

Die Diagnosen der Patienten umfassten Typ A-Dissektionen, Aortenwurzelaneurysmen, Aortenklappeninsuffizienzen mit oder ohne Ringdilatation sowie Aortenklappenstenosen, die einen Aortenwurzelersatz nötig machten. Gründe für letztere Patienten waren massiv kalzifizierte Aortenwurzeln oder schmale Aortenringe mit einem Durchmesser < 21 mm.

## 3.2 Ausschlusskriterien

Patienten mit einer subkoronaren Implantation von gerüstlosen porcinen Aortenklappen sowie mit einem suprakoronaren Aortenersatz wurden nicht in die Studie aufgenommen. Patienten die einen pulmonalen Autograft erhielten, wurden in einer anderen Datenbank gesammelt und nicht in die vorliegende Studie einbezogen, da sie erheblich jünger waren und ein anderes Risikoprofil hatten als die vorliegenden Patienten. Ebenso wurden Patienten mit Endokarditis in der Analyse nicht berücksichtigt (Tabelle 3).

**Tabelle 3. Übersicht über die verwendeten Ein- und Ausschlusskriterien**

| Einschlusskriterien | Ausschlusskriterien |
|---|---|
| • Kompletter Aortenwurzelersatz mit Reimplantation der eigenen Klappe und der Koronarostien, d.h. Rekonstruktionen nach David<br>• *Full-root*-Ersatz mit einer gerüstlosen Klappe<br>• Mechanischer oder biologischer Composite-Ersatz | • Subkoronare Implantation einer gerüstlosen porcinen Klappe<br>• Suprakoronarer Aortenersatz<br>• Yacoub-Operation<br>• Ross-Operation<br>• Endokarditis |

### 3.3 Präoperative Daten

Die Operationsindikation (elektiv, dringlich oder notfallmäßig) wurde den Akten bzw. den OP-Berichten entnommen. Bei elektiven Eingriffen wurden präoperativ das Alter, Geschlecht, die Hauptdiagnose und Komorbiditäten der Patienten aufgezeichnet. Zudem wurde das Stadium der Herzinsuffizienz nach der NYHA-Klassifikation angegeben. Präoperative Daten aus den Echokardiographien wurden, soweit vorhanden, ebenfalls in die Datenbank übertragen.

Anhand der präoperativen Daten wurde für jeden Patienten die erwartete 30-Tage-Frühmortalität anhand des EuroSCORE ermittelt. Dieser beruht auf einer Studie von Roques et al. aus dem Jahr 1995, bei der 68 präoperative und 29 operative Risikofaktoren perioperativ zu versterben, an 19.030 Patienten überprüft wurden. 128 herzchirurgische Kliniken in acht europäischen Staaten nahmen an dieser Studie teil (vgl. Roques et al. (1999) S. 816 ff.). Der additive EuroSCORE ist ein einfaches Punktesystem mit objektiven Risikofaktoren. Die Summe der Punkte ergibt das individuelle Risiko als Prozentangabe, innerhalb von 30 Tagen nach einem herzchirurgischen Eingriff zu versterben (vgl. Nashef et al. (1999) S. 9 ff.). Der logistische EuroSCORE beruht auf einer multivariaten Analyse und ist für die Berechnung des Mortalitätsrisikos bei Hochrisikopatienten besser geeignet als der additive EuroSCORE (vgl. Michel, Roques und Nashef (2003) S. 684 ff.). Additiver und logistischer EuroSCORE wurden im Jahr 2011 durch den EuroSCORE II ersetzt, der auf aktuelleren Daten beruht und die Vorhersagbarkeit des Mortalitätsrisikos verbessert. Der EuroSCORE II wurde in dieser Studie angewandt.

### 3.4 Intraoperative Daten

Die Patienten wurden in drei Gruppen eingeteilt:

(1) *Valve aortic root replacement* mit einer biologischen gerüstlosen Klappe in der F*ull-root*-Technik (Aortenklappenersatz; im Folgenden VRR Stentless, *n* = 34);
(2) *Valve aortic root replacement* mit einem Conduit nach der Bentall-Kuchucus-Technik (Aortenklappenersatz; im Folgenden VRR Prothetik, *n* = 31);
(3) *Valve sparing aortic root replacement* nach David (Aortenklappenrekonstruktion; im Folgenden VSR David, *n* = 47).

Neben den durchgeführten operativen Techniken wurden der Klappen- bzw. Prothesentyp, der Prothesendurchmesser, die Aortenabklemmzeit, die Perfusionszeit, die Zeit im Kreislaufstillstand und die Hirnperfusion aus den Operationsberichten und anhand der Protokolle der Herz-Lungen-Maschine erhoben. Gleichzeitig notwendige Operationen wie koronararterielle Bypässe (CABG) sowie Mitralklappenrekonstruktionen (MKR) wurden den Operationsberichten entnommen. Die perioperative Morbidität wurde anhand der Operationsberichte aufgezeichnet.

Bei Patienten, die eine VSR David erhielten, wurde die Aortenwand durch eine kollagenbeschichtete Polyester-Gefäßprothese der Firma LeMaitre Vascular (Albograft®) ersetzt. Ein zusätzliches Kürzen der Taschen wurde bei 3 von 47 Patienten durchgeführt. Bei fünf Patienten wurde eine bikuspide Aortenklappe mittels VSR David erhalten, da strukturelle Klappendegenerationen und Kalzifikationen fehlten und die Taschen genügend Koaptation aufwiesen. Waren die Taschenklappen bei Patienten mit Typ A-Dissektion oder einem Aneurysma intakt, so wurde unabhängig von der Akutheit der Erkrankung die VSR David durchgeführt.

In den Fällen, wo die Rekonstruktion der Aortenklappe nicht möglich war, wurden die Aortenwurzel und die -klappe durch ein kommerziell erhältliches klappentragendes Conduit mittels der Bentall-Kuchucus-Technik ersetzt:

- Bei zwölf Patienten wurde ein Coated Aortic Valved Graft (CAVG) der Firma St. Jude Medical® (St. Paul, Minnesota, USA) verwendet.
- Ein Patient erhielt das Aortic Valved Graft® (AVG) der Firma ATS Medical® Inc. (Minneapolis, Minnesota, USA).

- Sechs Patienten wurde ein Carpentier-Edwards (CE) Conduit mit biologischer Herzklappe der Firma Edwards Lifesciences Corp (Irvine, California, USA) implantiert; ein Patient erhielt ein CE Perimount Magna, Modell 3000; fünf Patienten wurde das CE Perimount RSR, Modell 2900, implantiert.
- Zwölf Patienten erhielten das biologische Aortenconduit BioValsalva™ der Firma Vascutek Deutschland GmbH (Hamburg, Deutschland).

In der VRR Stentless-Gruppe wurde bei 34 Patienten die porcine Medtronic Freestyle®-Klappe mittels der *Full-root*-Technik implantiert. Gründe für den Gebrauch der gerüstlosen Klappe waren die Notwendigkeit eines Aortenwurzelersatzes und die Nicht-Durchführbarkeit eines konventionellen biologischen Klappenersatzes. Insbesondere waren ein fortgeschrittenes Alter, eine verkalkte Aortenwurzel und ein kleiner Klappenring < 21 mm Durchmesser ausschlaggebend. In dieser Gruppe waren Patienten mit Typ A-Dissektionen, Aortenaneurysmen mit begleitenden strukturellen Klappendefekten, aber auch Stenosen mit schweren Verkalkungen, die einen herkömmlichen Aortenklappenersatz ausschlossen. Es gab zwei Re-Operationen in dieser Gruppe.

### 3.5 *Valve aortic root replacement* (VRR) mit einer biologischen gerüstlosen Klappe in der F*ull-root*-Technik

Bei der VRR Stentless erfolgte in Intubationsnarkose nach dem sterilen Abwaschen und Abdecken die mediane Sternotomie in Rückenlage. Nach Heparingabe folgte der Anschluss an die Herz-Lungen-Maschine (HLM) unter Einlage eines Vent über die obere rechte V. pulmonalis. Bei Vorliegen einer reinen Aortenstenose oder bei einem kombinierten Vitium mit nur geringgradiger Insuffizienzkomponente wurde eine kalte Blutkardioplegie antegrad über die Aortenwurzel appliziert. Andernfalls wurde nach Einbringen des Vent die Aortotomie durchgeführt und die Kardioplegie selektiv in die Koronarostien appliziert. Die Aortenklappentaschen wurden exzidiert und der Anulus entkalkt. Die Koronarostien wurden unter Beibehaltung von mindestens 3 mm Aortenwand zirkumferent herausgeschnitten und der nonkoronare Sinus reseziert. Nach distal wurde die Aorta ascendens je nach Notwendigkeit reseziert und später gegebenenfalls durch eine Prothese ersetzt. Nach Ausmessen der Klappengröße wurde die Prothese durch eine fortlaufende Prolene-Naht implantiert. Anschließend wurden die Koronarostien reimplantiert. Distal erfolgte entweder eine direkte Anastomose der Prothese mit der Aorta oder indirekt unter Zwischenschaltung einer Rohrprothese. Nach ausreichender Entlüftung erfolgte die Freigabe der Koronarperfusion und nach

ausreichender Reperfusion die Entwöhnung von der HLM. Nach der Blutstillung erfolgte der Verschluss des Thorax in anatomischen Schichten.

Während bei der reinen Aortenklappenstenose nach der Aortenklemmung die Kardioplegieinfusion in die Aortenwurzel parallel mit dem Einführen des transmitralen LV-Vent begonnen wird, so erfolgt nach der Aortenklemmung bei Aortenklappeninsuffizienz zunächst nur die Vent-Einlage und dann die Aortotomie bei entlasteter Aortenwurzel. Die Kardioplegieinfusion erfolgt dann direkt in die Koronarostien.

### 3.6 *Valve aortic root replacement* (VRR) mit einem Conduit nach der Bentall-Kuchucus-Technik

Der VRR Prothetik-Eingriff nach Bentall erfolgte analog zu 2.5 mit dem Unterschied des gewählten prothetischen Materials.

### 3.7 Valve sparing aortic root replacement (VSR) nach David

Nach Eröffnung der Aorta ascendens wurde zunächst die Rekonstruierbarkeit der Aortenklappe geprüft. Danach erfolgte die Exzision der Koronarostien und die Resektion der Sinus valsalvae. Nach Mobilisation der Aortenwurzel wurde der Prothesendurchmesser bestimmt und das proximale Ende der Prothese unterhalb der Klappenebene mit Einzelknopfnähten fixiert. Nach dem Einknoten der Prothese über die skelettierte Aortenwurzel wurde die native Herzklappe in fortlaufender Nahttechnik reimplantiert. Es erfolgte dann die Reimplantation der Koronarostien und die distale Prothesenanastomose (Abb. 9 – 12).

Die Größe der Prothese ist von größter Bedeutung, um eine optimale Anpassungsfläche der Aortenklappen zu erreichen und eine postoperative Aortenklappeninsuffizienz zu vermeiden. Eine zu kleine Prothese kann eine Aortenklappeninsuffizienz aufgrund eines Taschenprolapses hervorrufen, während eine zu große Prothese eine Aortenklappeninsuffizienz mit einem zentralen *Leakage* auslösen kann (vgl. Beyersdorf und Rylski (2012) S. 74). Laut Beyersdorf und Rylski (2012) berechnet man die Prothesengröße, indem man 4 mm zu dem Durchmesser des Aortenanulus addiert. Einige Chirurgen bevorzugen eine Addition von 2 bis 3 mm. Als Faustregel gilt eine Prothesengröße von 26 mm oder 28 mm (vgl. Beyersdorf und Rylski (2012) S. 74).

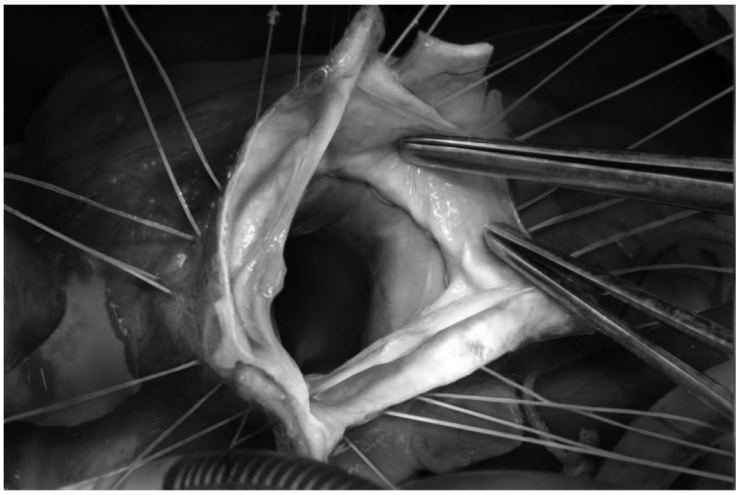


**Abb. 9. „Mobilisation der Aortenwurzel; Für die korrekte Prothesengröße müssen die Kommissuren nach oben gezogen werden, um einen virtuellen Zylinder mit Koaptation der Segel von 30 – 50 % zu kreieren“ (Karck und Haverich (2005), gedruckt mit freundlicher Genehmigung von Elsevier).**

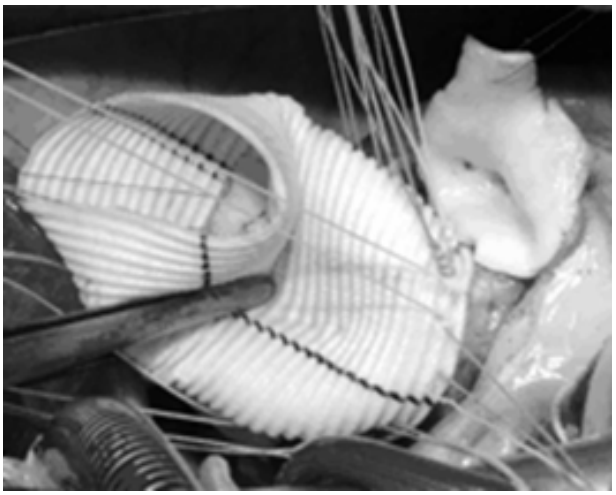


**Abb. 10. „Wenn die Knoten der horizontalen Matratzennaht gebunden werden, muss das Transplantat nach unten gedrückt und vom Assistenten in Position gedrückt werden“ (vgl. Karck und Haverich (2005), gedruckt mit freundlicher Genehmigung von Elsevier).**

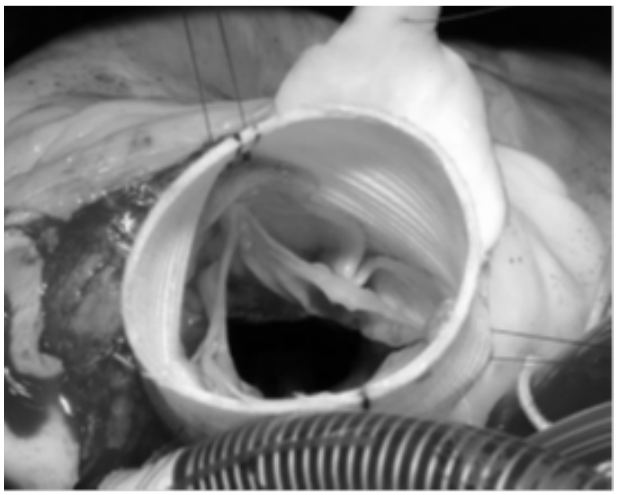


**Abb. 11. „Ein entscheidender Schritt bei der Reimplantation ist die hohe Positionierung der Kommissuren in der Prothese. Durch Ziehen an den Haltefäden wird die korrekte Klappengeometrie wiederhergestellt“ (Karck und Haverich (2005), gedruckt mit freundlicher Genehmigung von Elsevier).**

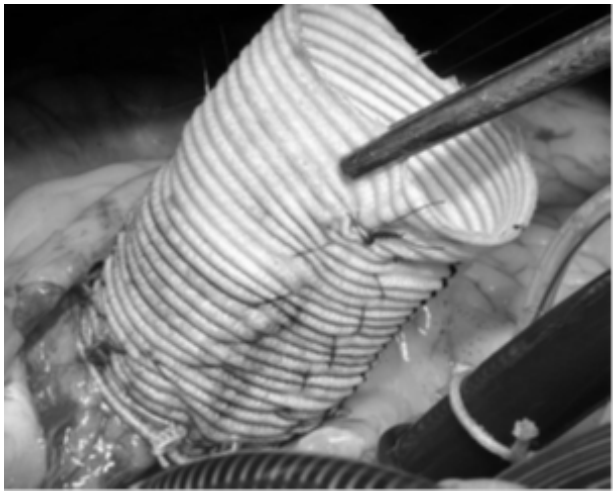


**Abb. 12. „Die Sicht von außen auf die Prothese nach erfolgter Reimplantation“ (Karck und Haverich (2005), gedruckt mit freundlicher Genehmigung von Elsevier).**

### 3.8 Teil- oder Totalbogenersatz

Falls erforderlich, wurde die Aorta ascendens oder der Aortenbogen durch eine Rohrprothese ersetzt. Bei offenen distalen Anastomosen wurde ein kurzer Kreislaufstillstand in Hypothermie mit SACP angewandt. In der Regel erfolgte in diesen Fällen eine Kanülierung der A. axillaris rechts zum Anschluss der HLM. In Fällen, bei denen der Aortenbogen komplett ersetzt wurde, erreichte man eine Anastomose mit dem Aortenbogen durch eine separate Implantation supraaortaler Zweige in Hypothermie und Kreislaufstillstand. Alle aortalen Anastomosen wurden mit Teflonfilz verstärkt.

Bei den Typ A-Dissektionen wurde der Aortenbogen stets im totalen Kreislaufstillstand in moderater Hypothermie mit SACP inspiziert und je nach Bedarf partiell oder total ersetzt. Gelegentlich wurde die Kardioplegie zusätzlich zur antegraden Koronarperfusion auch retrograd appliziert. Die Blutkardioplegie hatte eine Temperatur von 12 °C bis 15 °C. Je nach Präferenz des Operateurs wurde gelegentlich anstelle einer Blutkardioplegie auch eine kristalloide Kardioplegie verwendet (Custadiol©).

### 3.9 Postoperative Daten

Postoperativ wurden die Dauer des Krankenhausaufenthalts insgesamt sowie die Dauer des Aufenthalts auf der ICU aufgezeichnet. Die Verweiltage auf der ICU waren die Summe der Tage, die der Patient auf der Intensivstation und der Wachstation (IMC) verbracht hat. Zehn Patienten verstarben perioperativ und konnten nicht in die echokardiographische Auswertung einbezogen werden. Die postoperativen Echokardiogramme wurden ausgewertet. Des Weiteren wurde die Anzahl der postoperativ aufgetretenen AV-Blöcke Grad I bis III, Aortenklappeninsuffizienzen Grad 0 bis II, Blutungen mit Re-Thorakotomie, kardiopulmonale, renale oder hepatische Insuffizienzen, ischämische Insulte sowie Schrittmacher-Implantationen festgehalten. Bei VSR David wurde ein Ergebnis mit einer Aortenklappeninsuffizienz Grad 0 oder I akzeptiert. Bei VRR Stentless und VRR Prothetik wurde in allen entsprechenden Fällen ein Ergebnis ohne Insuffizienz erreicht. Die 30-Tage-Mortalität wurde erfasst. Das mittlere Kurzzeit-Follow-up betrug 32 Monate. Aus den Akten wurden das Entlassungsdatum aus dem Krankenhaus sowie der Status des Patienten in die Datenbank übertragen.

### 3.10 Die Echokardiographie

Die Aortenklappe wurde präoperativ bei allen Patienten sowohl im TTE als auch im TEE untersucht. Die TTE erfolgte nach allgemein gültigen Standards. Die Einstellungen umfassten den Vier-Kammer-Blick, eine Abschätzung der linksventrikulären Funktion (nach Teich), die Beurteilung aller vier Herzklappen sowie eine präzise Einschätzung der Aortenwurzel mit entsprechenden Diametern (ventrikulo-aortaler Übergang, Sinus valsalvae, sinutubulärer Übergang). Bei allen Eingriffen wurde intraoperativ ein TEE erstellt, um die korrekte Klappenfunktion zu dokumentieren. Ein TTE wurde postoperativ durchgeführt.

### 3.11 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung umfasste die Berechnung und den Vergleich von Mittelwerten, Standardabweichungen, Median und 95 %-Konfidenzintervall (KI). Die Überlebenskurven wurden nach dem Kaplan-Meier-Modell errechnet.

Alle Daten wurden zunächst auf Normalverteilung geprüft. Bei Vorliegen einer Normalverteilung wurden Mittelwert und Standardabweichung ermittelt und angegeben. Nicht normalverteilte Werte wurden mit Median sowie ersten und dritten Quartil angegeben. Danach erfolgte die Durchführung eines t-Tests für ungepaarte Stichproben zur Ermittlung von Unterschieden zwischen den Patientengruppen VSR vs. VRR.

Kategoriale Variablen wurden anhand des *Fisher's exact*-Tests oder des $\chi^2$-Tests geprüft. Kontinuierliche Variablen wurden durch Mittelwerte, Standardabweichungen und dem unpaired Student t-Test oder dem ANOVA-Test charakterisiert. Die graphische Darstellung erfolgte mit Tabellen und Boxplots. Die multivariate Analyse wurde unter Verwendung des Cox-Regression-Modells durchgeführt. Die Mortalität wurde als medianes Überleben mittels des Kaplan-Meier-Modells berechnet. Die Differenz zwischen den beiden Gruppen wurde mittels Log-Rank-Test überprüft. Die statistische Signifikanz wurde bei einem $p$-Wert $< 0.05$ angenommen. Es wurde die SPSS-Software (Version 23) verwendet.

# 4 Ergebnisse

## 4.1 Patientenalter

Von 112 Patienten, die sich zwischen Februar 2009 und November 2010 einem Eingriff an der Aortenwurzel unterziehen mussten, waren 72 (64 %) männlich. Deren Alter betrug 64,1 ± 12,4 Jahre, bei den 40 Frauen (36 %) lag das Alter bei 71,1 ± 8,7 Jahren. Der *p*-Wert betrug 0.002. Somit war es statistisch signifikant, dass die männlichen Patienten zum Operationszeitpunkt deutlich jünger waren als die weiblichen Patienten (Tabelle 4).

Bezogen auf die Operationsmethode betrug das mittlere Patientenalter in der VSR David-Gruppe ($n = 47$) 64,0 ± 11,3 Jahre. In der VRR Stentless-Gruppe ($n = 34$) lag das mittlere Patientenalter mit 72,9 ± 6,4 Jahre höher. Die VRR Prothetik-Gruppe ($n = 31$) hatte ein mittleres Patientenalter von 63,7 ± 14,4 Jahren (Tabelle 5). Der *p*-Wert betrug 0.001.

## 4.2 Präoperative Morbidität

Die NYHA-Klasse der 112 Patienten lag im Mittel bei 2,17 ± 0,89, der mediane EuroSCORE II betrug 7,44 bei einem Mittelwert von 12,07 ± 13,63. Sechs von 112 Patienten (5,4 %) hatten bereits eine vorangegangene Herzoperation, sieben Patienten (6,3 %) litten unter einer permanenten neurologischen Erkrankung. Anamnestisch bekannte Erkrankungen der Carotiden und/oder pAVK hatten jeweils sechs von 112 Patienten (je 5,4 %) (Tabelle 4).

Bei Patienten mit einer Stenose wurden nur diese in die Studie aufgenommen, die aufgrund eines schmalen Anulus (< 21 mm) einen vollständigen Wurzelersatz erhielten, da ein konventioneller biologischer Klappenersatz in diesen Fällen nicht möglich war. Dies war bei 20 Patienten (18 %) der Fall (Tabelle 4). Dreißig Patienten (27 %) hatten aufgrund einer Wurzeldilatation ein Aneurysma mit einer Klappeninsuffizienz. Dabei waren die Taschenklappen intakt. Bei 33 Patienten (29,5 %) lag ein Aneurysma mit Klappeninsuffizienz aufgrund abnormer Klappentaschen vor. Stanford Typ A-Dissektionen mit oder ohne Aneurysmen fanden sich bei 29 Patienten (25,9 %) (Tabelle 4).

**Tabelle 4. Präoperative Patientenmerkmale***

| Parameter | Anzahl/Wert | (%) |
|---|---|---|
| Männer | 72 | 64 |
| Frauen | 40 | 36 |
| Alter in Jahren (M ± SD) | 66,58 ± 11,78 | |
| NYHA-Klasse (M ± SD) | 2,17 ± 0,89 | |
| EuroSCORE II, Median (M ± SD) | 7,44 (12,07 ± 13,63) | |
| Vorangegangene Herzoperation | 6 | 5,4 |
| Permanente neurologische Erkrankung | 7 | 6,3 |
| Bekannte Erkrankung der Carotiden | 6 | 5,4 |
| pAVK | 6 | 5,4 |
| Aortenerkrankung: | | |
| Aortenstenose+ | 20 | 18 |
| Aneurysma mit Klappeninsuffizienz aufgrund einer Anulusdilatation (intakte Taschensegel) | 30 | 27 |
| Aneurysma mit Klappendegeneration | 33 | 29,5 |
| Typ A-Dissektion mit oder ohne Aneurysma | 29 | 25,9 |

* Unpaired Student t-Test

+ Ausschließlich Patienten, die aufgrund einer starken Kalzifizierung der Aortenwurzel oder aufgrund eines verengten Anulus (< 21 mm) keinen konventionellen Aortenklappenersatz erhalten konnten.

### 4.3 Echokardiographische Daten

Die präoperativen echokardiographischen Daten (siehe Tabelle 5) ergaben, dass in der VRR Stentless-Gruppe die kleinsten maximalen aortalen Durchmesser, die kleinsten KÖF, die höchsten $V_{max}$ sowie die höchsten $\Delta P_{mean}$ zu finden waren. Diese Ergebnisse waren aufgrund der stärkeren Anwesenheit von Patienten mit Aortenklappenstenose in der VRR Stentless-Gruppe zu erwarten.

Der maximale aortale Durchmesser ($n$ = 51) betrug in der VRR Stentless-Gruppe 4,0 ± 1,1 cm. Dies liegt in der Indikation der betreffenden Gruppe, die u.a. in einer zu engen Wurzel für einen konventionellen Klappenersatz lag. In der VSR David-Gruppe war er mit 5,7 ± 1 cm am größten, in der VRR Prothetik-Gruppe lag er bei 5,4 ± 1 cm.

Die kleinste mittlere KÖF ($n$ = 51) betrug 0,87 ± 0,30 cm² in der VRR Stentless-Gruppe, in der VSR David-Gruppe betrug sie 2,72 ± 0,57 cm² und in der VRR Prothetik-Gruppe 1,23 ± 0,72 cm².

$V_{max}$ ($n$ = 58) war am niedrigsten in der VSR David-Gruppe mit 1,67 ± 0,42 m/s. Es folgte VRR Prothetik mit 2,72 ± 1,27 m/s und die höchste $V_{max}$ war in der VRR Stentless-Gruppe mit 2,97 ± 1,42 m/s zu finden. Der $p$-Wert betrug < 0.001. Der präoperative mittlere $\Delta P_{mean}$ ($n$ = 55) war am niedrigsten in der VSR David-Gruppe mit 25,3 ± 38,6 mmHg, der höchste fand sich in der VRR Stentless-Gruppe mit 67,0 ± 23,2 mmHg. In der VRR Prothetik-Gruppe lag er bei 59,7 ± 28,0 mmHg ($p$ = 0.018).

Die präoperative Echokardiographie zeigte Ejektionsfraktionen (M ± SD) von 55,3 ± 12,3 % bei Patienten mit VSR David und 61,2 ± 11,0 % bei Patienten mit VRR Stentless und Prothetik (Zweistichproben-t-Test für ungepaarte Stichproben, $p$ = 0.030, $n$ = 86). Postoperativ wurden Ejektionsfraktionen von 59,3 ± 9,9 % bei den Patienten aus der VSR David-Gruppe gemessen sowie 60,1 ± 10,7 % bei den Patienten mit einer VRR ($p$ = 0.697, $n$ = 101 Patienten).

Abbildung 13 zeigt die grafische Darstellung der Datenverteilung. Von den 112 erhobenen Datensätzen gingen 80 in die Auswertung ein, da nur bei diesen sowohl ein prä- als auch ein postoperatives Echokardiogramm mit dem Kriterium LVEF vorlag.

Die postoperativen echokardiographischen Ergebnisse in Tabelle 6 zeigen, dass insbesondere $V_{max}$ in der VSR David-Gruppe ($n$ = 47) mit 1,67 ± 0,54 m/s am niedrigsten war. Es folgt die VRR Stentless-Gruppe ($n$ = 34) mit 1,98 ± 0,45 m/s. $V_{max}$ war am höchsten in der VRR Prothetik-Gruppe ($n$ = 31) mit 2,29 ± 0,39 m/s. Auch die ermittelten $\Delta P_{mean}$ über der Klappe waren bei VSR David (17,8 ± 14,4 mmHg) besser als bei VRR Stentless (19,7 ± 7,4 mmHg) und VRR Prothetik (26,6 ± 10,4 mmHg). Allerdings enthielt ausschließlich die VSR David-Gruppe zwei Patienten mit postoperativer AI Grad II ($p$ = 0.245).

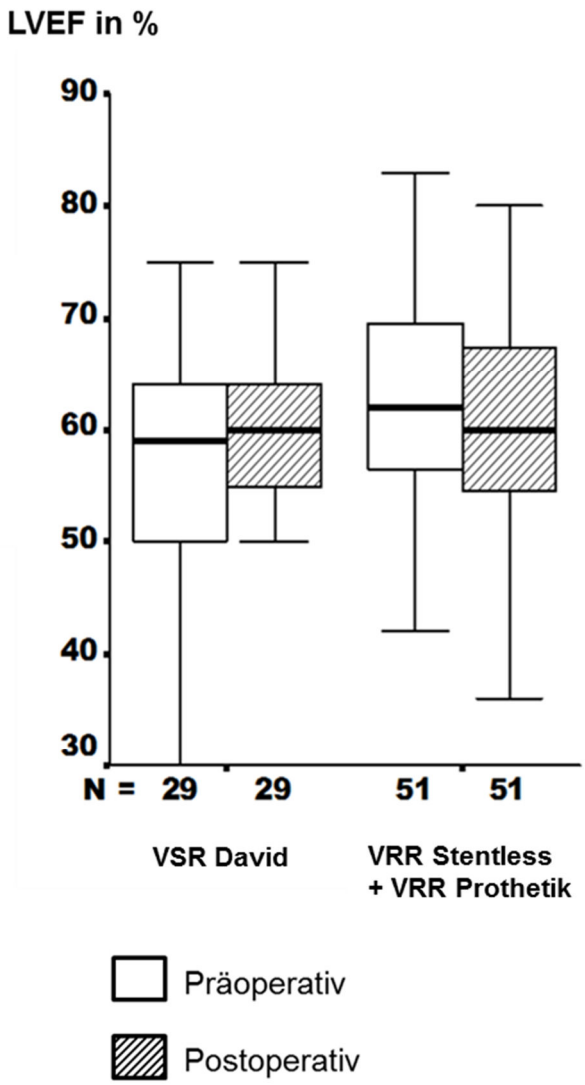



**Abb. 13. Prä- und postoperative Ejektionsfraktion des linken Ventrikels bei VSR David vs. VRR Stentless und VRR Prothetik (*n* = 80).** Die präoperative Echokardiographie zeigte Ejektionsfraktionen (M ± SD) von 55,3 ± 12,3 % bei Patienten mit VSR David und 61,2 ± 11,0 % bei Patienten mit VRR Stentless und Prothetik (Zweistichproben-t-Test für ungepaarte Stichproben, $p = 0.030$). Postoperativ wurden Ejektionsfraktionen von 59,3 ± 9,9 % bei den Patienten aus der VSR David-Gruppe gemessen sowie 60,1 ± 10,7 % bei den Patienten mit einer VRR Stentless und Prothetik ($p = 0.697$).

In der VRR Stentless-Gruppe benötigten 16 von 34 Patienten einen oder mehrere CABG. Der Mittelwert betrug 1,0 ± 1,23. Vier Patienten erhielten je einen CABG, sieben Patienten erhielten je zwei CABG, vier Patienten benötigten je drei CABG und ein Patient erhielt vier CABG. In der VSR David-Gruppe wurden 0,51 ± 0,88 CABG gelegt. Neun von 47 Patienten benötigten je einen CABG, drei Patienten benötigten je zwei CABG und drei Patienten wurden je drei CABG gelegt. Ein Patient benötigte sowohl eine Mitralklappen- als auch eine Trikuspidalklappenrekonstruktion. In der VRR Prothetik-Gruppe wurden 0,55 ± 0,96 CABG gelegt. In der SJM-Gruppe benötigte ein Patient einen CABG, ein Patient erhielt zwei CABG und einem Dritten mussten drei CABG gelegt werden. Zwei Patienten mit einem BioValsalva erhielten je einen CABG, drei Patienten benötigten je zwei CABG und ein Patient erhielt drei CABG. Der *p*-Wert betrug 0.366.

Die Zahl der Patienten im Kreislaufstillstand und SACP aufgrund einer Bogenoperation war am höchsten in der VSR David Gruppe mit 27 von 47 Patienten (57 %). In der VRR Stentless-Gruppe wurden 13 von 34 Patienten (38 %) und in der VRR Prothetik-Gruppe 9 von 31 Patienten (29 %) am Aortenbogen operiert ($p = 0.011$). Am proximalen Bogen wurden zwölf Patienten (35 %) in der VRR Stentless-Gruppe operiert, dafür fanden sich die meisten Patienten mit Teil- oder Totalbogenersatz in der VSR David-Gruppe mit 23 Patienten (49 %).

Perioperativ benötigten Patienten der VRR Prothetik-Gruppe signifikant häufiger Blutprodukte. Es wurden im Mittel 14,94 ± 16,16 Einheiten Erythrozytenkonzentrate, 13,87 ± 16,36 Einheiten Frischplasma sowie 4,70 ± 4,45 Einheiten Thrombozytenkonzentrate benötigt. Patienten mit VSR David benötigten im Mittel 8,63 ± 5,21 Einheiten Erythrozytenkonzentrate, 7,11 ± 4,62 Einheiten Frischplasma sowie 3,52 ± 2,10 Einheiten Thrombozytenkonzentrate. Die wenigsten Blutprodukte benötigte VRR Stentless. Es wurden im Mittel 8,18 ± 4,08 Einheiten Erythrozytenkonzentrate, 5,97 ± 3,13 Einheiten Frischplasma sowie 2,38 ± 1,80 Einheiten Thrombozytenkonzentrate von der Blutbank angefordert.

Die Abklemmzeiten waren länger bei Patienten, die eine VSR David erhielten, am niedrigsten waren die Zeiten in der VRR Stentless-Gruppe. Die Abklemmzeiten betrugen bei VSR David 140 ± 38 Minuten, bei VRR Stentless 113 ± 28 Minuten und bei VRR Prothetik 129 ± 53 Minuten. Die Perfusionszeiten lagen in der VSR David-Gruppe bei 207 ± 68 Minuten, VRR Stentless kam auf 163 ± 40 Minuten und in der VRR Prothetik betrug die Perfusionszeit 197 ± 111 Minuten. Der *p*-Wert betrug 0.001.

**Tabelle 5. Präoperative Risiken, echokardiographische Daten und technische prozedurale Merkmale (*n* = 112). Teil 1.**

| Parameter | VSR David (*n* = 47) | VRR Stentless (*n* = 34) | VRR Prothetik (*n* = 31) | *p*-Wert |
|---|---|---|---|---|
| Mittleres Alter (Jahre ± SD) | 64,0 ± 11,3 | 72,9 ± 6,4 | 63,7 ± 14,4 | +0.001 |
| EuroSCORE II (M ± SD) | 10,8 ± 10,8 | 10,4 ± 8,2 | 15,9 ± 20,3 | *0.836/ 0.206 |
| Akute Typ A-Dissektion, Anzahl (%) | 17 (36) | 1 (3,4) | 11 (35,5) | #0.049 |
| Maximaler aortaler Durchmesser im CT, cm (M ± SD), *n* = 100 | 5,7 ± 1,0 | 4,0 ± 1,1 | 5,4 ± 1,0 | *< 0.001/ 0.254 |
| Präop. KÖF, cm² (M ± SD), *n* = 51 | 2,72 ± 0,57 | 0,87 ± 0,30 | 1,23 ± 0,72 | +0.000 |
| Präop. echokardiographische $V_{max,}$ m/s, (M ± SD), *n* = 58 | 1,67 ± 0,42 | 2,97 ± 1,42 | 2,72 ± 1,27 | *< 0.001/ 0.006 |
| Präop. $\Delta P_{mean,}$ mmHg, (M ± SD), *n* = 55 | 25,3 ± 38,6 | 67,0 ± 23,2 | 59,7 ± 28,0 | *0.018/ 0.046 |
| LVEF (%, M ± SD (Median)), *n* = 101 | 59,3 ± 9,95 (60) | 58,6 ± 12,01 (60) | 62,2 ± 8,4 (64) | +0,360 |
| Anzahl der notwendigen CABGs (M ± SD), | 0,51 ± 0,88 | 1,0 ± 1,23 | 0,55 ± 0,96 | #0.366 |
| davon | *n* = 15 | *n* = 16 | *n* = 9 | #0.946 |
| 1 CABG | 9 | 4 | 3 | |
| 2 CABG | 3 | 7 | 4 | |
| 3 CABG | 3 | 4 | 2 | |
| 4 CABG | 0 | 1 | 0 | |
| Mitralklappenrekonstruktion | 3 | 0 | 0 | #0.068 |
| Trikuspidalrekonstruktion | 1 | 0 | 0 | #0.297 |

+ ANOVA
* t-Test (berechnet für VSR David vs. VRR Stentless und VSR David vs. VRR Prothetik)
# $\chi^2$-Test

**Tabelle 5. Präoperative Risiken, echokardiographische Daten und technische prozedurale Merkmale (*n* = 112). Teil 2.**

| Parameter | VSR David (n = 47) | VRR Stentless (n = 34) | VRR Prothetik (n = 31) | *p*-Wert |
|---|---|---|---|---|
| Kreislaufstillstand mit SACP (proximaler Bogen, Teil- oder Totalbogen), Anzahl (%) | 27 (57) | 13 (38) | 9 (29) | #0.011 |
| Proximaler Aortenbogen, Anzahl (%) | 4 (9) | 12 (35) | 1 (3) | #0.855 |
| Teil- oder Totalbogen, Anzahl (%) | 23 (49) | 1 (3) | 8 (26) | #0.005 |
| Anzahl der Erythrozytenkonzentrate aus der Blutbank, Einheiten (M ± SD) | 8,63 ± 5,21 | 8,18 ± 4,08 | 14,94 ± 16,16 | *0.664/ 0.043 |
| Anzahl der Frischplasmen, Einheiten (M ± SD) | 7,11 ± 4,62 | 5,97 ± 3,13 | 13,87 ± 16,36 | *0.196/ 0.035 |
| Anzahl der Thrombozytenkonzentrate, Einheiten (M ± SD) | 3,52 ± 2,10 | 2,38 ± 1,80 | 4,70 ± 4,45 | *0.017/ 0.187 |
| Abklemmzeit, Minuten (M ± SD) | 140 ± 38 | 113 ± 28 | 129 ± 53 | *0.001/ 0.340 |
| Perfusionszeit, Minuten (M ± SD) | 207 ± 68 | 163 ± 40 | 197 ± 111 | *0.001/ 0.673 |

+ ANOVA
* t-Test (berechnet für VSR David vs. VRR Stentless und VSR David vs. VRR Prothetik)
# $\chi^2$-Test

### 4.4 AV-Block und postoperative Komplikationen

AV-Überleitungsstörungen waren in der VRR Prothetik-Gruppe signifikant am höchsten. Fünf von 31 Patienten (20 %) hatten einen AV-Block I° und drei Patienten (12 %) hatten einen AV-Block III°. Dieser entwickelte sich in zwei Fällen nicht zurück, was eine Herzschrittmacherimplantation induzierte. In der VSR David-Gruppe gab es vier AV-Blöcke I° (9,1 %) und in der VRR Stentless-Gruppe sechs AV-Blöcke I° (6 %). Der *p*-Wert betrug 0.017 (Tabelle 6).

Es gab zwei (4,3 %) Re-Thorakotomien in der VSR-David-Gruppe aufgrund von Blutungen, aber keine in der VRR Stentless- oder Prothetik-Gruppe. Sieben Patienten

(22,6 %) aus der VRR Prothetik-Gruppe erlitten eine kardiopulmonale, renale oder hepatische Insuffizienz. In der VSR David-Gruppe waren es sechs Patienten (12,8 %). Je einen ischämischen Insult gab es in jeder Gruppe.

**Tabelle 6. Frühe postoperative echokardiographische und klinische Ergebnisse (*n* = 112)**

| Parameter | VSR David (*n* = 47) | VRR Stentless (*n* = 34) | VRR Prothetik (*n* = 31) | *p*-Wert |
|---|---|---|---|---|
| Postoperative echokardiographische $V_{max}$ über der Klappe (m/s, M ± SD), *n* = 95 | 1,67 ± 0,54 | 1,98 ± 0,45 | 2,29 ± 0,39 | *0.012/ < 0.001 |
| Postoperativer $\Delta P_{mean}$ (mmHg, M ± SD), *n* = 49 | 17,8 ± 14,4 | 19,7 ± 7,4 | 26,6 ± 10,4 | *0.689/ 0.094 |
| Postoperative LVEF (%, M ± SD (Median)), *n* = 86 | 55,29 ± 12,31 (59) | 61,39 ± 11,73 (62) | 61,04 ± 10,47 (60) | +0.059 |
| Postoperative KÖF, cm² (M ± SD), *n* = 6 | 1,77 ± 0,51 (1,90) | 1,55 ± 1,20 (1,55) | 2,70 ± 0,00 (2,70) | +0.562 |
| Postoperative AI Grad I und II, Anzahl (%), *n* = 104 | 11 (23,4) 2 (4,3) | 0 | 0 | #0.007 |
| Postoperativer AV-Block Grad I, II, III, Anzahl (%), *n* = 103 | 4 (9,1), 0, 0 | 6 (17,6), 0, 0 | 5 (20), 0, 3 (12) | #0.017 |
| 30-Tage-Mortalität, Anzahl (%) | 3 (6,4) | 0 | 7 (22,6) | #0.004 |
| Postoperative Komplikationen, Anzahl (%) | 10 (21.3) | 1 (2.9) | 11 (35.5) | #0.004 |
| Blutung mit Re-Thorakotomie | 2 (4,3) | 0 | 0 | #0.139 |
| Kardiopulmonale, renale oder hepatische Insuffizienz | 6 (12,8) | 0 | 7 (22,6) | #0.307 |
| Ischämischer Insult | 1 (2,1) | 1 (2,9) | 1 (3,2) | #0.761 |
| Schrittmacher-Implantation | 0 | 0 | 2 (6,5) | #0.048 |

Kaplan-Meier-Überlebenskurve für elektive Operationen (Log-Rank-Test)
* t-Test (berechnet für VSR David vs. VRR Stentless und VSR David vs. VRR Prothetik)
# $\chi^2$-Test

## 4.5 Liegedauer auf ICU

Abbildung 14 zeigt die Datenverteilung der Dauer des Krankenhausaufenthaltes in Tagen sowie die Liegedauer auf der ICU und auf der IMC, zusammengefasst als ICU. Perioperativ verstarben zehn Patienten, sie wurden für diese Berechnung ausgeschlossen. Die Dauer des Krankenhausaufenthaltes betrug bei VSR David 16,9 ± 8,3 Tage, davon lag der Patient 7,8 ± 7,5 Tage auf der ICU. Die Patienten mit VRR Stentless und Prothetik lagen 16,8 ± 9,3 Tage im Krankenhaus, 5,7 ± 8,8 Tage verbrachten sie auf der ICU (Zweistichproben-t-Test, $p = 1.96$).

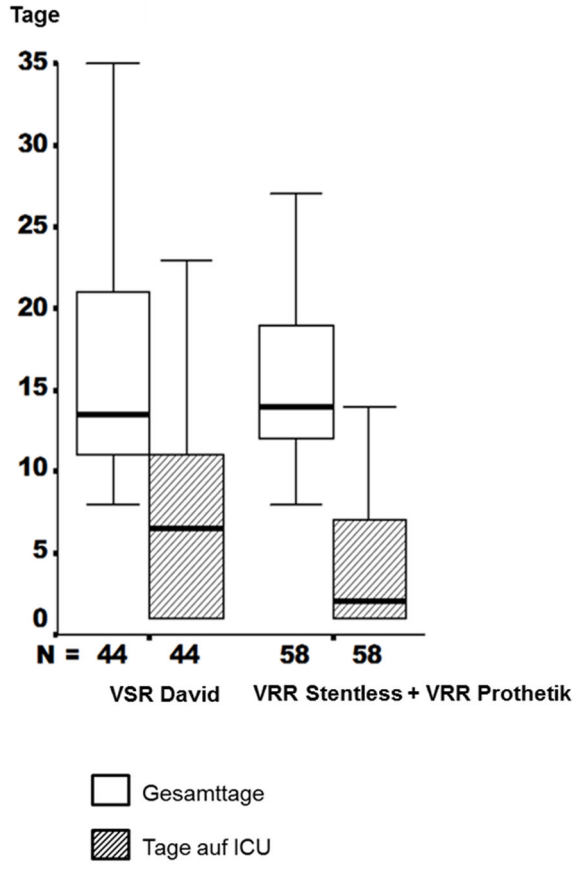



**Abb. 14. Liegedauer gesamt inkl. Liegedauer ICU bei VSR David vs. VRR Stentless und Prothetik**. Die Dauer des Krankenhausaufenthaltes betrug bei Patienten in der VSR David-Gruppe ($n = 44$) 16,9 ± 8,3 Tage, davon lag der Patient 7,8 ± 7,5 Tage auf der ICU. Die Patienten aus den VRR Stentless und VRR Prothetik-Gruppen ($n = 58$) lagen 16,8 ± 9,3 Tage im Krankenhaus, 5,7 ± 8,8 Tage verbrachten sie auf der ICU (Zweistichproben-t-Test, $p = 1.96$).

### 4.6 ICU und EuroSCORE II

Die Datenanalyse ergab, dass die Patienten in der VRR Stentless-Gruppe im Vergleich zu den Gruppen VSR David und VRR Prothetik den niedrigsten EuroSCORE II hatten. Dieser betrug bei VRR Stentless im Mittel 10,4 ± 8,2 (*p*-Wert = 0.836). Etwas höher lag er bei VSR David mit 10,8 ± 10,8. Am höchsten war er in der VRR Prothetik-Gruppe mit 15,9 ± 20,3 (*p*-Wert = 0.206).

Die Zahl der ICU Tage stand nicht im Zusammenhang mit dem Aortenwurzelverfahren, sondern hing vom Gebrauch des Kreislaufstillstands ab und korrelierte mit dem EuroSCORE II. Patienten mit einem schlechten EuroSCORE II lagen länger auf der ICU, unabhängig davon, welchem Operationsverfahren sie sich unterzogen, ob sie unter Kreislaufstillstand operiert wurden oder ob sie an einer Typ A-Dissektion erkrankten.

Die mittlere Aufenthaltsdauer auf der ICU in Bezug zum EuroSCORE II betrug bei VSR David 7,8 ± 7,4 Tage gegenüber 5,5 ± 8,4 Tagen bei den VRR-Patienten (*unpaired* t-Test, $p = 0.119$) (Abb. 15).

Die mittlere Aufenthaltsdauer auf der ICU in Bezug zum EuroSCORE II betrug für Patienten, die im Kreislaufstillstand operiert wurden ($n = 44$) 8,4 ± 10,6 Tage gegenüber 5,3 ± 5,8 Tage bei Patienten ohne Kreislaufstillstand ($n = 58$) (*unpaired* t-Test, $p = 0.061$) (Abb. 16).

Typ A-Dissektionen fanden sich mit einer Anzahl von 17 (36 %) am häufigsten in der VSR David-Gruppe, in der VRR Prothetik-Gruppe waren es 11 (35,5 %) Fälle. In der VRR Stentless-Gruppe gab es eine (3,4 %) Typ A-Dissektion (*p*-Wert = 0.049). Die mittlere Aufenthaltsdauer auf der ICU in Bezug zum EuroSCORE II betrug für Patienten mit Typ A-Dissektion ($n = 21$) 8,7 ± 6,8 Tage gegenüber 6,1 ± 8,6 Tage bei Patienten ohne Typ A-Dissektion ($n = 81$) (*unpaired* t-Test, $p = 0.206$) (Abb. 17).

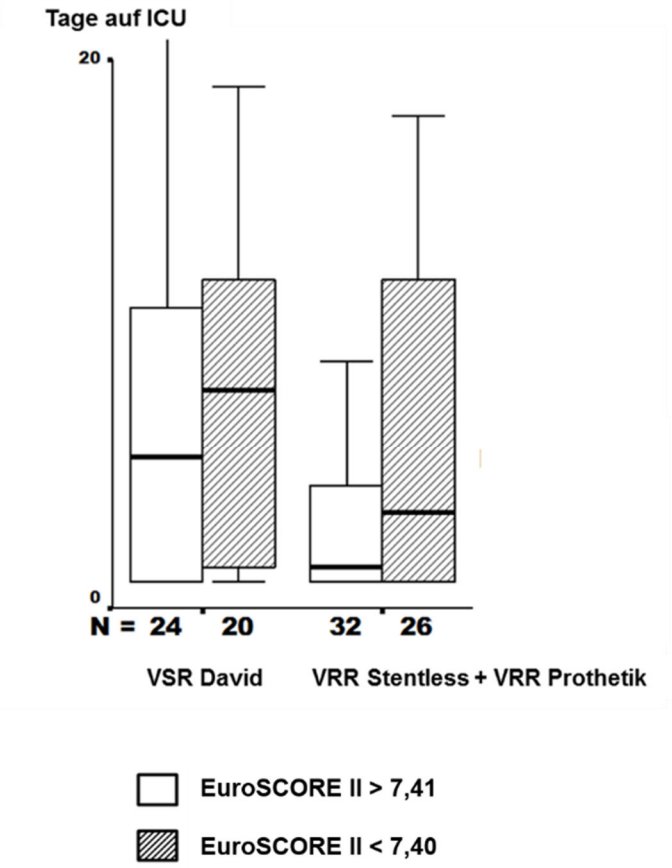



**Abb. 15. Tage auf der ICU in Abhängigkeit vom EuroSCORE II.** Die mittlere Aufenthaltsdauer auf der ICU in Bezug zum EuroSCORE II betrug bei VSR David ($n = 44$) 7,8 ± 7,4 Tage gegenüber 5,5 ± 8,4 Tagen bei den VRR-Patienten ($n = 58$) (*unpaired* t-Test, $p = 0.119$).

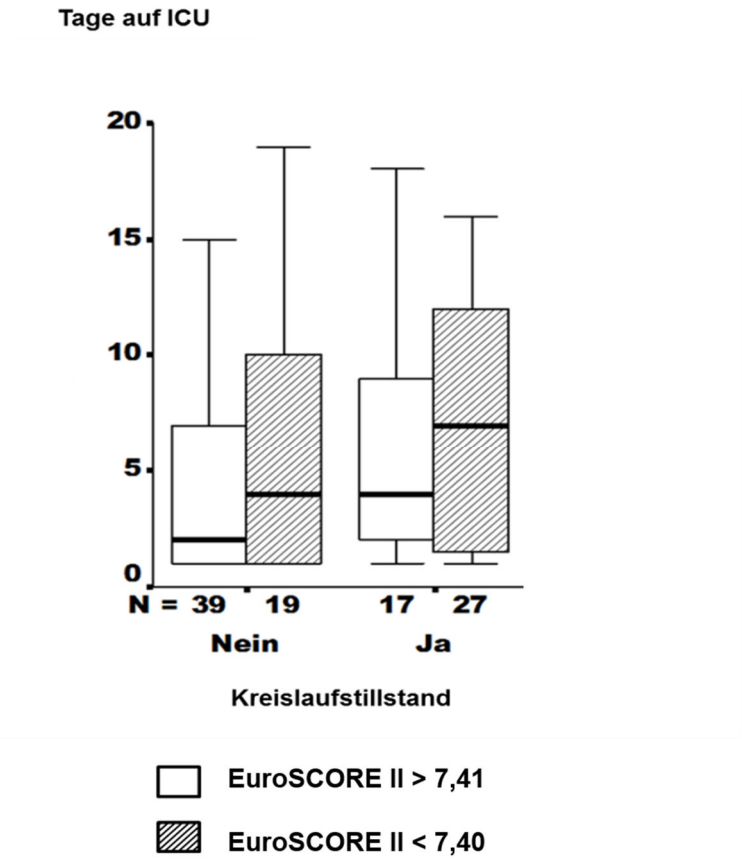



**Abb. 16. Tage auf der ICU in Abhängigkeit vom EuroSCORE II und Kreislaufstillstand**. Die mittlere Aufenthaltsdauer auf der ICU in Bezug zum EuroSCORE II betrug für Patienten, die im Kreislaufstillstand operiert wurden ($n$ = 44) 8,4 ± 10,6 Tage gegenüber 5,3 ± 5,8 Tage bei Patienten ohne Kreislaufstillstand ($n$ = 58) (*unpaired* t-Test, $p$ = 0.061).

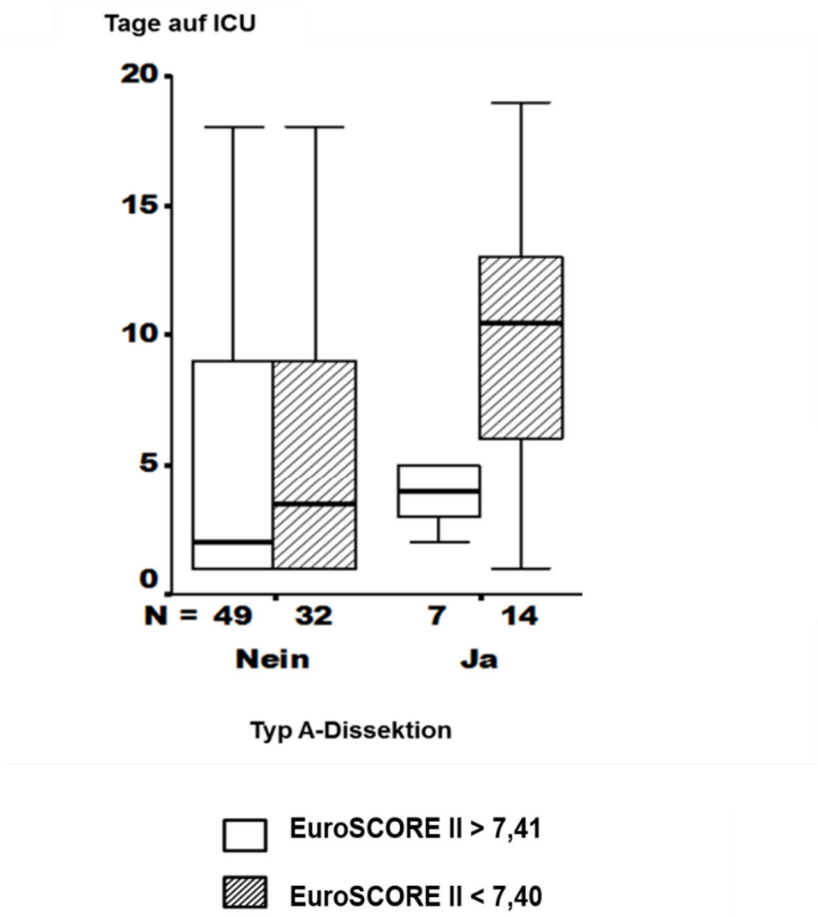



**Abb. 17. Tage auf der ICU in Abhängigkeit vom EuroSCORE II und Typ A-Dissektion.** Die mittlere Aufenthaltsdauer auf der ICU in Bezug zum EuroSCORE betrug für Patienten mit Typ A-Dissektion ($n = 21$) 8,7 ± 6,8 Tage gegenüber 6,1 ± 8,6 Tage bei Patienten ohne Typ A-Dissektion ($n = 81$) (*unpaired* t-Test, $p = 0.206$).

## 4.7 Überlebensdaten

Perioperativ verstarben zehn Patienten, davon unterzogen sich drei Patienten (30 %) einer VSR David, sieben Patienten (70 %) erhielten eine VRR Prothetik. Von den Verstorbenen waren sechs Männer (60 %) und vier Frauen (40 %).

Vier Patienten wurden notfallmäßig wegen einer akuten Typ A-Dissektion operiert, fünf Patienten hatten ein dringliches Aortenaneurysma, ein Patient litt unter einer akuten Aortenklappenendokarditis. Drei Patienten verstarben aufgrund eines Multiorganversagens, weitere drei Patienten verstarben wegen eines Kreislaufversagens. Der Patient mit Endokarditis verstarb an einer Sepsis. Ein Patient verstarb aufgrund einer Typ A-Dissektion bei gleichzeitig aufgetretenen Stammganglien- und Mediainfarkt. Ein weiterer Patient hatte eine maligne Kammerflimmerepisode (siehe Tabelle 7).

**Tabelle 7. Ursachen der perioperativen Mortalität**

| Ursache | *n* |
|---|---|
| Multiorganversagen | 3 |
| Kreislaufversagen | 3 |
| Sepsis | 1 |
| Mediainfarkt, Stammganglieninfarkt | 1 |
| Maligne Kammerflimmerepisode | 1 |
| Elektromechan. Pumpinsuffizienz | 1 |

Die 30-Tage-Mortalität lag in der VRR Stentless-Gruppe bei Null, sie war mit sieben Patienten (22,6 %) in der VRR Prothetik-Gruppe am höchsten (Tabelle 6). In der VSR David-Gruppe ($n = 47$) verstarben drei Patienten (6,4 %).

In der VRR Prothetik-Gruppe litten jeweils drei von den Verstorbenen an einer akuten Typ A-Dissektion mit oder ohne Aneurysma bzw. unter einem Aneurysma mit Klappeninsuffizienz. Ein Patient hatte ein Aneurysma mit Klappendegeneration. In der VSR David-Gruppe verstarben 3 von 17 Patienten (17,6 %), die an einer Typ A-Dissektion erkrankt waren, innerhalb der ersten 30 Tage.

In Tabelle 8 ist die mittlere Überlebenszeit in Monaten in Bezug auf die präoperativen Risikofaktoren dargestellt. Anhand des Log-Rank-Tests konnte festgestellt werden, dass

Männer im Mittel 34,58 Monate (95 %-KI 31,79 – 37,37) überlebten, Frauen hingegen 25,11 Monate (95 %-KI 19,94 – 30,28) ($p = 0.0078$). Patienten jünger als 70 Jahre überlebten im Mittel vier Monate länger als über 70-jährige, nämlich 33,76 Monate (95 %-KI 30,48 – 37,04) im Vergleich zu 29,28 Monaten (95 %-KI 25,10 – 33,46). Dies ist statistisch jedoch nicht signifikant. Der *p*-Wert betrug 0.2479.

Ein EuroSCORE II unter 7,4 bedeutete, dass der Patient im Mittel 36,86 Monate (95 %-KI 34,68 – 39,04) überlebte. Die Überlebenszeit verschlechterte sich signifikant, wenn der EuroSCORE II höher als 7,4 lag, nämlich im Mittel 23,23 Monate (95 %-KI 19,43 – 27,03). Der *p*-Wert betrug 0.0005. Ein weiterer signifikanter Risikofaktor für eine niedrige Überlebensrate war die Typ A-Dissektion. Die mittlere Überlebenszeit betrug 20,45 Monate (95 %-KI 14,70 – 26,19) versus 34,72 Monate ohne Typ A-Dissektion (95 %-KI 32,18 – 37,25). Der *p*-Wert betrug 0.0002.

Operationen im Kreislaufstillstand führten zu einem mittleren Überleben von 25,08 Monaten (95 %-KI 21,14 – 29,03) gegenüber 33,51 Monate ohne Kreislaufstillstand (95 %-KI 30,28 – 36,75). Dies war jedoch nicht signifikant. Der *p*-Wert betrug 0.1519. Wurden gleichzeitig CABGs angelegt oder die Mitralklappe operiert, so verschlechterte sich das Überleben ebenfalls. Patienten ohne zusätzlich benötigten CABG überlebten 33,32 Monate (95 %-KI 30,15 – 36,51) im Vergleich zu 28,26 Monaten mit CABG (95 %-KI 23,19 – 33,34). Der *p*-Wert betrug hier 0.1120. Bei gleichzeitiger Mitralklappenrekonstruktion lag das mittlere Überleben bei 31,99 Monaten (95 %-KI 29,21 – 34,78) versus 22,59 Monate (95 %-KI 12,83 – 32,35). Der *p*-Wert betrug 0.7945.

Keine der untersuchten Aortenwurzelverfahren schien per se das Überleben negativ zu beeinflussen. Bei Patienten mit VSR David betrug die mittlere Überlebenszeit 28,79 Monate (95 %-KI 25,74 – 31,84), bei VRR Stentless und VRR Prothetik 30,57 Monate (95 %-KI 26,76 – 34,38). Der *p*-Wert betrug 0.2309.

**Tabelle 8. Univariate Analyse der mittleren Überlebenszeit in Monaten bezogen auf präoperative Risikofaktoren***

| Parameter | *p*-Wert | Mittleres Überleben, Monate (95 %-Konfidenzintervall) | |
|---|---|---|---|
| | | Wenn ja: | Wenn nein: |
| Weibliches Geschlecht | 0.0078 | 25,11 (19,94 – 30,28) | 34,58 (31,79 – 37,37) |
| Altersgruppe (≤ 70 Jahre) | 0.2479 | 33,76 (30,48 – 37,04) | 29,28 (25,10 – 33,46) |
| EuroSCORE ≤ 7,4 % | 0.0005 | 36,86 (34,68 – 39,04) | 23,23 (19,43 – 27,03) |
| VSR David | 0.2309 | 28,79 (25,74 – 31,84) | 30,57 (26,76 – 34,38) |
| Typ A-Dissektion | 0.0002 | 20,45 (14,70 – 26,19) | 34,72 (32,18 – 37,25) |
| Gleichzeitiger CABG | 0.1120 | 28,26 (23,19 – 33,34) | 33,32 (30,15 – 36,51) |
| Gleichzeitige Mitralklappen-rekonstruktion | 0.7945 | 22,59 (12,83 – 32,35) | 31,99 (29,21 – 34,78) |
| Kreislaufstillstand | 0.1519 | 25,08 (21,14 – 29,03) | 33,51 (30,28 – 36,75) |

**Log-Rank-Test*

Das multivariate Cox-Regressionsmodell zeigt, dass ein Kreislaufstillstand und ein höherer EuroSCORE II das Überleben negativ beeinflussten (Tabelle 9).

**Tabelle 9. Multivariate Cox-Regressionsanalyse der Überlebensdaten**

| Parameter | *p*-Wert | 95 %-Konfidenzintervall | |
|---|---|---|---|
| | | von | bis |
| Geschlecht | 0.61 | 0,25 | 20,27 |
| Altersgruppe (≤ 70 Jahre vs. älter) | 0.08 | 0,15 | 10,10 |
| VSR David vs. VRR (Bio + Prothetik) | 0.33 | 0,61 | 40,47 |
| EuroSCORE II-Gruppe (≤ 7,4 vs. höher) | 0.06 | 0,96 | 160,89 |
| Typ A-Dissektion | 0.15 | 0,74 | 70,68 |
| Gleichzeitiger koronararterieller Bypass | 0.61 | 0,18 | 180,42 |
| Gleichzeitige Mitralklappen-rekonstruktion | 0.85 | 0,30 | 20,67 |
| Kreislaufstillstand | 0.01 | 10,52 | 120,17 |

Abbildung 18 zeigt die Kaplan-Meier-Überlebenskurven der 112 Patienten in Bezug auf die Aortenpathologie ($p = 0.023$; Log-Rank-Test).

Es zeigt sich, dass

- 17 von 20 Patienten (85 %) mit Stenose eine mittlere Überlebenszeit von 26,6 Monaten (95 %-KI 22,3 – 30,8) hatten,
- 28 von 30 Patienten (93,3 %) mit Aneurysma und Anulusdilatation eine mittlere Überlebenszeit von 30,6 Monaten (95 %-KI 27,9 – 33,3) hatten,
- 29 von 33 Patienten (87,9 %) mit Aneurysma und Klappendegeneration eine mittlere Überlebenszeit von 34,2 Monaten (95 %-KI 30,0 – 38,4) hatten und
- 18 von 29 Patienten (62 %) mit Typ-A-Dissektion eine mittlere Überlebenszeit von 20,45 Monaten (95 %-KI 14,7 – 26,2) hatten.

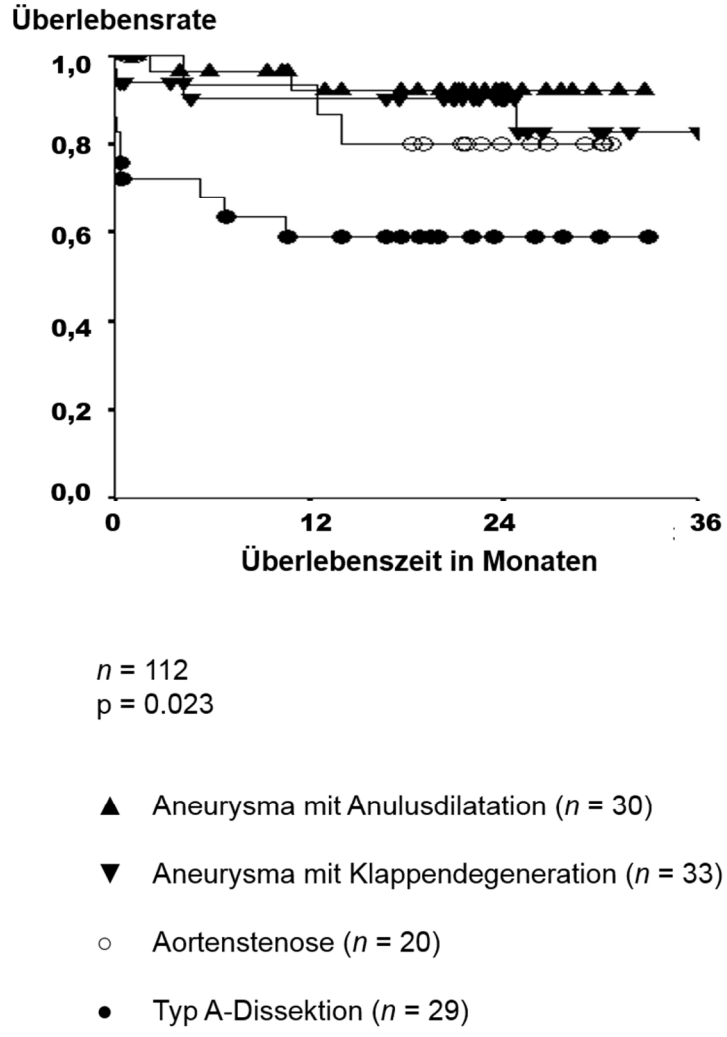



**Abb. 18. Kaplan-Meier-Überlebenskurve für 112 Patienten bei verschiedenen Aortenpathologien.** 28 von 30 Patienten (93,3 %) mit Aneurysma und Anulusdilatation hatten eine mittlere Überlebenszeit von 30,6 Monaten (95 %-KI 27,9 – 33,3). 29 von 33 Patienten (87,9 %) mit Aneurysma und Klappendegeneration überlebten im Mittel 34,2 Monate (95 %-KI 30,0 – 38,4). Bei 17 von 20 Patienten (85 %) mit Stenose betrug die mittlere Überlebenszeit 26,6 Monate (95 %-KI 22,3 – 30,8). 18 von 29 Patienten (62 %) mit Typ-A-Dissektion hatten eine mittlere Überlebenszeit von 20,45 Monaten (95 %-KI 14,7 – 26,2). Der p-Wert betrug 0.023.

Abbildung 19 zeigt die Überlebenskurven für Patienten ohne Typ-A-Dissektion. In der genannten Periode (Kaplan-Meier-Kurve, $p = 0.648$, Log-Rank-Test) überlebten

- 28 von 30 Patienten mit VSR David (93,3 %, mittlere Überlebenszeit 30,6 Monate, 95 %-KI 27,6 – 33,3),
- 29 von 33 mit VRR Stentless (87,9 %, mittlere Überlebenszeit 28,4 Monate, 95%-KI 25,2 – 31,5) und
- 17 von 20 mit VRR Prothetik (85 %, mittlere Überlebenszeit 32,9 Monate, 95%-KI 26,7 – 39,0)

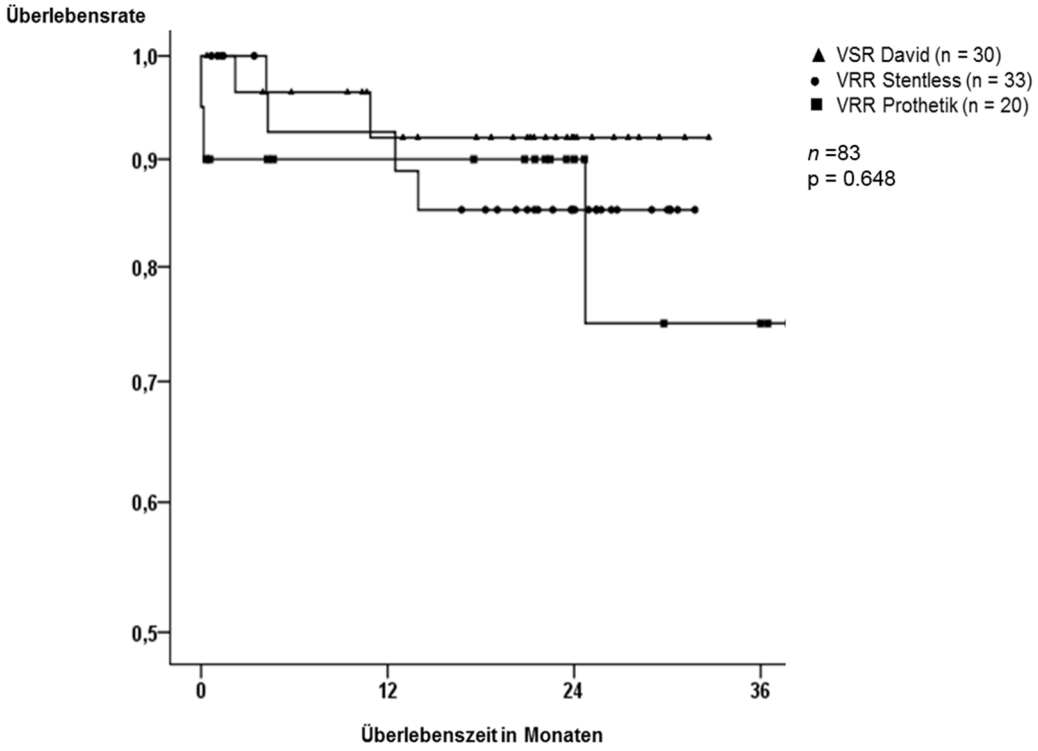



**Abb. 19. Kaplan-Meier-Überlebenskurve für 83 Patienten nach elektiven und dringlichen Eingriffen (ohne Typ A-Dissektion).** 28 von 30 Patienten (93,3 %) aus der VSR David-Gruppe hatten eine mittlere Überlebenszeit von 30,6 Monaten (95 %-KI 27,6 – 33,3). 29 von 33 (87,9 %) aus der VRR Stentless-Gruppe überlebten im Mittel 28,4 Monate (95%-KI 25,2 – 31,5). 17 von 20 Patienten (85 %) aus der VRR Prothetik-Gruppe hatten eine mittlere Überlebenszeit von 32,9 Monaten (95%-KI 26,7 – 39,0). Der p-Wert betrug 0.648.

Bei Patienten mit Typ A-Dissektion (*n* = 29) war das Überleben in der genannten *Follow-up*-Zeit am besten in der VSR David-Gruppe, wenn auch nicht signifikant unterschiedlich zu VRR Stentless und VRR Prothetik. Der p-Wert betrug 0.120 (siehe Abb. 20).

- 13 von 17 Patienten (76,5 %) mit VSR David überlebten im Mittel 25,1 Monate (95 %-KI 18,5 – 31,7),
- 1 von 1 Patienten (100 %) mit VRR Stentless überlebte das 30-Tage-Intervall, aber nicht die *Follow-up*-Zeit. Der Patient verstarb 6,7 Monate nach der Operation.
- 5 von 11 Patienten nach VRR Prothetik (45,5 %) überlebten im Mittel 11,0 Monate (95 %- KI 4,4 – 17,7) in der genannten *Follow-up*-Zeit.

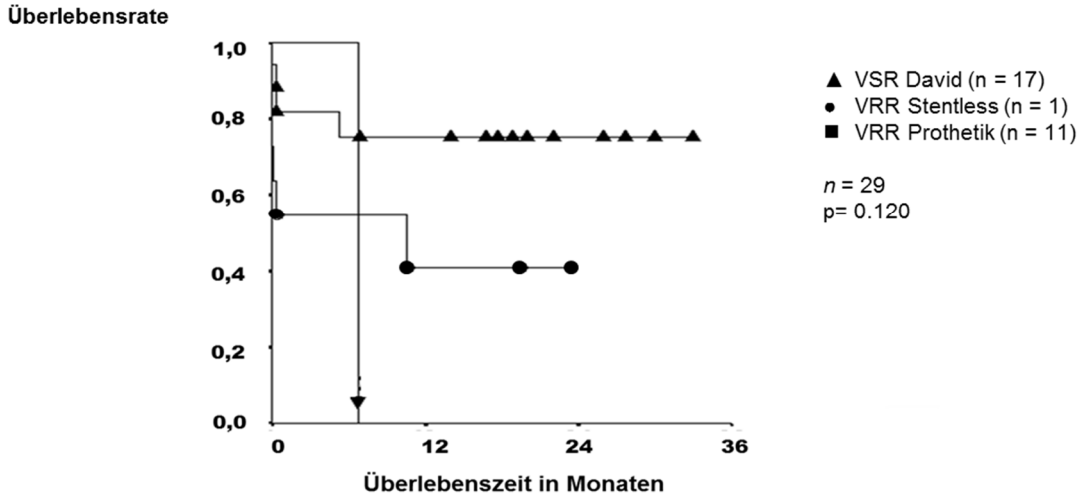



**Abb. 20. Kaplan-Meier-Überlebenskurve für 29 Patienten nach notfallmäßigem Einsatz bei Typ A-Dissektion.** 13 von 17 Patienten (76,5 %) in der VSR David-Gruppe überlebten im Mittel 25,1 Monate (95 %-KI 18,5 – 31,7). 1 von 1 Patienten (100 %) in der VRR Stentless-Gruppe überlebte das 30-Tage-Intervall, aber nicht die *Follow-up*-Zeit. Der Patient verstarb 6,7 Monate nach der Operation. 5 von 11 Patienten aus der VRR Prothetik-Gruppe (45,5 %) überlebten im Mittel 11,0 Monate (95 %- KI 4,4 – 17,7). Der p-Wert betrug 0.120.

## 4.8 Abklemmzeit und Perfusionszeit

Bei Patienten, die im Kreislaufstillstand operiert wurden (*n* = 46), betrug die Perfusionszeit 212,13 ± 91,96 Minuten versus 173,36 ± 56,38 Minuten ohne Kreislaufstillstand (*n* = 57). Die Abklemmzeiten waren bei Patienten unter Kreislaufstillstand (*n* = 46) wesentlich länger, und zwar 140,9 ± 45,4 Minuten gegenüber 119,2 ± 34,4 Minuten bei Patienten ohne Kreislaufstillstand (*n* = 57). Der *p*-Wert betrug 0.009 (Abb. 21, Tabelle 10).

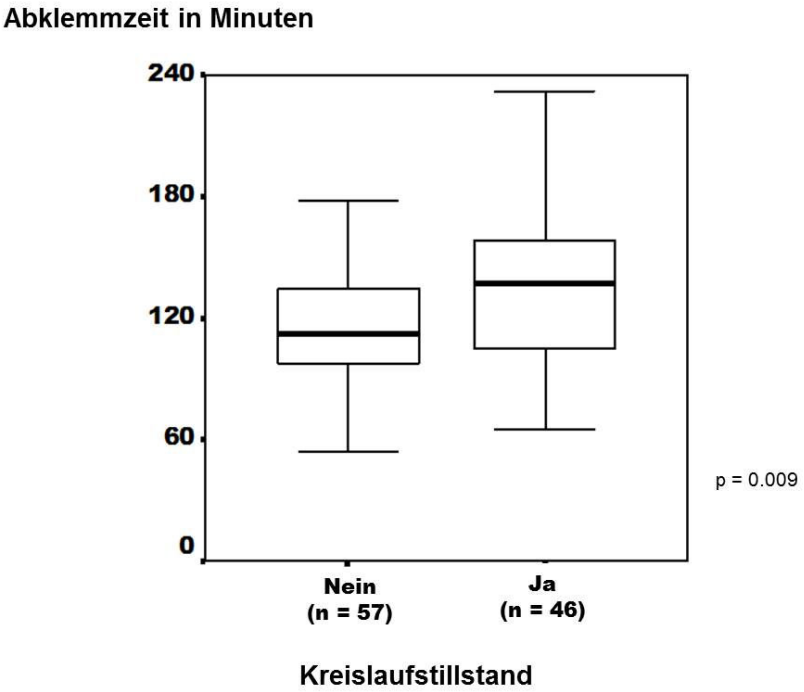



**Abb. 21. Abklemmzeiten im Kreislaufstillstand.** Die Abklemmzeiten waren bei Patienten unter Kreislaufstillstand (*n* = 46) wesentlich länger, und zwar 140,9 ± 45,4 Minuten gegenüber 119,2 ± 34,4 Minuten bei Patienten ohne Kreislaufstillstand (*n* = 57). Der *p*-Wert betrug 0.009.

**Tabelle 10. t-Test, Gruppenstatistik der Perfusions- und Abklemmzeiten im Kreislaufstillstand**

| | Kreislaufstillstand | *n* | Mittelwert | Standardabweichung | Standardfehler des Mittelwertes |
|---|---|---|---|---|---|
| Perfusionszeit (Minuten) | Nein | 57 | 173,36 | 56,384 | 7,535 |
| | Ja | 46 | 212,13 | 91,956 | 13,558 |
| Aortenabklemmung (Minuten) | Nein | 57 | 119,18 | 34,419 | 4,559 |
| | Ja | 46 | 140,89 | 45,411 | 6,695 |

Die Abklemmzeit war auch bei Patienten mit VSR David länger (140,2 ± 37,7 Minuten) verglichen mit denen, die sich einer VRR unterziehen mussten (120,1 ± 41,5 Minuten, $p = 0.012$, zweiseitiger t-Test). Die Perfusionszeit betrug bei VSR 207,11 ± 67,9 Minuten, bei VRR 178,5 ± 81,02 Minuten ($p = 0.012$, zweiseitiger t-Test) (Tabelle 11, Abb. 22,23).

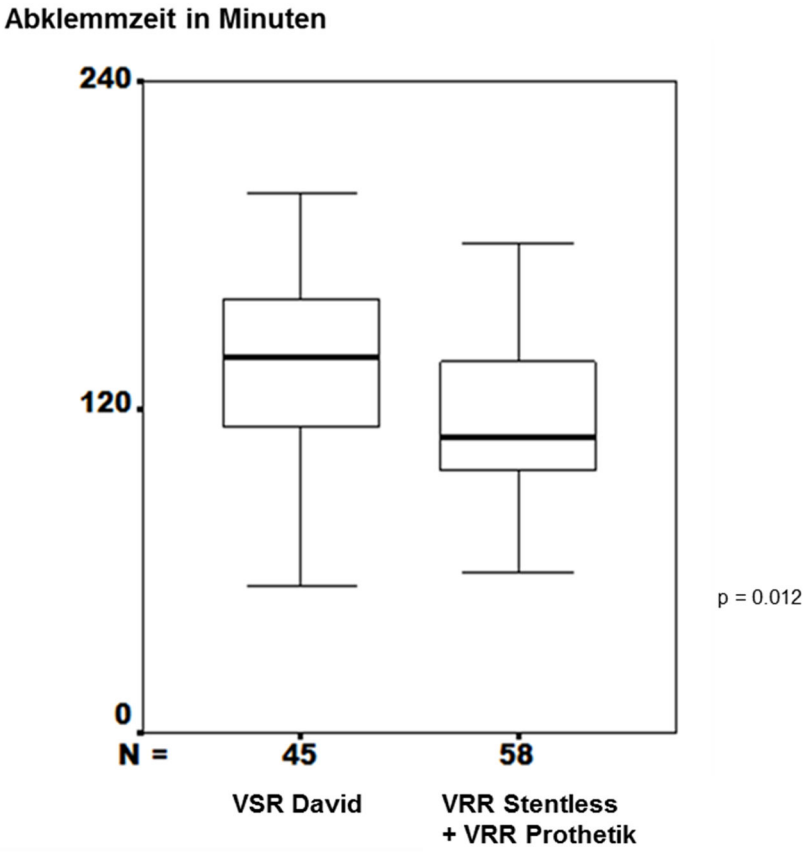



**Abb. 22. Abklemmzeit VSR David vs. VRR Stentless und VRR Prothetik.** Patienten, die sich der VSR David unterzogen hatten ($n = 45$), benötigten eine längere Abklemmzeit (140,2 ± 37,7 Minuten) verglichen mit denen, die sich einer VRR unterziehen mussten ($n = 58$) (120,1 ± 41,5 Minuten) Der $p$-Wert betrug 0.012 (zweiseitiger t-Test).

**Tabelle 11. t-Test, Gruppenstatistik der Perfusions- und Abklemmzeiten bei VSR vs. VRR**

| | OP-Verfahren | *n* | Mittelwert | Standard-abweichung | Standardfehler des Mittelwertes |
|---|---|---|---|---|---|
| Perfusionszeit (Minuten) | VSR | 45 | 205,80 | 67,765 | 10,102 |
| | VRR | 58 | 178,50 | 81,026 | 10,639 |
| Aortenabklemmung (Minuten) | VSR | 45 | 140,20 | 37,698 | 5,620 |
| | VRR | 58 | 120,09 | 41,540 | 5,454 |

Im Allgemeinen wiesen Patienten mit einer Typ A-Dissektion ($n = 28$) längere Perfusions- und Abklemmzeiten auf als Patienten ohne Typ A-Dissektion ($n = 75$) (Tabelle 12).

Die Perfusionszeit betrug 245,5 ± 99,5 Minuten gegenüber 169,9 ± 53,5 Minuten. Die Abklemmzeit mit Typ A-Dissektion betrug 159,1 ± 43,6 Minuten gegenüber 117,6 ± 33,8 Minuten. Der *p*-Wert betrug < 0.001 in beiden Vergleichen.

**Tabelle 12. t-Test, Gruppenstatistik der Perfusions- und Abklemmzeiten bei Typ A-Dissektion**

| | Dissektion | *n* | Mittelwert | Standard-abweichung | Standardfehler des Mittelwertes |
|---|---|---|---|---|---|
| Perfusionszeit (Minuten) | Nein | 75 | 169,85 | 53,434 | 6,170 |
| | Ja | 28 | 245,54 | 99,459 | 18,796 |
| Aortenabklemmung (Minuten) | Nein | 75 | 117,57 | 33,822 | 3,905 |
| | Ja | 28 | 159,14 | 43,573 | 8,234 |

# 5 Diskussion

Der mechanische Aortenklappenersatz ist seit seiner Einführung im Jahr 1968 durch Bentall der Goldstandard bei Aneurysmen, Dissektionen und Anuloektasie der Aortenwurzel (vgl. Hagl et al. (2003) S. 698 ff., zitiert nach Mazzola et al. (2012) S. 1185). Jedoch ist eine lebenslange Antikoagulation notwendig. Der biologische Aortenklappenersatz mit einer gestententen Aortenklappe hat den Nachteil, dass die effektive KÖF verringert ist. Dies führt zu einem erhöhten Patienten-Prothesen-*Mismatch* (vgl. Mazzola et al. (2012) S. 1185; Ennker J und Ennker IC (2013) S. 1). Die Verwendung einer gerüstlosen Bioklappe reduziert das Risiko des *Mismatch* (vgl. Sherrah et al. (2014) S. 111). In den letzten Jahrzehnten hat sich die VSR David bei primärer Aortenklappeninsuffizienz und sekundärer Aortenklappeninsuffizienz aufgrund einer Aortenwurzeldilatation und Erweiterung der Aorta ascendens als gute Alternative zum Aortenklappenersatz etabliert (vgl. Burkhart et al. (2003) S. 62; Jeanmart et al. (2007) S. 746, zitiert nach Boodhwani et al. (2009) S. 286). Die VSR David ist technisch sehr anspruchsvoll, der Operateur muss gute Kenntnisse über die Morphologie der Aortenwurzel haben und das Verfahren dauert wesentlich länger als die Implantation einer biologischen oder mechanischen Aortenklappe.

### 5.1.1 Geschlecht

In unserer Studie lag der Anteil an Männern, die sich einer Aortenwurzelchirugie unterzogen haben, bei 64 %. Als Risikofaktoren für die Entstehung von kalzifizierten Aortenklappenstenosen gelten Rauchen, Bluthochdruck, Hyperlipidämie und Diabetes (vgl. Stewart et al. (1997) S. 630 ff.). Eine mögliche Erklärung für den höheren Männeranteil in der vorliegenden Studie lässt sich aus der Ätiologie des Aortenaneurysmas bzw. der Aortendissektion ableiten, da mehr Männer an Hypertonie bzw. Arteriosklerose leiden als Frauen (vgl. Neuhauser, Thamm und Ellert (2013) S. 797). In der 22 Jahre dauernden Studie von David et al. (1988 bis 2010) über VSR betrug der Anteil an Männern 78 % (371 Patienten). Die Hauptindikationen waren das Aortenaneurysma mit begleitender Aortenklappeninsuffizienz bei 47 % der Patienten, Marfan-Syndrom bei 35 %, Typ A-Dissektion bei 12 % und eine bikuspide Klappe bei 9 % der Patienten (vgl. David et al. (2014) S. 1 ff.). Saczkowski et al. untersuchten in ihrer Studie über VSR bei akuter Typ A-Dissektion 2.402 Patienten. Hier lag der mittlere Männeranteil bei 68 % (vgl. Saczkowski et al. (2014) S. e220 ff.).

Des weiteren Männer haben dreimal häufiger als Frauen eine kongenital bikuspide Aortenklappe (vgl. Siu und Silversides (2010) S. 2789), was dazu führt, dass sich statistisch gesehen mehr Männer als Frauen einer Aortenklappenoperation unterziehen müssen. In der Studie von Kari et al. waren 80 % der Patienten mit bikuspider Aortenklappe männlich (vgl. Kari et al. (2014) S. 375). Svensson et al. untersuchten in ihrer Studie von 1985 bis 2011 die Reparatur der bikuspiden Klappe bei 728 Patienten, davon waren 87 % männlich (vgl. Svensson et al. (2014) S. 1540).

### 5.1.2 Patientenalter

Das Alter des Patienten beeinflusst die Klappenwahl. Biologische Aortenklappen sind leicht zu implantieren, jedoch begrenzt haltbar. Sie sind geeignet für Patienten > 65 Jahre und solche, die eine niedrige Lebenserwartung haben. In der vorliegenden Studie lag das durchschnittliche Alter der VRR Stentless-Patienten bei 72,9 ± 6,4 Jahren. Im Vergleich zu anderen Studien mit 63,5 ± 3,9 Jahren (vgl. Stassano et al. (2009) S. 1864) oder 54,8 ± 14,0 Jahren (vgl. LeMaire et al. (2009) S. 504) ist dies relativ hoch. Jedoch gab es auch eine Studie mit über 80-jährigen, die einen VRR Stentless mit 82,7 ± 2,7 Jahren erhielten und akzeptable Ergebnisse erzielten (vgl. Leontyev et al. (2009) S. 1440 ff.).

Mechanische Aortenklappen (*Conduits*) haben eine längere Haltbarkeit, benötigen jedoch eine lebenslange Antikoagulation. Sie sind indiziert bei jüngeren Patienten. In der Studie betrug das durchschnittliche Alter 63,7 ± 14,4 Jahre. Dieses Alter findet man auch in anderen Studien, zum Beispiel 64,0 ± 7,6 Jahre (vgl. Stassano et al. (2009) S. 1864) oder 60 ± 11,9 Jahre (vgl. Di Eusanio et al. (2011) S. 941). In der vorliegenden Studie wurde ersichtlich, dass das mechanische *Conduit* die höchste 30-Tage-Mortalität (22,6 %) und ein hohes Risiko an postoperativen Komplikationen, insbesondere kardiopulmonale, renale oder hepatische Insuffizienzen, aufweist. Daher stellt die VSR David nach der Studie für junge Patienten, bei denen ein prothetisches Conduit angezeigt wäre, eine gute Alternative dar, wenn die Klappenmorphologie es zulässt. Es kann nicht nur zur Verbesserung der frühen klinischen Ergebnisse beitragen, sondern es hat auch den Vorteil, dass eine Antikoagulation vermieden wird.

Die VSR David hat weiterhin die Vorteile, dass die native Klappe erhalten bleibt, das Risiko einer Endokarditis sowie thrombembolischer und hämorrhagischer Komplikationen reduziert wird und eine lebenslange Antikoagulation nicht nötig ist. „Allerdings sind

die AKr-Eingriffe [gemeint ist die Aortenklappenrekonstruktion, Anm. d. Autorin] technisch anspruchsvoll, nicht überall einheitlich und die Langzeitergebnisse sehr unterschiedlich“ (Subramanian und Borger (2010) S. 88). Bei jüngeren Patienten und solchen, mit einer höheren Lebenserwartung kann die VSR David nach der vorliegenden Studie empfohlen werden. In der vorliegenden Studie lag das durchschnittliche Alter bei 64 ± 11 Jahren. In anderen Studien lag das durchschnittliche Patientenalter mit VSR David wesentlich niedriger, nämlich 56 ± 14 Jahre (vgl. Forteza et al. (2011) S. 471), 50,2 ± 16,2 Jahre (vgl. Erasmi et al. (2007) S. S753) und 49,2 ± 16,9 Jahre (vgl. Hanke et al. (2009) S. 315). Obwohl die echokardiographischen Ergebnisse und die perioperative Mortalität besser sind, so bleiben die Langzeitergebnisse noch unklar im Hinblick auf die Haltbarkeit.

### 5.1.3 Antikoagulation

Der mechanische Aortenklappenersatz benötigt eine lebenslange Antikoagulation, was die Lebensqualität der Patienten einschränkt. Eine Antikoagulation ist kontraindiziert bei Schwangerschaft und muss auch bei Frauen im gebärfähigen Alter vermieden werden, außer wenn wirksam verhütet wird. Zudem erfordert die Antikoagulation ein lebenslanges Monitoring des INR-Werts, was für viele Patienten unbequem sein kann (vgl. Prodromo, D'Ancona, Amaducci und Pilato (2012) S. 926). Außerdem limitiert die Antikoagulation auch Aktivitäten, die ein höheres Verletzungsrisiko mit sich bringen. Bei VSR David ist eine lebenslange Antikoagulation nicht nötig, so dass die Lebensqualität erhöht ist. Dies kann für jüngere Patienten und Patientinnen sehr wichtig sein, da diese eine längere Lebenserwartung haben, sie den Wunsch haben, einen aktiven Lebensstil beizubehalten und Kinder zu gebären.

### 5.1.4 Echokardiographische Ergebnisse

In der vorliegenden Studie waren die postoperativen Fließeigenschaften über der Aortenklappe bei Patienten nach VSR David am besten. $V_{max}$ betrug 1,67 ± 0,54 m/s, $\Delta P_{mean}$ 17,8 ± 14,4 mmHg, die LVEF lag im Durchschnitt bei 59 %.

Die Gruppen VSR und VRR unterschieden sich in den präoperativen Eigenschaften erheblich. Dies geht aus den Tabellen 4 und 5 hervor. Grundsätzlich besteht hier also ein Bias. Denn die VSR-Patienten hatten zu einem ganz überwiegenden Anteil als zugrundeliegende Diagnose eine Aortenwurzelerweiterung, was dann auch trotz Rekonstruktion eine immer noch weite Aorta/Prothese ergibt.

Grundsätzlich kommt aber hinzu, dass die Öffnung einer reimplantierten Klappe nicht automatisch gut ist, wenn sie in eine Prothese eingesetzt wird. Öffnungs- und Schließverhalten werden dann von der Technik der Reimplantation bestimmt, auch wenn die Taschen morphologisch intakt waren und keine strukturellen Beeinträchtigungen bestanden haben. Insofern sind die vorgelegten Ergebnisse der Arbeit von Interesse, als dass die Reimplantation der Klappe in eine Prothese in der VSR David trotz der erheblichen Redimensionierung der Klappe - der Prothesendiameter betrug 24 bis 28 mm - dennoch eine gute Klappenfunktion ohne Stenosierung ermöglicht.

Die VRR-Prothetik-Gruppe hingegen zeigt postoperativ eine schlechtere Hämodynamik, was auf den eingearbeiteten Stent zurückzuführen ist, der Öffnungsfläche raubt. Die mechanischen Conduits haben ohnedies höhere Gradienten, da sie eine kleinere effektive KÖF und eine höhere $V_{max}$ als natürliche Klappen besitzen (vgl. Quiñones, Otto, Stoddard, Waggoner und Zoghbi (2002) S. 179). Die Funktionsweise der mechanischen Conduits erlaubt keinen laminaren Blutstrom. Rein echokardiographisch besteht hier also ebenfalls ein formales Interpretationsproblem der vorliegenden Daten. Es kann aber umgekehrt der VSR ein Vorteil der Hämodynamik damit nicht abgesprochen werden.

Der maximale aortale Durchmesser und die KÖF waren am niedrigsten in der VRR Stentless-Gruppe. Dies liegt an den präoperativen Patientenmerkmalen und dem operativen Risiko. Die Patienten litten entweder unter Aortenaneurysmen mit Klappendegenerationen oder Stenosen mit schweren Verkalkungen, so dass eine VSR David ausgeschlossen war. Da der Anulus in letzterer Gruppe < 21 mm breit war, konnte kein konventioneller Klappenersatz durchgeführt werden. Postoperativ kam es in der VRR Stentless-Gruppe zu einer besseren Hämodynamik. Dies liegt wahrscheinlich daran, dass die biologische Aortenwurzelprothese die physiologische Wurzelgeometrie beibehält und die Funktion der Taschen nicht negativ beeinflusst. Außerdem wird die KÖF bei der *Full-root*-Technik nicht verringert, so dass postoperativ $\Delta P_{mean}$ deutlich niedriger ist, die Hypertrophie des LV abnimmt und das Risiko einer postoperativen Aortenklappeninsuffizienz minimiert wird (vgl. Ennker J und Ennker IC (2013) S. 2).

### 5.1.5 Vergleich der operativen Technik hinsichtlich der Perfusions- und Abklemmzeit

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die VSR David höhere Perfusions- und Abklemmzeiten benötigt, da die Operation technisch komplexer ist. In der vorliegenden Studie waren dies 140 ± 38 Minuten Abklemmzeit bei 207 ± 68 Minuten Perfusionszeit. Bei Koolbergen et al. (2014) betrug die mittlere Abklemmzeit 140 ± 22 Minuten bei einer mittleren Perfusionszeit von 168 ± 28 Minuten (vgl. Koolbergen et al. (2014) S. 4). Beyersdorf und Rylski (2012) empfehlen eine Abklemmzeit unter 180 Minuten (vgl. Beyersdorf und Rylski (2012) S. 76). Zu hohe Abklemmzeiten bergen das Risiko eines Kardioplegieschadens mit konsekutivem *low output*.

Das Überleben der Patienten in der vorliegenden Studie wurde durch die längeren Perfusions- und Abklemmzeiten nicht negativ beeinflusst, noch fiel der Bedarf an Blutprodukten höher aus. Bei älteren Patienten mit Komorbiditäten ist eine zügigere Klappenoperation, z.B. eine Bioprothese, dennoch grundsätzlich von Vorteil (vgl. Subramanian und Borger (2010) S. 90). Dies muss aber von Fall zu Fall entschieden werden. Der Nachteil der längeren Perfusionszeit sollte gegen den möglichen Vorteil der Klappenerhaltung abgewogen werden. In der vorliegenden Studie konnte ein solcher Vorteil insgesamt für die VSR-Kohorte nachgewiesen werden.

### 5.1.6 Möglicher Vorteil der *Full-root*-Technik

Bei Patienten mit einer eingeschränkten Lebenserwartung oder Patienten über 65 Jahren könnte die VRR Stentless in *Full-root*-Technik aufgrund der günstigeren Hämodynamik durchaus eine bessere Alternative gegenüber der VRR Prothetik darstellen. Es ist allerdings eine Einschränkung zu machen, insofern, als dass die zugrundeliegenden Entitäten in den Gruppen VRR Stentless und VRR Prothetik nicht gleich waren. Randomisierte Studien sind nötig, um diese Hypothese zu überprüfen.

### 5.1.7 Taschenkorrekturen

Die Operationstechniken zur Lösung von strukturellen Klappendefekten und die Erhaltung der Klappen umfassen nicht nur die Faltung freier Taschensegelränder und den Erhalt von bikuspiden Klappen, sondern auch andere komplexere Formen der Taschensegelkorrektur, z.B. die Taschensegelaugmentation. In der VSR David-Kohorte gab es drei freie Taschensegelrandkorrekturen, fünf bikuspide Klappen wurden erhalten. Die

Interpretation der Daten zeigt, dass VSR David bei jungen Patienten mit geeigneten Taschensegelanatomien durchgeführt werden sollte.

### 5.1.8 Der Einfluss des höheren Operationsrisikos durch Aortenbogenbeteiligung, Typ-A-Dissektion und des hohen EuroSCORE II auf die Ergebnisse

#### 5.1.8.1 Einfluss der Aortenbogenbeteiligung

Hinsichtlich der Aortenbogenbeteiligung verhalten sich die Patienten in den Therapiegruppen VSR David, VRR Stentless und VRR Prothetik verschieden. Es konnte eine höhere Inzidenz von Aortenbogenverfahren unter VSR David und VRR Prothetik festgestellt werden. In beiden Gruppen hatten je etwa 36 % der Patienten eine akute Typ A-Dissektion, was der Grund für die Aortenbogenbeteiligung war. In der VRR Stentless-Gruppe lag der Anteil an Typ A-Dissektionen bei 3,4 %.

Bemerkenswert ist, dass der Anteil der Aortenbogenchirurgie, bei dem ein Kreislaufstillstand erforderlich war, bei VSR David am höchsten war, was ein zusätzliches Risiko für diese Patientengruppe darstellt. Dennoch waren die klinischen Ergebnisse bei VSR David überlegen. Hier wird deutlich, dass die besseren funktionellen Eigenschaften von VSR David die höhere technische Komplexität des Eingriffs wettmacht.

#### 5.1.8.2 Die Entität der Typ A-Dissektionen

In Tabelle 5 kann festgestellt werden, dass die Patienten der VSR David- und der VRR Prothetik-Gruppe sich in Bezug auf die Akutheit des Falls ähneln. In der VSR David litten 17 von 47 Patienten an einer Typ A-Dissektion, dies entspricht einem Anteil von 36 %. Bei VRR Prothetik erkrankten 11 von 31 Patienten an einer Typ A-Dissektion, was einem Anteil von 35,5 % entspricht. In der VRR Stentless-Gruppe gab es bei 34 Patienten nur eine Typ A-Dissektion (3,4 %).

Die Patienten mit VSR David zeigten im Vergleich zu den VRR Prothetik-Patienten bessere postoperative Ergebnisse. Dies ist nicht naheliegend, wenn man die längeren Abklemm- und Perfusionszeiten während der VSR David bedenkt. Kallenbach et al. (2005) berichteten in ihrer Studie von 53 Patienten mit einer akuten Typ A-Dissektion. Die Frühmortalität betrug 11,3 % und zwei Patienten benötigten eine Re-Operation aufgrund einer Endokarditis (vgl. Kallenbach et al. (2005) S. I-258). Erasmi et al. berichteten von 28 Patienten (41 %) mit Typ A-Dissektion, die sich einer VSR David

unterzogen. Sie kamen zu dem Schluss, dass Patienten mit Typ A-Dissektion langfristig aufgrund der größeren Stützung des Aortenanulus bei VSR David profitieren (vgl. Erasmi et al. (2007) S. S753). Hanke et al. (2009) gaben an, dass eine Typ A-Dissektion keinen Einfluss auf die postoperative Funktion der Aortenklappe habe. Auch die Langzeitergebnisse sprechen dafür, dass bei Typ-A-Dissektionen eine VSR nicht ausgeschlossen werden sollte (vgl. Hanke et al. (2009) S. 314). Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen diesen Trend.

Jedoch kann die Frage nach der bestmöglichen Wahl des operativen Verfahrens aufgrund des niedrigen Evidenzlevels der zurzeit verfügbaren Studien nicht abschließend beantwortet werden. Welche Technik bei welchem Patienten angewandt wird, bleibt eine individuelle Entscheidung, bei der die zugrunde liegende Pathologie und die Ausdehnung der Dissektion, die Komorbidität des Patienten und die anatomischen Verhältnisse berücksichtigt werden müssen.

#### 5.1.8.3 Der EuroSCORE II

Der EuroSCORE II war bei VSR David und VRR Stentless gleich, in der VRR Prothetik-Gruppe war er höher. Fasst man die unterschiedlichen Patientenmerkmale aus den Tabellen 4 und 5 zusammen, so weisen die Patienten der VSR- und der VRR Prothetik-Gruppe die meisten Ähnlichkeiten auf. Die Vergleichbarkeit in diesen beiden Gruppen besteht aus einer ähnlichen Akutheit des Falls, Aortendurchmesser und Häufigkeit einer begleitenden KHK. Dies kann eine erhebliche Einschränkung der Studie darstellen. Im Gegensatz dazu weisen die VRR Stentless-Patienten Vorteile hinsichtlich begleitender Morbidität und Risikofaktoren auf und in der Regel ging es ihnen nach der Operation besser. Die ähnlichen EuroSCORE-Werte von VSR David und VRR Prothetik legen nahe, dass die oben angestellten Vergleiche der Gruppen hinsichtlich der Mortalität und der Funktion legitim sind.

### 5.1.9 Mortalität

Trotz der jüngsten Fortschritte in der Herzchirurgie beträgt die operative Sterblichkeit für den isolierten Aortenklappenersatz zwischen 2,5 % und 4 % und ist bei den über 80-Jährigen höher (vgl. Chrysohoou et al. (2011) S. 349 ff.). Die Sterblichkeit kann bei Patienten mit Begleiterkrankungen bis zu 25 % steigen (vgl. Chrysohoou et al. (2011) S. 349 ff.). Brown et al. beschreiben in ihrer Studie, dass die beobachtete Mortalität bei

Aortenklappenersatz von 3,4 % (1997) auf 2,6 % (2006) gesunken sei. Als Gründe werden die fortgeschrittenen operativen Techniken und die verbesserte perioperative Versorgung genannt. Frauen, Patienten über 70 Jahre und Patienten mit einer Ejektionsfraktion weniger als 30 % haben ein schlechteres Ergebnis bezüglich der Mortalität (vgl. Brown et al. (2009) S. 83).

Die multivariate Analyse mit Hilfe des Cox-Regressionsmodells ergibt, dass ein höheres Alter, ein höherer EuroSCORE II und die Notwendigkeit im Kreislaufstillstand zu operieren, das Überleben negativ beeinflussen. Sehr bemerkenswert ist, dass VSR David als Faktor in dem multivariaten Modell keinen Einfluss auf das Überleben hat.

Es sollte angemerkt werden, dass die Überlebenschancen bei Patienten mit VRR Stentless, die eine Patientengruppe mit günstigeren Voraussetzungen darstellen, durch den höheren Anteil an Aortenklappenstenosen in dieser Gruppe, begünstigt sind. In Bezug auf ein kurzes *Follow-up* hat die Studie gezeigt, dass die VSR David keinen signifikanten klinischen Vorteil gegenüber VRR Stentless hat. Dies unterliegt allerdings dem oben genannten Bias.

### 5.1.10 Limitationen der Studie

Eine Heterogenität der klinischen Merkmale zwischen den klinischen Gruppen wurde in der Datenbank beobachtet. Dies könnte einige Einschränkungen der Studie repräsentieren und die Interpretation der klinischen Ergebnisse beeinflussen. Die Heterogenität von Diagnosen kann als Quelle von Verzerrungen in den vorgelegten Daten gesehen werden. Dies bildet sich in der Erfassung des EuroSCORE II.

Der Faktor OP-Technik beeinflusst das Überleben nicht allein. Aufgrund der Komplexität sind allerdings Aortenwurzeleingriffe per se ein Risiko, und innerhalb dieser Gruppe wurde eine Differenzierung versucht.

Aus den Daten ist ersichtlich, dass, obwohl die Dauer des Eingriffs durch den höheren technischen Aufwand der VSR David erhöht ist, die VSR David vorteilhaft in Bezug auf die Überlebensrate und die echokardiographischen Werte ist. Eine standardisierte OP-Technik kann dazu beitragen, perioperative Komplikationen, die aus der VSR Technik zu erwarten sind, zu verhindern. Bei den Patienten in der vorliegenden Studie spiegelt sich dies in der Dauer gleicher oder geringerer Intensivbehandlung, der Anzahl der verbrauchten Blutkonserven und der Sterblichkeit wider.

# 6 Abstract

Teile dieser Arbeit wurden als Originalarbeit im The Journal of Heart Valve Disease [A. Blehm, P. Schurr, V.A. Sorokin, I. Zianika, H. Kamiya, A. Albert, A. Lichtenberg, Comparison of different surgical techniques in 112 consecutive patients with aortic root operations: When should the valve be spared? The Journal of Heart Valve Disease 2014 Jan;23(1):9-16)] veröffentlicht.

**Comparison of different surgical techniques in 112 consecutive patients with aortic root operations: when should the valve be spared?**

BACKGROUND AND AIM OF THE STUDY:
The benefit of valve-sparing aortic root replacement compared to conventional aortic root replacement surgery remains unclear.

METHODS:
Between February 2009 and November 2010, a total of 112 patients underwent aortic root surgery at the Department of Cardiovascular and Thoracic Surgery, Heinrich-Heine-University, Dusseldorf, Germany. The valve-sparing technique was used when leaflets were grossly normal. In cases where the valve could not be saved, a prosthetic or biological substitute was used for the aortic root, according to existing guidelines. The patients were allocated to three groups: (i) valve-sparing aortic root replacement group using the David technique (VSR-David; n = 47); (ii) valve-replacing aortic root surgery with a prosthetic conduit using the Bentall-Kuchucus technique (VRR-Prosthetic; n = 31); and (iii) valve-replacing aortic root surgery with a biological stentless valve with the full root technique (VRR-Bio; n = 34).

RESULTS:
Intraoperative data revealed that, in the VSR-David group, the cardiopulmonary bypass and cross-clamp times were significantly longer (207 +/- 68 min and 140 +/- 38 min respectively; both p = 0.001). The VRR-Prosthetic patients were at highest risk (mean EuroSCORE 15.9%) compared to the VSR-David and VRR-Bio groups (10.8% and 10.4%, respectively). Postoperative analysis showed that patients in the VRR-Bio group had the lowest number of perioperative heart failures (p = 0.004). The perioperative 30-day mortality was significantly higher in the VRR-Prosthetic group (22.6%; p = 0.004). Transaortic flow velocities were significantly lower in the VSR-David group, followed by the VRR-Bio group and VRR-Prosthetic group (1.66 +/- 0.54, 1.98 +/- 0.45, and 2.29 +/- 0.39 m/s, respectively; p = 0.012). The univariate and multivariate analyses of perioperative risk factors showed that only open distal anastomosis was strongly associated with negative results, but not the valve-sparing technique.

CONCLUSION:
Aortic valve-sparing root replacement must be considered as an excellent alternative for young patients requiring aortic root replacement when a biological valve is clinically indicated. For patients aged >65 years, or with a decreased life expectancy, the full root technique with a stentless valve should be used, given its technical simplicity and excellent postoperative results.

# 7 Referenzliste


Amann-Vesti, Beatrice R., **2006**. Klinische Pathophysiologie. Georg Thieme Verlag.

Anderson, Robert H., **2007**. The surgical anatomy of the aortic root. MMCTS 2007, mmcts.2006.002527. doi:10.1510/mmcts.2006.002527

Anderson, Robert H., **2000**. ANATOMY: Clinical anatomy of the aortic root. Heart 84, 670–673. doi:10.1136/heart.84.6.670

Arastéh, Keikawus; Baenkler, Hanns-Wolf; Bieber, Christian; Brandt, Roland, Chatterjee, Tushar; **2013**. Duale Reihe Innere Medizin, 3. überarbeitete Auflage. Thieme, Stuttgart.

Aust, Sabine, **2000**. Numerische Analyse und Simulation des Blutflusses durch künstliche Herzklappen (Dissertation). Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Mathematisches Institut.

Baliga, Ragavendra R.; Nienaber, Christoph A.; Bossone, Eduardo; Oh, Jae K.; Isselbacher, Eric M.; Sechtem, Udo; Fattori, Rossella; Raman, Subha V.; Eagle, Kim A., **2014**. The Role of Imaging in Aortic Dissection and Related Syndromes. JACC Cardiovasc Imaging 7, 406–424. doi:10.1016/j.jcmg.2013.10.015

Bauer, Kerstin; Ennker, Jürgen; **2008**. Operationen am Herzen Herzklappenchirurgie, Ein Patientenratgeber, 3. ed. Steinkopff.

Baumgartner, Helmut; Hung, Judy; Bermejo, Javier; Chambers, John B.; Evangelista, Arturo; Griffin, Brian P.; Iung, Bernard; Otto, Catherine M.; Pellikka, Patricia A.; Quinones, Miguel; **2009**. Echocardiographic assessment of valve stenosis: EAE/ASE recommendations for clinical practice. European Journal of Echocardiography 10, 1–25. doi:10.1093/ejechocard/jen303

Beckmann, Andreas; Funkat, Anne-Kathrin; Lewandowski, Jana; Frie, Michael; Ernst, Markus; Hekmat, Khosro; Schiller, Wolfgang; Gummert, Jan F.; Cremer, Joachim T. **2015**. Cardiac Surgery in Germany during 2014: A Report on Behalf of the German Society for Thoracic and Cardiovascular Surgery. The Thoracic and Cardiovascular Surgeon 63, 258–269. doi:10.1055/s-0035-1551676

Bentall, H., De Bono, A., **1968**. A technique for complete replacement of the ascending aorta. Thorax 23, 338–339.

Berdajs, Denis; **2012**. Ross procedure for everyone. Swiss Med Wkly 142, w13641. doi:10.4414/smw.2012.13641

Beyersdorf, Friedhelm; Rylski, Bartosz; **2012**. Current state of the reimplantation technique (DAVID Operation): surgical details and results. HSR Proc Intensive Care Cardiovasc Anesth 4, 73–76.

Boodhwani, Munir; de Kerchove, Laurent; Glineur, David; Poncelet, Alain; Rubay, Jean; Astarci, Parla; Verhelst, Robert; Noirhomme, Philippe; El Khoury, Gébrine; **2009**. Repair-oriented classification of aortic insufficiency: impact on surgical techniques and clinical outcomes. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 137, 286–294. doi:10.1016/j.jtcvs.2008.08.054

Booher, Anna M.; Eagle, Kim A.; **2011**. Diagnosis and management issues in thoracic aortic aneurysm. American Heart Journal 162, 38–46.e1. doi:10.1016/j.ahj.2011.04.010

Bourguignon, Thierry; Bergöend, Eric; Mirza, Alain; Ayegnon, Grégoire; Neville, Paul; Aupart, Michel R.; Marchand, Michel; **2011**. Risk factors for valve-related complications after mechanical heart valve replacement in 505 patients with long-term follow up. J. Heart Valve Dis. 20, 673–680.

Brown, James M.; O'Brien, Sean M.; Wu, Changfu; Sikora, Jo Ann H.; Griffith, Bartley P.; Gammie, James S.; **2009**. Isolated aortic valve replacement in North America comprising 108,687 patients in 10 years: changes in risks, valve types, and outcomes in the Society of Thoracic Surgeons National Database. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 137, 82–90. doi:10.1016/j.jtcvs.2008.08.015

Burkhart, Harold M.; Zehr, Kenton J.; Schaff, Hartzell V.; Daly, Richard C.; Dearani, Joseph A.; Orszulak, Thomas A.; **2003**. Valve-preserving aortic root reconstruction: a comparison of techniques. J. Heart Valve Dis. 12, 62–67.

Carabello, Blase A.; Paulus, Walter J.; **2009**. Aortic stenosis. The Lancet 373, 956–966. doi:10.1016/S0140-6736(09)60211-7

Charitos, Efstratios I.; Sievers, Hans-Hinrich; **2013**. Anatomy of the aortic root: implications for valve-sparing surgery. Ann Cardiothorac Surg 2, 53–56. doi:10.3978/j.issn.2225-319X.2012.11.18

Chirillo, Fabio; Scotton, Piergiorgio; Rocco, Francesco; Rigoli, Roberto; Pedrocco, Alessandra; Martire, Paola; Daniotti, Alessandro; Minniti, Giuseppe; Polesel, Elvio; Olivari, Zoran; **2013**. Management strategies and outcome for prosthetic valve endocarditis. Am. J. Cardiol. 112, 1177–1181. doi:10.1016/j.amjcard.2013.05.059

Chrysohoou, Christina; Tsiachris, Dimitris; Stefanadis, Christodoulos; **2011**. Aortic stenosis in the elderly: challenges in diagnosis and therapy. Maturitas 70, 349–353. doi:10.1016/j.maturitas.2011.09.009

Conzelmann, Lars Oliver; Hoffmann, Isabell; Blettner, Maria; Dapunt, Otto; Kallenbach, Klaus; Karck, Matthias; Weigang, Ernst; **2009**. Deutsches Register für akute Aortendissektion Typ A (GERAADA): Motiv, Entwicklung, erste Erkenntnisse und Vision. Zeitschrift für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie 23, 298–304. doi:10.1007/s00398-009-0733-x

Coselli, Joseph S.; Hughes, Michael S.; Green, Susan Y.; Price, Matt D.; Zarda, Samantha; de la Cruz, Kim I.; Preventza, Ourania; LeMaire, Scott A.; **2014**. Valve-sparing aortic root replacement: early and midterm outcomes in 83 patients. Ann. Thorac. Surg. 97, 1267–1273; discussion 1273–1274. doi:10.1016/j.athoracsur.2013.10.076

Daniel, Werner G.; Baumgartner, Helmut; Gohlke-Bärwolf, Christa; Hanrath, Peter; Horstkotte, Dieter; Koch, Karl-Christian; Mügge, Andreas; Schäfers,Hans-Joachim; Flachskampf, Frank Arnold; **2006**. Klappenvitien im Erwachsenenalter. Clin Res Cardiol, Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie - Herz- und Kreislaufforschung e.V. 95, 620–641. doi:10.1007/s00392-006-0458-8

David, Tirone E.; **2012**. Aortic valve haemodynamics after aortic valve-sparing operations. Eur J Cardiothorac Surg 41, 788–789. doi:10.1093/ejcts/ezr119

David, Tirone E.; **2011**. How I do aortic valve sparing operations to treat aortic root aneurysm. J Card Surg 26, 92–99. doi:10.1111/j.1540-8191.2010.01172.x

David, Tirone E.; **1996**. Remodeling the Aortic Root and Preservation of the Native Aortic Valve. Operative Techniques in Cardiac and Thoracic Surgery 1, 44–56. doi:10.1016/S1085-5637(07)70080-3

David, Tirone E.; Feindel, Christopher M.; **1992**. An aortic valve-sparing operation for patients with aortic incompetence and aneurysm of the ascending aorta. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 103, 617–621; discussion 622.

David, Tirone E.; Feindel, Christopher M.; David, Carolyn M.; Manlhiot, Cedric; **2014**. A quarter of a century of experience with aortic valve-sparing operations. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. doi:10.1016/j.jtcvs.2014.04.048

De Paulis, Ruggero; Scaffa, Raffaele; Nardella, Saverio; Maselli, Daniele; Weltert, Luca; Bertoldo, Fabio; Pacini, Davide; Settepani, Fabrizio; Tarelli, Giuseppe; Gallotti, Roberto; Di Bartolomeo, Roberto; Chiariello, Luigi; **2010**. Use of the Valsalva graft and long-term follow-up. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 140, S23–27; discussion S45–51. doi:10.1016/j.jtcvs.2010.07.060

Di Eusanio, Marco; Fortuna, Daniela; De Palma, Rossana; Dell'Amore, Andrea; Lamarra, Mauro; Contini, Giovanni A.; Gherli, Tiziano; Gabbieri, Davide; Ghidoni, Italo; Cristell, Donald; Zussa, Claudio; Pigini, Florio; Pugliese, Peppino; Pacini, Davide; Di Bartolomeo, Roberto; **2011**. Aortic valve replacement: Results and predictors of mortality from a contemporary series of 2256 patients. The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery 141, 940–947. doi:10.1016/j.jtcvs.2010.05.044

Dweck, Marc R.; Boon, Nicholas A.; Newby, David E.; **2012**. Calcific Aortic Stenosis. Journal of the American College of Cardiology 60, 1854–1863. doi:10.1016/j.jacc.2012.02.093

Elkins, Ronald C.; Thompson, David M.; Lane, Mary M.; Elkins, Craig C.; Peyton, Marvin D.; 2008. Ross operation: 16-year experience. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 136, 623–630, 630.e1–5. doi:10.1016/j.jtcvs.2008.02.080

Ennker, Ina C.; Albert, Alexander; Dalladaku, Fatmir; Rosendahl, Ulrich; Ennker, Jürgen; Florath, Ines; **2011**. Midterm outcome after aortic root replacement with stentless porcine bioprostheses. Eur J Cardiothorac Surg 40, 429–434. doi:10.1016/j.ejcts.2010.12.010

Ennker, Jürgen; Ennker, Ina C.; **2013**. Gerüstloser Aortenklappenersatz. Zeitschrift für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie 27, 166–170. doi:10.1007/s00398-012-0962-2

Erasmi, Armin W.; Sievers, Hans-Hinrich; Bechtel, J.F. Matthias; Hanke, Thorsten; Stierle, Ulrich; Misfeld, Misfeld; **2007**. Remodeling or reimplantation for valve-sparing aortic root surgery? Ann. Thorac. Surg. 83, S752–756; discussion S785–790. doi:10.1016/j.athoracsur.2006.10.093

Forteza, Alberto; Centeno, Jorge; Bellot, Raquel; López Gude, Maria Jesus; Pérez de la Sota, Enrique; Sánchez, Violeta; Rufilanchas, Juan Jose; Cortina, José; **2011**. Aortic valve sparing in 120 patients with aortic root aneurysms. Rev Esp Cardiol 64, 470–475. doi:10.1016/j.recesp.2011.02.008

Franke, Ulrich; Wahlers, Thorsten; **2004**. Patientenadaptierte chirurgische Therapie von Aortenklappenfehlern. Dtsch Arztebl 101: A 1092–1098.

Gatti, Giuseppe; Dell'Angela, Luca; Morosin, Marco; Maschietto, Luca; Pinamonti, Bruno; Forti, Gabriella; Benussi, Bernardo; Nicolosi, Gian Luigi; Sinagra, Gianfranco; Pappalardo, Aniello; **2015**. Tricuspid Annuloplasty for Tricuspid Regurgitation Secondary to Left-Sided Heart Valve Disease: Immediate Outcomes and Risk Factors for Late Failure. Canadian Journal of Cardiology. doi:10.1016/j.cjca.2015.09.007

Gleason, Thomas G.; **2006**. Current Perspective on Aortic Valve Repair and Valve-Sparing Aortic Root Replacement. Seminars in Thoracic and Cardiovascular Surgery 18, 154–164. doi:10.1053/j.semtcvs.2006.07.005

Golledge, Jonathan; Eagle, Kim A.; **2008**. Acute aortic dissection. Lancet 372, 55–66. doi:10.1016/S0140-6736(08)60994-0

Grubitzsch, Herko; Schaefer, Andreas; Melzer, Christoph; Wernecke, Klaus-Dieter; Gabbieri, Davide; Konertz, Wolfgang; **2014**. Outcome after surgery for prosthetic valve endocarditis and the impact of preoperative treatment. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 148, 2052–2059. doi:10.1016/j.jtcvs.2014.05.025

Hagl, Christian; Strauch, Justus T.; Spielvogel, David; Galla, Jan D.; Lansman, Steven L.; Squitieri, Rafael; Bodian, Carol A.; Griepp, Randall B.; **2003**. Is the Bentall procedure for ascending aorta or aortic valve replacement the best approach for long-term event-free survival? Ann. Thorac. Surg. 76, 698–703; discussion 703.

Hanke, Thorsten; Charitos, Efstratios; Stierle, Ulrich; Robinson, Derek; Gorski, Armin; Sievers, Hans-Hinrich; Misfeld, Martin; **2009**. Factors associated with the development of aortic valve regurgitation over time after two different techniques of valve-sparing aortic root surgery. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 137, 314–319. doi:10.1016/j.jtcvs.2008.08.006

Hiratzka, Loren F.; Bakris, George L.; Beckman, Joshua A.; Bersin, Robert M.; Carr, Vincent F.; Casey, Donald E.; Eagle, Kim A.; Hermann, Luke K.; Isselbacher, Eric M.; Kazerooni, Ella A.; Kouchoukos, Nicolas T.; Lytle, Bruce W.; Milewicz, Dianna M.; Reich, David L.; Sen, Souvik; Shinn, Julie A.; Svensson, Lars G.; Williams, David M.; **2010**. 2010 ACCF/AHA/AATS/ACR/ASA/SCA/SCAI/SIR/STS/SVM guidelines for the diagnosis and management of patients with thoracic aortic disease: executive summary. A report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines, American Association for Thoracic Surgery, American College of Radiology, American Stroke Association, Society of Cardiovascular Anesthesiologists, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Interventional Radiology, Society of Thoracic Surgeons, and Society for Vascular Medicine. Catheter Cardiovasc Interv 76, E43–86.

Hoffmann, Grischa; Lutter, Georg; Cremer, Jochen; **2008**. Durability of bioprosthetic cardiac valves. Dtsch Arztebl Int 105, 143–148. doi:10.3238/arztebl.2008.0143

Hua, Su-rong; Liu, Chang-wei; Zheng, Yue-hong; Wu, Wei-wei; **2014**. Dysphagia as the Mere Chief Complaint of Ruptured Thoracic Aneurysm in a Patient with Systemic Lupus Erythematosus. Ann Vasc Surg. doi:10.1016/j.avsg.2014.03.003

Isselbacher, Eric M.; **2005**. Thoracic and abdominal aortic aneurysms. Circulation 111, 816–828. doi:10.1161/01.CIR.0000154569.08857.7A

Jeanmart, Hugues; de Kerchove, Laurent; Glineur, David; Goffinet, Jean-Michel; Rougui, Ishan; Van Dyck, Michel; Noirhomme, Philippe; El Khoury, Gebrin; **2007**. Aortic valve repair: the functional approach to leaflet prolapse and valve-sparing surgery. Ann. Thorac. Surg. 83, S746–751; discussion S785–790. doi:10.1016/j.athoracsur.2006.10.089

Kalfa, David; Mohammadi, Siamak; Kalavrouziotis, Dimitri; Kharroubi, Mounir; Doyle, Daniel; Marzouk, Mohamed; Metras, Jacques; Perron, Jean; **2014**. Long-term outcomes of the Ross procedure in adults with severe aortic stenosis: single-centre experience with 20 years of follow-up. Eur J Cardiothorac Surg. doi:10.1093/ejcts/ezu038

Kallenbach, Klaus; Karck, Matthias; Haverich, Axel; **2007**. Valve-sparing aortic root replacement: the inclusion (David) technique. Multimedia Manual of Cardio-Thoracic Surgery 2007. doi:10.1510/mmcts.2006.001917

Kallenbach, Klaus; Karck, Matthias; Pak, Dorota; Salcher, Rolf; Khaladj, Nawid; Leyh, Rainer; Hagl, Christian; Haverich, Axel; **2005**. Decade of aortic valve sparing reimplantation: are we pushing the limits too far? Circulation 112, I253–259. doi:10.1161/01.CIRCULATIONAHA.104.525907

Karck, Matthias; Haverich, Axel; **2005**. Aortic Valve Reimplantation According to the David Type I Technique. Operative Techniques in Thoracic and Cardiovascular Surgery 10, 246–258. doi:10.1053/j.optechstcvs.2005.08.004

Kari, Fabian A.; Kvitting, John-Peder E.; Stephens, Elizabeth H.; Liang, David H.; Merk, Denis R.; Fischbein, Michael P.; Mitchell, R. Scott; Miller, D. Craig; **2014**. Tirone David procedure for bicuspid aortic valve disease: impact of root geometry and valve type on mid-term outcomes†. Interact Cardiovasc Thorac Surg. doi:10.1093/icvts/ivu123

Koolbergen, David R.; Manshanden, Johan S.J.; Bouma, Berto J.; Blom, Nico A.; Mulder, Barbara J.M.; de Mol, Bas A.J.M.; Hazekamp, Mark G.; **2014**. Valve-sparing aortic root replacement. Eur J Cardiothorac Surg. doi:10.1093/ejcts/ezu167

Kvitting, J.-P.E., Kari, F.A., Fischbein, M.P., Liang, D.H., Beraud, A.-S., Stephens, E.H., Mitchell, R.S., Miller, D.C., **2013**. David valve-sparing aortic root replacement: equivalent mid-term outcome for different valve types with or without connective tissue disorder. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 145, 117–126, 127.e1–5; discussion 126–127. doi:10.1016/j.jtcvs.2012.09.013

Labaf, Ashkan; Grzymala-Lubanski, Bartosz; Stagmo, Martin; Lövdahl, Susanna; Wieloch, Matthias; Själander, Anders; Svensson, Peter J.; **2014**. Thromboembolism, major bleeding and mortality in patients with mechanical heart valves- a population-based cohort study. Thromb. Res. 134, 354–359. doi:10.1016/j.thromres.2014.06.007

Lalani, Tahaniyat; Chu, Vivian H.; Park, Lawrence P.; Cecchi, Enrico; Corey, G. Ralph; Durante-Mangoni, Emanuele; Fowler, Vance G.; Gordon, David; Grossi, Paolo; Hannan, Margaret; Hoen, Bruno; Muñoz, Patricia; Rizk, Hussien; Kanj, Souha S.; Selton-Suty, Christine; Sexton, Daniel J.; Spelman, Denis; Ravasio, Veronica; Tripodi, Marie F.; Wang, Andrew; International Collaboration on Endocarditis–Prospective Cohort Study Investigators, **2013**. In-hospital and 1-year mortality in patients undergoing early surgery for prosthetic valve endocarditis. JAMA Intern Med 173, 1495–1504. doi:10.1001/jamainternmed.2013.8203

Lansac, Emmanuel; Di Centa, Isabelle; Vojacek, Jan; Nijs, Jan; Hlubocky, Jaroslav; Mecozzi, Gianclaudio; Debauchez, Mathieu; **2013**. Valve sparing root replacement: the remodeling technique with external ring annuloplasty. Ann Cardiothorac Surg 2, 117–123. doi:10.3978/j.issn.2225-319X.2013.01.15

Larsen, Reinhard; **2012**. Thorakale Aortenaneurysmen, in: Anästhesie und Intensivmedizin in Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 421–443.

Lavall, Daniel; Schäfers, Hans-Joachim; Böhm, Michael; Laufs, Ulrich; **2012**. Aneurysms of the ascending aorta. Dtsch Arztebl Int 109, 227–233. doi:10.3238/arztebl.2012.0227

LeMaire, Scott A.; Green, Susan Y.; Sharma, Kapil; Cheung, Catherine K.; Sameri, Aryan; Tsai, Peter I.; Adams, Gerald; Coselli, Joseph S.; **2009**. Aortic root replacement with stentless porcine xenografts: early and late outcomes in 132 patients. Ann. Thorac. Surg. 87, 503–512; discussion 512–513. doi:10.1016/j.athoracsur.2008.11.033

Leontyev, Sergey; Walther, Thomas; Borger, Michael A.; Lehmann, Sven; Funkat, Anne K.; Rastan, Ardawan; Kempfert, Jörg; Falk, Volkmar; Mohr, Friedrich W.; **2009**. Aortic Valve Replacement in Octogenarians: Utility of Risk Stratification With EuroSCORE. The Annals of Thoracic Surgery 87, 1440–1445. doi:10.1016/j.athoracsur.2009.01.057

le Polain de Waroux, Jean-Benoît; Pouleur, Anne-Catherine; Goffinet, Céline; Vancraeynest, David; Van Dyck, Michel; Robert, Annie; Gerber, Bernhard L.; Pasquet, Agnès; El Khoury, Gébrine; Vanoverschelde, Jean-Louis J.; **2007**. Functional anatomy of aortic regurgitation: accuracy, prediction of surgical repairability, and outcome implications of transesophageal echocardiography. Circulation 116, I264–269. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.106.680074

Lytle, Bruce W.; Priest, Brian P.; Taylor, Paul C.; Loop, Floyd D.; Sapp, Shelley K.; Stewart, Robert W.; McCarthy, Patrick M.; Muehrcke, Derek; Cosgrove, Delos M.; **1996**. Surgical treatment of prosthetic valve endocarditis. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 111, 198–207; discussion 207–210.

Mazzola, Alessandro; Di Mauro, Michele; Pellone, Francesco; Faragalli, Francesca; Villani, Carmine; Di Eusanio, Mauro; Gizzi, Germana; Lemme, Erika; Gregorini, Renato; Romano, Silvio; Penco, Maria; **2012**. Freestyle aortic root bioprosthesis is a suitable alternative for aortic root replacement in elderly patients: a propensity score study. Ann. Thorac. Surg. 94, 1185–1190. doi:10.1016/j.athoracsur.2012.05.015

Michel, Philippe; Roques, Francois; Nashef, Samer A.M.; EuroSCORE Project Group, **2003**. Logistic or additive EuroSCORE for high-risk patients? Eur J Cardiothorac

Surg 23, 684–687; discussion 687.

Miller, D. Craig; **2003**. Valve-sparing aortic root replacement in patients with the Marfan syndrome. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 125, 773–778. doi:10.1067/mtc.2003.162

Misawa, Yoshio; 2014. Valve-related complications after mechanical heart valve implantation. Surg. Today. doi:10.1007/s00595-014-1104-0

Misawa, Yoshio; Fuse, Katsuo; Saito, Tsutomo; Konishi, Hiroaki; Oki, Shin-Ichi; **2001**. Fourteen year experience with the omnicarbon prosthetic heart valve. ASAIO J. 47, 677–682.

Mohammadi, Siamak; Tchana-Sato, Vincent; Kalavrouziotis, Dimitri; Voisine, Pierre; Doyle, Daniel; Baillot, Richard; Sponga, Sandro; Metras, Jaques; Perron, Jean; Dagenais, Francois; **2012**. Long-term clinical and echocardiographic follow-up of the Freestyle stentless aortic bioprosthesis. Circulation 126, S198–204. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.111.084806

Monsefi, Nadejda; Zierer, Andreas; Risteski, Petar; Primbs, Patrick; Miskovic, Aleksandra; Karimian-Tabrizi, Afsaneh; Folkmann, Sandra; Moritz, Anton; **2014**. Long-term results of aortic valve resuspension in patients with aortic valve insufficiency and aortic root aneurysm. Interactive CardioVascular and Thoracic Surgery 18, 432–437. doi:10.1093/icvts/ivt530

Myat, Aung; Gershlick, Anthony H.; **2012**. Landmark Papers in Cardiovascular Medicine. Oxford University Press.

Nashef, Samer A.; Roques, Francois; Michel, Philippe; Gauducheau, E., Lemeshow, Stanley; Salamon, Rachel; **1999**. European system for cardiac operative risk evaluation (EuroSCORE). Eur J Cardiothorac Surg 16, 9–13.

Neuhauser, Hannelore; Thamm, Michael; Ellert, Ute; **2013**. [Blood pressure in Germany 2008-2011: results of the German Health Interview and Examination Survey for Adults (DEGS1)]. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz 56, 795–801. doi:10.1007/s00103-013-1669-6

Nishimura, Rick A.; Otto, Catherine M.; Bonow, Robert O.; Carabello, Blase A.; Erwin, John P. 3rd; Guyton, Robert A.; O'Gara, Patrick T.; Ruiz, Carlos E.; Skubas, Nikolaos J.; Sorajja, Paul; Sundt, Thoralf M. 3rd; Thomas, James D.; **2014**. 2014 AHA/ACC Guideline for the Management of Patients With Valvular Heart Disease: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. Circulation. doi:10.1161/CIR.0000000000000031

Nonaka, Michihito; Kusuhara, Takayoshi; An, Kenta; Nakatsuka, Daisuke; Sekine, Yuji; Iwakura, Atsushi; Yamanaka, Kazuo; **2013**. Comparison between early and late prosthetic valve endocarditis: clinical characteristics and outcomes. J. Heart Valve Dis. 22, 567–574.

Otto, Catherine M.; **2010**. Calcific Aortic Valve Disease: New Concepts. Seminars in Thoracic and Cardiovascular Surgery 22, 276–284. doi:10.1053/j.semtcvs.2011.01.009

Pibarot, Philippe; Dumesnil, Jean G.; **2009**. Prosthetic heart valves: selection of the optimal prosthesis and long-term management. Circulation 119, 1034–1048. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.108.778886

Pibarot, Philippe; Dumesnil, Jean G.; **2012**. Improving Assessment of Aortic Stenosis. Journal of the American College of Cardiology 60, 169–180. doi:10.1016/j.jacc.2011.11.078

Prodromo, John; D'Ancona, Guiseppe; Amaducci, Andrea; Pilato, Michele; **2012**. Aortic Valve Repair for Aortic Insufficiency: A Review. Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia 26, 923–932. doi:10.1053/j.jvca.2011.07.014

Quiñones, Miguel A.; Otto, Catherine M.; Stoddard, Marcus; Waggoner, Alan; Zoghbi, William A.; Doppler Quantification Task Force of the Nomenclature and Standards Committee of the American Society of Echocardiography, **2002**. Recommendations for quantification of Doppler echocardiography: a report from the Doppler Quantification Task Force of the Nomenclature and Standards Committee of the American Society of Echocardiography. J Am Soc Echocardiogr 15, 167–184.

Rahimtoola, Shahbudin H.; **2010**. Choice of prosthetic heart valve in adults an update. J. Am. Coll. Cardiol. 55, 2413–2426. doi:10.1016/j.jacc.2009.10.085

Rahnavardi, Mohammad; Yan, Tristan D.; Bannon, Paul G.; Wilson, Michael K.; **2011**. Aortic valve-sparing operations in aortic root aneurysms: remodeling or reimplantation? Interact Cardiovasc Thorac Surg 13, 189–197. doi:10.1510/icvts.2011.267401

Nashef, Samer A.; Roques, Francois; Michel, Philippe; Gauducheau, E., Lemeshow, Stanley; Salamon, Rachel

Roques, Francois; Nashef, Samer A.; Michel, Philippe; Gauducheau, E., de Vincentiis, Carlo; Baudet, Eugène; Cortina, Jose; David, Michele; Faichney, Andrew; Gabrielle, F.; Gams, Emmeran; Harjula, Ari; Jones, Mackenzie T.; Pintor, Plinio Pinna; Salamon, Rachel; Thulin, Lars; **1999**. Risk factors and outcome in European cardiac surgery: analysis of the EuroSCORE multinational database of 19030 patients. Eur J Cardiothorac Surg 15, 816–822; discussion 822–823.

Saczkowski, Richard; Malas, Tarek; Mesana, Thierry; de Kerchove, Laurent; El Khoury, Gebrine, Boodhwani, Munir; **2014**. Aortic valve preservation and repair in acute Type A aortic dissection. Eur J Cardiothorac Surg 45, e220–226. doi:10.1093/ejcts/ezu099

Sarsam, Mazin A.; Yacoub, Magdi; **1993**. Remodeling of the aortic valve anulus. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 105, 435–438.

Schäfers, Hans-Joachim; Bierbach, Benjamin; Aicher, Diana; **2006**. A new approach to the assessment of aortic cusp geometry. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 132, 436–438. doi:10.1016/j.jtcvs.2006.04.032

Schäfers, Hans-Joachim; Böhm, Michael; **2004**. Ursachen und Behandlungsstrategien der Aortenklappeninsuffizienz. Dsch Arztebl 101, A 2475–2479.

Schmitto, Jan D.; Mokashi, Suyog A.; Chen, Frederick Y.; Chen, Edward P.; **2010**. Aortic valve-sparing operations: state of the art. Curr. Opin. Cardiol. 25, 102–106. doi:10.1097/HCO.0b013e328335ffc8

Schoenhoff, Florian S.; Langhammer, Bettina; Wustmann, Kerstin; Reineke, David; Kadner, Alexander; Carrel, Thierry; **2015**. Decision-making in aortic root surgery in

Marfan syndrome: bleeding, thromboembolism and risk of reintervention after valve-sparing or mechanical aortic root replacement†. Eur J Cardiothorac Surg. doi:10.1093/ejcts/ezu553

Sherrah, Andrew G.; Edelman, J. James B.; Thomas, Shane R.; Brady, Peter W.; Wilson, Michael K.; Jeremy, Richmond W.; Bannon, Paul G.; Vallely, Michael P.; **2014**. The freestyle aortic bioprosthesis: a systematic review. Heart Lung Circ 23, 1110–1117. doi:10.1016/j.hlc.2014.04.262

Shrestha, Malakh; Baraki, Hassina; Maeding, Ilona; Fitzner, Sebastian; Sarikouch, Samir; Khaladj, Nawid; Hagl, Christian; Haverich, Axel; **2012**. Long-term results after aortic valve-sparing operation (David I). Eur J Cardiothorac Surg 41, 56–62. doi:10.1016/j.ejcts.2011.04.012

Sievers, Hans-Hinrich; Hemmer, Wolfgang; Beyersdorf, Friedhelm; Moritz, Anton; Moosdorf, Rainer; Lichtenberg, Artur; Misfeld, Martin; Charitos, Efstratios I.; Working Group for Aortic Valve Surgery of German Society of Thoracic and Cardiovascular Surgery, **2012**. The everyday used nomenclature of the aortic root components: the tower of Babel? Eur J Cardiothorac Surg 41, 478–482. doi:10.1093/ejcts/ezr093

Sievers, Hans-Hinrich; Stierle, Ulrich; Charitos, Efstratios I.; Hanke, Thorsten; Misfeld, Martin; Bechtel, J.F. Matthias; Gorski, Armin; Franke, Ulrich F.W.; Graf, Bernhard; Robinson, Derek R.; Bogers, Ad J.J.C.; Dodge-Khatami, Ali; Boehm, Juergen O.; Rein, Joachim G.; Botha, Cornelius A.; Lange, Ruediger; Hoerer, Juergen; Moritz, Anton; Wahlers, Thorsten; Breuer, Martin; Ferrari-Kuehne, Katharina; Hetzer, Roland; Huebler, Michael; Ziemer, Gerhard; Takkenberg, Johanna J.M.; Hemmer, Wolfgang; German-Dutch Ross Registry, **2010**. Major adverse cardiac and cerebrovascular events after the Ross procedure: a report from the German-Dutch Ross Registry. Circulation 122, S216–223. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.109.925800

Siu, Samuel C.; Silversides, Candice K.; **2010**. Bicuspid Aortic Valve Disease. Journal of the American College of Cardiology 55, 2789–2800. doi:10.1016/j.jacc.2009.12.068

Smith, Craig R.; Stamou, Sotiris C.; Hooker, Robert L.; Willekes, Charles C.; Heiser, John C.; Patzelt, Lawrence H.; Murphy, Edward T.; **2013**. Stentless root bioprosthesis for repair of acute type A aortic dissection. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 145, 1540–1544. doi:10.1016/j.jtcvs.2012.05.029

Solf, Mark-Alexander; Gansera, Laura Sophie; **2012**. Herzchirurgie, 1. ed. Urban & Fischer Verlag/Elsevier GmbH.

Stassano, Paolo; Di Tommaso, Luigi; Monaco, Mario; Iorio, Francesco; Pepino, Paolo; Spampinato, Nicola; Vosa, Carlo; **2009**. Aortic Valve Replacement. Journal of the American College of Cardiology 54, 1862–1868. doi:10.1016/j.jacc.2009.07.032

Stewart, B. Fendley; Siscovick, David; Lind, Bonnie K.; Gardin, Julius M.; Gottdiener, John S.; Smith, Vivienne E.; Kitzman, Dalane W.; Otto, Catherine M.; **1997**. Clinical Factors Associated With Calcific Aortic Valve Disease. Journal of the American College of Cardiology 29, 630–634. doi:10.1016/S0735-1097(96)00563-3

Subramanian, Sreekumar; Borger, Michael A.; **2010**. Aortic valve reconstruction: current status. Herz 35, 88–93. doi:10.1007/s00059-010-3325-3

Svensson, Lars G.; Al Kindi, Adil H.; Vivacqua, Alessandro; Pettersson, Gösta B.; Gillinov, A. Marc; Mihaljevic, Tomislav; Roselli, Eric E.; Sabik, Joseph F.; Griffin, Brian; Hammer, Donald F.; Rodriguez, Leonardo; Williams, Sarah J.; Blackstone, Eugene H.; Lytle, Bruce W.; **2014**. Long-term durability of bicuspid aortic valve repair. Ann. Thorac. Surg. 97, 1539–1547; discussion 1548. doi:10.1016/j.athoracsur.2013.11.036

Tanaka, Hiroshi; Ogino, Hitoshi; Matsuda, Hitoshi; Minatoya, Kenji; Sasaki, Hiroaki; Iba, Yutaka; **2011**. Midterm outcome of valve-sparing aortic root replacement in inherited connective tissue disorders. Ann. Thorac. Surg. 92, 1646–1649; discussion 1649–1650. doi:10.1016/j.athoracsur.2011.06.090

Vahanian, Alec; Alfieri, Ottavio; Andreotti, Felicita; Antunes, Manuel J.; Baron-Esquivias, Gonzalo; Baumgartner, Helmut; Borger, Michael Andrew; Carrel, Thiery P.; De Bonis, Michele; Evangelista, Arturo; Falk, Volkmar; Iung, Bernhard; Lancellotti, Patrizio; Pierard, Luc; Price, Susanna; Schaefers, Hans-Joachim; Schuler, Gerhard; Stepinska, Janina; Swedberg, Karl; Takkenberg, Johanna; Von Oppell, Ulrich O.; Windecker, Stephan; Zamorano, Jose L.; Zembala, Marian; **2012**. Guidelines on the management of valvular heart disease (version 2012): The Joint Task Force on the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). European Heart Journal 33, 2451–2496. doi:10.1093/eurheartj/ehs109

van Geldorp, Martijn W.A.; Jamieson, W.R. Eric; Kappetein, A. Pieter.; Ye, Jian; Fradet, Guy J.; Eijkemans, Marinus J.C.; Grunkemeier, Gary L.; Bogers, Ad J.J.C.; Takkenberg, Johanna J.M.; **2009**. Patient outcome after aortic valve replacement with a mechanical or biological prosthesis: weighing lifetime anticoagulant-related event risk against reoperation risk. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 137, 881–886, 886e1–5. doi:10.1016/j.jtcvs.2008.09.028

Van Nooten, Guido J.; Bové, Thierry; Van Belleghem, Yves; François, Katrien; Caes, Frank; Vandenplas, Guy; De Pauw, Michel; Taeymans, Yves; **2014**. Twenty-year single-center experience with the medtronic open pivot mechanical heart valve. Ann. Thorac. Surg. 97, 1306–1313. doi:10.1016/j.athoracsur.2013.11.035

Yacoub, Magdi; Fagan, Andrew; Stassano, Paolo; **1983**. Result of valve conserving operations for aortic regurgitation. Circulation 311–321.

Ziemer, Gerhard; Haverich, Axel; **2010**. Herzchirurgie: Die Eingriffe am Herzen und an den herznahen Gefäßen. Springer-Verlag.

# 8 Anhang

## 8.1 Tabellenverzeichnis


**Tabelle 1** NYHA-Klassifikation bei Herzinsuffizienz

**Tabelle 2** Isolierte Aortenklappenoperationen im Jahr 2012

**Tabelle 3** Übersicht über die verwendeten Ein- und Ausschlusskriterien

**Tabelle 4** Präoperative Patientenmerkmale

**Tabelle 5** Perioperative Daten und technische prozedurale Merkmale

**Tabelle 6** Frühe postoperative echokardiographische und klinische Ergebnisse

**Tabelle 7** Ursachen der perioperativen Mortalität

**Tabelle 8** Univariate Analyse der mittleren Überlebenszeit in Monaten bezogen auf präoperative Risikofaktoren

**Tabelle 9** Multivariate Cox-Regressionsanalyse der Überlebensdaten

**Tabelle 10** t-Test, Gruppenstatistik der Perfusions- und Abklemmzeiten im Kreislaufstillstand

**Tabelle 11** t-Test, Gruppenstatistik der Perfusions- und Abklemmzeiten bei VSR vs. VRR

**Tabelle 12** t-Test, Gruppenstatistik der Perfusions- und Abklemmzeiten bei Typ A-Dissektion

## 8.2 Abbildungsverzeichnis


**Abbildung 1** Aorta-ascendens-Ersatz mittels a Composite-Graft, b Yacoub- oder c David-Technik

**Abbildung 2** Dreidimensionale schematische Darstellung der Aortenwurzel

**Abbildung 3** Die Ätiologie der Aortenklappenstenose. Morphologie der rheumatischen Aortenklappenstenose, der kalzifizierten Aortenklappenstenose und der bikuspiden Klappe

**Abbildung 4** Biologische Herzklappenprothese mit Gerüst (Modell Biocor™)

**Abbildung 5** Gerüstfreie biologische Herzklappenprothese (Modell Medtronic Freestyle®)

**Abbildung 6** Kippscheibenprothese (Modell Medtronic Hall™)

**Abbildung 7** Doppelflügelklappe (Modell Regent™)

**Abbildung 8** Dissektion: Klassifikation nach Stanford und De Bakey

**Abbildung 9** Mobilisation der Aortenwurzel; Für die korrekte Prothesengröße müssen die Kommissuren nach oben gezogen werden, um einen virtuellen Zylinder mit Koaptation der Taschen von 30 – 50 % zu kreieren

**Abbildung 10** Wenn die Knoten der horizontalen Matratzennaht gebunden werden, muss das Transplantat nach unten gedrückt und vom Assistenten in Position gedrückt werden.

**Abbildung 11** Ein entscheidender Schritt bei der Reimplantation ist die hohe Positionierung der Kommissuren in der Prothese. Durch Ziehen an den Haltefäden wird die korrekte Klappengeometrie wiederhergestellt.

**Abbildung 12** Die Sicht von außen auf die Prothese nach erfolgter Reimplantation

**Abbildung 13** Prä- und postoperative Ejektionsfraktion des linken Ventrikels bei VSR David vs. VRR Stentless und VRR Prothetik

**Abbildung 14** Liegedauer gesamt inkl. Liegedauer ICU bei VSR David vs. VRR Stentless und VRR Prothetik

**Abbildung 15** Tage auf der ICU in Abhängigkeit vom EuroSCORE II

**Abbildung 16** Tage auf der ICU in Abhängigkeit vom EuroSCORE II und Kreislaufstillstand

**Abbildung 17** Tage auf der ICU in Abhängigkeit vom EuroSCORE II und Typ A-Dissektion

**Abbildung 18** Kaplan-Meier-Überlebenskurve für 112 Patienten bei verschiedenen Aortopathien

**Abbildung 19** Kaplan-Meier-Überlebenskurve für 83 Patienten nach elektiven und dringlichen Eingriffen

**Abbildung 20** Kaplan-Meier-Überlebenskurve für 29 Patienten nach notfallmäßigem Einsatz bei Typ A-Dissektion

**Abbildung 21** Abklemmzeiten im Kreislaufstillstand

**Abbildung 22** Abklemmzeit VSR David vs. VRR Stentless und VRR Prothetik

# 9 Danksagung

Sehr viele Menschen haben mich bei der Durchführung dieser Doktorarbeit unterstützt. Ihnen allen möchte ich hiermit sehr herzlich danken. Herrn Prof. Dr. med. Artur Lichtenberg danke ich für die Überlassung des Themas. Den Herren Drs. med. Alexander Blehm, Paulus Schurr und Jan-Philipp Minol danke ich für die Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen, die gute Betreuung der Promotion und das allzeit gewährte Vertrauen. Herrn Dr. Paulus Schurr danke ich insbesondere für die Hilfe beim Auswerten der Daten. Ein großer Dank gilt natürlich den Patienten, die sich bereit erklärten, an der Studie teilzunehmen.

Ein herzlicher Dank gilt meinem Ehemann, der mich stets mental unterstützte und ermutigte, die Arbeit zu beenden. Ich danke ebenfalls meinen Eltern und meinen Geschwistern, ohne deren Unterstützung das Studium und die Beendigung der Doktorarbeit nicht möglich gewesen wären.

# 10 Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere an Eides statt, dass die Dissertation selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erstellt und die hier vorgelegte Dissertation nicht von einer anderen Medizinischen Fakultät abgelehnt worden ist.

16.05.2017, Ioanna Anders

(Unterschrift)