

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Klinik für Herzchirurgie
-Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Sven Martens-

Die superiore Ministernotomie – Erfahrungen und Ergebnisse

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung des doctor medicinae

der Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von Goldstein, Felix

aus Lahnstein

2021

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Frank Ulrich Müller

1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Andreas Hoffmeier

2. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. med. Stefan Orwat

Tag der mündlichen Prüfung: 17.11.2021

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Klinik für Herzchirurgie
-Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Sven Martens-
1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Andreas Hoffmeier
2. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. med. Stefan Orwat

ZUSAMMENFASSUNG

Die superiore Ministernotomie – Erfahrungen und Ergebnisse

Goldstein, Felix

Die superiore Ministernotomie ist ein minimalinvasiver Zugang, welcher als Alternative zur medianen Sternotomie insbesondere bei Eingriffen an der Aortenklappe und der Aorta ascendens weltweit etabliert ist. Das Ziel der Arbeit war es, zu untersuchen, für welche weiteren Operationsindikationen sich die superiore Ministernotomie eignet.

Untersucht wurden intra- und postoperative Parameter von 1915 Patienten, die zwischen 2011 und 2020 am Universitätsklinikum Münster mittels superiorer Ministernotomie operiert wurden. Die Patienten wurden retrospektiv je nach Art des durchgeführten Eingriffs in 10 Ober- und 25 Untergruppen eingeteilt, welche statistisch miteinander verglichen wurden. Anschließend wurden die Daten mit Ergebnissen aus der Literatur abgeglichen.

Die Klinikletalität aller Patienten lag bei 2,5%. Eine signifikant niedrigere Sterblichkeit fand sich bei Patienten nach Eingriff an der Aortenklappe (1,1%; n=816). Signifikant erhöht war die Klinikletalität bei Eingriffen an der Trikuspidal- oder Pulmonalklappe (14%; n=14) sowie bei kombinierten Drei-Klappen-Eingriffen (19%; n=16). Im Vergleich zu Literaturdaten der medianen Sternotomie zeigte sich eine kürzere Beatmungsdauer, eine geringere Transfusionsrate und eine kürzere Intensiv- und Krankenhausliegedauer. Ob die Letalität, die Inzidenz von Wundheilungsstörungen, Vorhofflimmern oder einer akuten Nierenschädigung von der Art des Zugangs abhängt, konnte nicht geklärt werden.

Insgesamt ist die superiore Ministernotomie für eine Vielzahl von Operationen geeignet. Aufgrund der vorteilhaften Ergebnisse sollte sie der medianen Sternotomie vorgezogen werden, wenn keine Kontraindikationen vorliegen.

Tag der mündlichen Prüfung: 17.11.2021

EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG

Ich gebe hiermit die Erklärung ab, dass ich die Dissertation mit dem Titel:

Die superiore Ministernotomie – Erfahrungen und Ergebnisse

in der Klinik für Herzchirurgie des Universitätsklinikums Münster unter der Anleitung von Prof. Dr. med. Andreas Hoffmeier

1. selbständig angefertigt,
2. nur unter Benutzung der im Literaturverzeichnis angegebenen Arbeiten angefertigt und sonst kein anderes gedrucktes oder ungedrucktes Material verwendet,
3. keine unerlaubte fremde Hilfe in Anspruch genommen,
4. sie weder in der gegenwärtigen noch in einer anderen Fassung einer in- oder ausländischen Fakultät als Dissertation, Semesterarbeit, Prüfungsarbeit, oder zur Erlangung eines akademischen Grades, vorgelegt habe.

Münster, den

25.11.2021

Felix Goldstein

Für meine Eltern

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Definition der minimalinvasiven Herzchirurgie	1
1.2	Geschichte der minimalinvasiven Zugänge in der Herzchirurgie	1
1.3	Vorteile der superioren Ministernotomie	2
1.4	Nachteile der superioren Ministernotomie	4
1.5	OP-Technik	5
1.6	Ziel dieser Arbeit	11
2	Material und Methoden	12
2.1	Patientenkollektiv	12
2.2	Einteilung der Gruppen	12
2.3	Statistische Methoden	17
2.4	Zielparameter	18
3	Ergebnisse	20
3.1	Gesamtpopulation	20
3.2	Aortenklappe	22
3.3	Mitralklappe	24
3.4	Trikuspidalklappe / Pulmonalklappe	26
3.5	Zwei Klappen	28
3.6	Drei Klappen	33
3.7	Aorta	34
3.8	Bypass + Klappe	37
3.9	Kongenital	39
3.10	Tumor	42

3.11	LVAD	44
3.12	Auswertung nach Parametern	46
4	Diskussion	49
4.1	Einfluss auf den postoperativen Outcome	49
4.2	Minimalinvasiver Mitralklappenersatz	66
4.3	Limitationen dieser Studie	69
4.4	Fazit	69
5	Literaturverzeichnis	71
6	Abkürzungsverzeichnis	78
7	Abbildungsverzeichnis	79
8	Tabellenverzeichnis	80
9	Lebenslauf	81
10	Danksagung	82

1 Einleitung

1.1 Definition der minimalinvasiven Herzchirurgie

Mit der minimalinvasiven Herzchirurgie werden üblicherweise zwei Aspekte verbunden: Der Verzicht auf den Einsatz der Herz-Lungen-Maschine, also sogenannte „Off-pump-Chirurgie“ einerseits sowie die Minimierung des chirurgischen Zugangsweges andererseits (1). Jahrzehntlang war für Operationen am Herzen die mediane Sternotomie der Goldstandard. Als minimalinvasive Zugänge werden also Verfahren bezeichnet, die auf eine komplette Sternotomie verzichten, indem etwa nur Teile des Sternums durchtrennt werden oder der Zugang von lateral durch einen Intercostalraum erfolgt.

Da mit der superioren Ministernotomie in den meisten Fällen eine zentrale Kanülierung genau wie bei der medianen Sternotomie möglich (2) und damit der Einsatz der Herz-Lungen-Maschine nicht vom chirurgischen Zugang abhängig ist, wird in dieser Arbeit nur die Minimierung des Zugangs behandelt.

1.2 Geschichte der minimalinvasiven Zugänge in der Herzchirurgie

Die Entwicklung der heute üblichen minimalinvasiven Zugangswege in der Herzchirurgie geht auf die 1990er Jahre zurück. Auch wenn die erste Operation der Mitralklappe per Minithorakotomie auf das Jahr 1925 datiert (3), so wurde diese Methode wieder verlassen und über Jahrzehnte fast ausschließlich per medianer Sternotomie operiert (4). Erst 1993 griffen Rao und Kumar diese alte Technik wieder auf und operierten so zwei junge Frauen an der Aortenklappe (5). Einen anderen Ansatz wählten Cosgrove und Sabik im Jahre 1996 (6): Sie nahmen einen rechts-parasternalen Zugang vor, indem sie den Rippenknorpel der 3. und 4. Rippe durchtrennten. In den folgenden Jahren wurden viele weitere Zugänge erprobt, die meisten davon wurden schnell wieder verworfen.

Die erste superioren Ministernotomie wurde 1998 von Gundry et al. beschrieben (7). Die Spaltung des Sternums hatte bei ihm die Form eines umgedrehten T, indem das Sternum auf Höhe des 3. oder 4. Intercostalraums (ICR) quer und oberhalb davon längs durchtrennt wurde. Die heute am weitesten verbreitete Form der superioren Ministernotomie wurde 1997 erstmals von Svensson beschrieben (8). Bei der sogenannten „J-Sternotomie“ wird nur der obere Teil des Sternums median durchtrennt und dieser Spalt mit dem 3. oder 4. ICR rechts verbunden. Dieser Zugang ist heute am Uniklinikum Münster in modifizierter Form der Standard bei minimalinvasiven Eingriffen. Dabei wird hier überwiegend die „L-Sternotomie“ durchgeführt, welche das Sternum nach links statt nach rechts durchtrennt.

Auch andere Formen der Ministernotomie wurden erprobt, darunter die „S-Sternotomie“ (9), die transversale Sternotomie (10), die inferiore Ministernotomie (11) und die Hemisternotomie ohne transversale Durchtrennung (12), diese Ansätze wurden jedoch größtenteils wieder verlassen.

Heute ist die superiore Ministernotomie neben der klassischen medianen Sternotomie zum Goldstandard für Operationen an der Aortenklappe geworden. Im Jahr 2019 wurden in Deutschland 30,5% der isolierten Operationen an der Aortenklappe per partieller Sternotomie durchgeführt (13).

Seit 2002 gibt es mit der Transkatheter-Aortenklappenimplantation (TAVI) auch die Möglichkeit, die Aortenklappe perkutan per Katheter oder transapikal zu implantieren (14). Auf diese Methode soll im Folgenden jedoch nicht eingegangen werden.

Für Operationen an der Mitralklappe ist heute neben der medianen Sternotomie die rechte Minithorakotomie am weitesten verbreitet (15), auch mithilfe videoassistierter und telemanipulatorischer Systeme wie dem Da-Vinci-Operationssystem (15,16). Am Universitätsklinikum Münster ist jedoch auch bei Eingriffen an der Mitralklappe die superiore Ministernotomie der Zugang der ersten Wahl.

In der Bypasschirurgie hat sich neben der medianen Sternotomie das sogenannte MIDCAB-Verfahren, also eine linksseitige Minithorakotomie – zuerst beschrieben von Kolessov im Jahre 1967 (17) – durchgesetzt. Dabei wird mithilfe eines speziellen Stabilisators auf die Herz-Lungen-Maschine verzichtet.

Nach den guten Ergebnissen bei Aorten- und Mitralklappenoperationen wird die superiore Ministernotomie heute bei vielen verschiedenen herzchirurgischen Operationen eingesetzt, so sind etwa auch die Korrektur kongenitaler Vitien und Eingriffe an der Aortenwurzel (18) möglich.

1.3 Vorteile der superioren Ministernotomie

Die Vorteile der superioren Ministernotomie ergeben sich in erster Linie aus der erhaltenen Brustwandstabilität und dem minimierten operativen Trauma.

Die erhaltene Brustwandstabilität führt nachgewiesenermaßen zu einer kürzeren postoperativen Beatmungsdauer (19–21). Brown et al. nennen in ihrer Metaanalyse eine im Durchschnitt 2 Stunden frühere Extubation, Phan et al. nennen 4 Stunden Unterschied. Die kürzere Beatmungsdauer geht einher mit einer besseren Lungenfunktion im postoperativen Verlauf (22). Die Ursachen hierfür werden in der Diskussion betrachtet werden.

Durch die kleinere Wundfläche ergibt sich ein geringerer perioperativer Blutverlust, was in mehreren Metaanalysen bewiesen werden konnte (19,23,24). Der geringere Blutverlust wiederum begründet eine niedrigere Transfusionsrate. In fast allen Studien und Metaanalysen zeigt sich sowohl ein niedrigerer Anteil an Patienten¹, die intra- oder postoperativ eine Bluttransfusion benötigen (20,21,23,25), als auch eine niedrigere Anzahl an Bluttransfusionen pro Patient (23,24). In ihrer Metaanalyse geben Cheng et al. an, dass im Durchschnitt 2 Erythrozytenkonzentrate weniger pro Patient transfundiert wurden (26). Die geringere Transfusionsrate ist insofern von Relevanz, als dass Bluttransfusionen erwiesenermaßen den Outcome von kardiochirurgischen Patienten verschlechtern (27).

Die kürzere Beatmungsdauer, der geringere Blutverlust und die insgesamt geringere Komplikationsrate führen dazu, dass die Patienten postoperativ schon früher die Intensivstation verlassen können als Patienten nach medianer Sternotomie. In fast allen Studien und Metaanalysen zeigt sich hier ein signifikanter Unterschied (19–21,23,28). Im Durchschnitt können die Patienten zwischen einem halben und einem Tag früher auf Normalstation verlegt werden.

Ebenso können die Patienten durchschnittlich schneller aus dem Krankenhaus entlassen werden (19,20,23,25,28). Die Differenz liegt hier bei etwa 0,8 Tagen.

Die Verwendung minimalinvasiver Techniken scheint zudem mit geringeren postoperativen Schmerzen einherzugehen (19,20). Dies ist nicht nur für den Patientenkomfort relevant, sondern ermöglicht auch eine schmerzfreie Atmung sowie effektives Husten, was wiederum die Inzidenz von Atelektasen und Pneumonien verringert (2).

Andere postoperative Komplikationen unterscheiden sich nur in einzelnen Studien. Ein signifikant selteneres Auftreten von Nierenversagen stellen Phan et al. in einer Metaanalyse fest (2,5 vs. 4,2% (20)). Auch Rayner et al. fanden eine geringere Inzidenz an Nierenversagen (23). Cheng et al. hingegen stellen keinen signifikanten Unterschied fest (26).

In manchen Studien zeigt sich postoperativ ein selteneres Auftreten von Vorhofflimmern (26,28). In den Metaanalysen von Brown et al. und Phan et al. ist die Prävalenz von Vorhofflimmern jedoch nicht signifikant niedriger (19,20).

Bezüglich der perioperativen Letalität konnte die Mehrheit der Studien keinen Unterschied feststellen (19,23,24,26). Eine Metaanalyse von Phan et al. aus dem Jahr 2014, welche 50 Studien mit 12.786 Patienten einbezieht, zeigt zwar eine signifikant niedrigere perioperative Sterblichkeit (1,9% vs. 3,3%, $p=0,02$ (20)). Die Autoren unterscheiden in ihrer Arbeit aber zwischen randomisierten, kontrollierten Studien (RCT) und Nicht-RCT-Studien. Da durch die

¹ Für eine bessere Lesbarkeit wird in dieser Arbeit das generische Maskulin verwendet. Alle personenbezogenen Beschreibungen sind geschlechtsneutral zu verstehen.

Randomisierung ein Selektionsbias ausgeschlossen wird, hat das Ergebnis einer RCT-Studie eine höhere Aussagekraft. Unter ausschließlicher Berücksichtigung der RCT-Studien ist der Unterschied bezüglich der Letalität nicht signifikant.

Eine niedrigere 30-Tage-Letalität bzw. Krankenhausletalität stellen außerdem Chang et al. (28) und Oezpeker et al. (29) fest. Das Ergebnis ist bei beiden jedoch nicht signifikant (Chang: 1,4% vs. 2,2%; $p=0,07$; Oezpeker: 2,1% vs. 7,1%, $p=0,264$).

Für die Langzeitletalität kann ebenfalls kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (26).

Einzelne Studien vergleichen die Kosten der Behandlung und kommen mehrheitlich zu dem Schluss, dass minimalinvasive Verfahren die Kosten senken, was hauptsächlich auf den verkürzten Aufenthalt auf der Intensivstation zurückgeführt wird (20,26,30). Die Studienlage ist hierzu allerdings recht heterogen.

Unbestritten ist, dass die superiore Ministernotomie im Vergleich zur medianen Sternotomie ein besseres kosmetisches Ergebnis mit sich bringt. Laut Bonacchi et al. benötigt eine mediane Sternotomie eine im Durchschnitt 23,7 cm lange Hautinzision, während sie bei der superioren Ministernotomie durchschnittlich nur 8,2 cm beträgt (30).

1.4 Nachteile der superioren Ministernotomie

Die Nachteile der superioren Ministernotomie bestehen in erster Linie aus der kleineren Öffnung, welche eine schlechtere Übersicht bietet und die Operation technisch anspruchsvoller gestaltet. Ist die Exposition des Herzens nicht ausreichend oder treten intraoperativ Komplikationen wie beispielsweise unbeherrschbare Blutungen auf, so kann die Notwendigkeit zur Erweiterung des Zugangs durch eine mediane Sternotomie bestehen. Laut Brown et al. ist dies bei 3% der Operationen der Fall (19).

Bei der superioren Ministernotomie ist der Hautschnitt nur etwa 8 cm lang. Auch das Auseinanderspreizen des Sternums fällt deutlich geringer aus. Die beiden Anteile des Sternums werden bei der superioren Ministernotomie durchschnittlich nur etwa 68 mm auseinandergespreizt, während es bei der medianen Sternotomie ca. 114 mm sind (2). Durch die Kanülen und den Vent wird das Arbeitsfeld noch weiter eingeschränkt. In der Folge ist die Operation technisch anspruchsvoller und benötigt größere Erfahrung des Operateurs.

Die Komplexität des Verfahrens drückt sich unter anderem in einer verlängerten OP-Dauer aus. Eine besondere Rolle spielen dabei die Zeit an der Herz-Lungen-Maschine sowie die Dauer der Aortenklemme. Diese beiden Parameter waren insbesondere in den ersten Jahren der minimalinvasiven Herzchirurgie deutlich verlängert. Mit zunehmender Erfahrung und

Routine der Chirurgen glichen sich die Zeiten jedoch sowohl in einzelnen Zentren als auch global betrachtet der medianen Sternotomie an (26,31), weshalb von einer Lernkurve der Operateure gesprochen wird. Auf diesen Effekt wird in der Diskussion noch eingegangen werden. Neuere Metaanalysen finden einen zeitlichen Unterschied von jeweils nur ca. 8 Minuten (19,20) oder gar keinen signifikanten Unterschied (28).

Bei manchen Patienten kann zudem eine superiore Ministernotomie nicht durchgeführt werden, sodass auf die mediane Sternotomie zurückgegriffen werden muss. Zu den Kontraindikationen zählen Brustwand- und Wirbelsäulendeformitäten, schwere Adipositas und sonstige anatomische Besonderheiten (2).

Schließlich wurde diskutiert, ob die superiore Ministernotomie das Risiko eines perioperativen Schlaganfalls erhöht. Eine Metaanalyse von Cheng et al. zeigt ein signifikant häufigeres Auftreten von Schlaganfällen nach minimalinvasiven Eingriffen an der Mitralklappe (2,1% vs. 1,2% (26)). In nachfolgenden Studien wurde daher ein großes Augenmerk auf die Häufigkeit von Schlaganfällen gelegt, und das Ergebnis konnte nicht reproduziert werden (19,20,23,28). Eine erhöhte Inzidenz von Schlaganfällen bei superiorer Ministernotomie ist nach heutigem Wissensstand nicht anzunehmen.

Die Ursachen für die Vor- und Nachteile der superioren Ministernotomie werden im Diskussionsteil behandelt werden.

1.5 OP-Technik

Im Folgenden wird zunächst das gängige Vorgehen bei der J- und L-förmigen superioren Ministernotomie gemäß der Darstellung von Reser et al. (32) und Casula et al. (2) wiedergegeben. Alternative minimalinvasive Zugangswege werden anschließend verglichen (2,33).

Superiore Ministernotomie

Die Operation erfolgt in Rückenlage, die Arme werden angelagert. Vor Operationsbeginn werden externe Defi-Pads angebracht und das Operationsgebiet rasiert. Eine intravenöse Antibiose wird vor dem Hautschnitt begonnen.

Nach ausgiebiger Hautdesinfektion wird der Patient steril abgedeckt und als Landmarken werden die Fossa jugularis, der Processus xiphoideus und die Mittellinie eingezeichnet. Der Schnitt erfolgt in etwa auf Höhe der 2. bis 4. Rippe mit einer Länge von etwa 6-8 cm.

Anschließend werden die Subcutis und die Fascia pectoralis gespalten. Auf dem somit freigelegten Periost des Sternums wird die Sägelinie mit dem Elektrokauter markiert. Vor der Durchtrennung des Sternums wird das Ligamentum interclaviculare per Elektrokauter oder mit der Schere gespalten. Die Sternumhinterwand wird von kranial stumpf mit dem Finger präpariert und die Ligamenta sternoclaviculares vom Sternum abgelöst.

Da die Sternotomie in einen der Intercostalräume fortgeführt werden soll, muss dieser vorher präpariert werden. Die Entscheidung, ob der 3., 4. oder 5. ICR gewählt wird, ist abhängig vom Patienten sowie von der geplanten Operation. Während der 3. ICR bei jungen Patienten häufig ausreicht, wird bei älteren Menschen und/oder Patienten mit Osteoporose meist der 4. ICR bevorzugt, um durch eine geringere Retraktionskraft das Risiko für Rippenfrakturen gering zu halten. Insbesondere bei Eingriffen an der Aortenwurzel kann eine Fortführung bis in den 5. ICR notwendig sein. Ob die Ministernotomie nach rechts („J-Sternotomie“) oder links („L-Sternotomie“) erfolgt, ist primär abhängig von den Vorlieben des Operateurs.

Die Osteotomie erfolgt mit einer konventionellen oder einer oszillierenden Säge. Das Sternum sollte möglichst genau in der Mittellinie durchtrennt werden, da so das Risiko für Wundheilungsstörungen und Frakturen am geringsten ist. Gesägt wird vom Jugulum bis zur Höhe des gewählten ICR, anschließend wird die Osteotomie in den gewählten ICR fortgeführt. Nach der Durchtrennung des Sternums erfolgt die Blutstillung der Sägekanten per Elektrokauter, alternativ kann Knochenwachs verwendet werden. Beide Verfahren sollten nicht übermäßig angewendet werden, da großflächige Nekrosen durch das Kauterisieren ebenso wie Knochenwachs das Infektionsrisiko erhöhen.

Im Anschluss wird der Retraktor eingesetzt, dabei darf der Zug auf der Vena brachiocephalica und dem Plexus brachialis nicht zu stark sein. Das substernale Fettgewebe und Anteile des Thymus werden gespalten und zu Teilen entfernt. Auch das Perikard wird in der Mittellinie aufgeschnitten. Mit einigen Nähten wird ein sanfter Zug am Perikard nach ventral ausgeübt, sodass das Herz und die Aortenwurzel besser exponiert werden. Dabei ist bis zum Etablieren der extrakorporalen Zirkulation zu beachten, dass ein zu starker Zug die ventrikuläre Füllung beeinträchtigen kann. Eine Antikoagulation mit Heparin wird vor dem Anschluss an die Herz-Lungen-Maschine durchgeführt.

Die superiore Ministernotomie erlaubt eine zentrale Kanülierung genau wie bei der medianen Sternotomie. In der Regel werden die proximale Aorta und die beiden Hohlvenen oder das rechte Atrium kanüliert.

Für eine bessere Übersicht kann die venöse Kanüle von subxiphoidal eingeführt und unter leichtem Zug gehalten werden, sodass die Aortenwurzel besser zur Darstellung kommt. Nun kann mit der extrakorporalen Zirkulation begonnen werden. Um restliches Blut aus dem linken

Ventrikel abzusaugen, wird ein Vent über eine Pulmonalvene eingebracht. Die Aorta ascendens wird abgeklemmt und die Kardioplegie durchgeführt. Meist wird die Kardioplegielösung anterograd über die Aortenwurzel verabreicht, sie kann aber auch retrograd über den Sinus coronarius eingebracht werden. Üblicherweise wird nun die Körpertemperatur über die Herz-Lungen-Maschine gesenkt. Um das Risiko einer Luftembolie zu minimieren, wird CO₂ in den OP-Situs insuffliert. Nach diesen Schritten kann der eigentliche Eingriff stattfinden.

Sollte sich während der Operation die Notwendigkeit zur Konversion zu einer medianen Sternotomie ergeben, so ist dies jederzeit und problemlos möglich, indem die partielle Sternotomie nach kaudal fortgeführt wird.

Am Ende der Operation wird die Aortenklemme wieder geöffnet und die Kardioplegielösung somit ausgespült. Das Entlüften wird bei minimalinvasiven Zugangswegen als erschwert beschrieben, da die Mobilisierung des Herzens nur eingeschränkt möglich ist. Der Erfolg des Entlüftens wird mittels transösophagealer Echokardiografie überprüft.

Anschließend werden passagere epikardiale Schrittmacherelektroden platziert und der Patient von der Herz-Lungen-Maschine entwöhnt, sobald ein regelmäßiger Sinusrhythmus besteht. Tritt zwischenzeitlich Kammerflimmern auf, wird dieses mittels Defibrillation therapiert. Eine Thorax- und eine Perikarddrainage werden platziert und zusammen mit den Schrittmacherkabeln subxiphoidal oder parasternal ausgeleitet.

Die Fäden aus dem Perikard werden entfernt und es erfolgt eine Blutungskontrolle. Eine Spülung des Situs senkt das Infektionsrisiko. Das Perikard wird vernäht und das Sternum mit 3-5 Drahtcerclagen verschlossen. Nach einer erneuten Spülung erfolgen Faszien-, Subcutan- und Hautnaht.

Die Abbildungen 1-3 zeigen den OP-Situs bei einem Mitralklappenersatz per superiorer Mini-sternotomie.

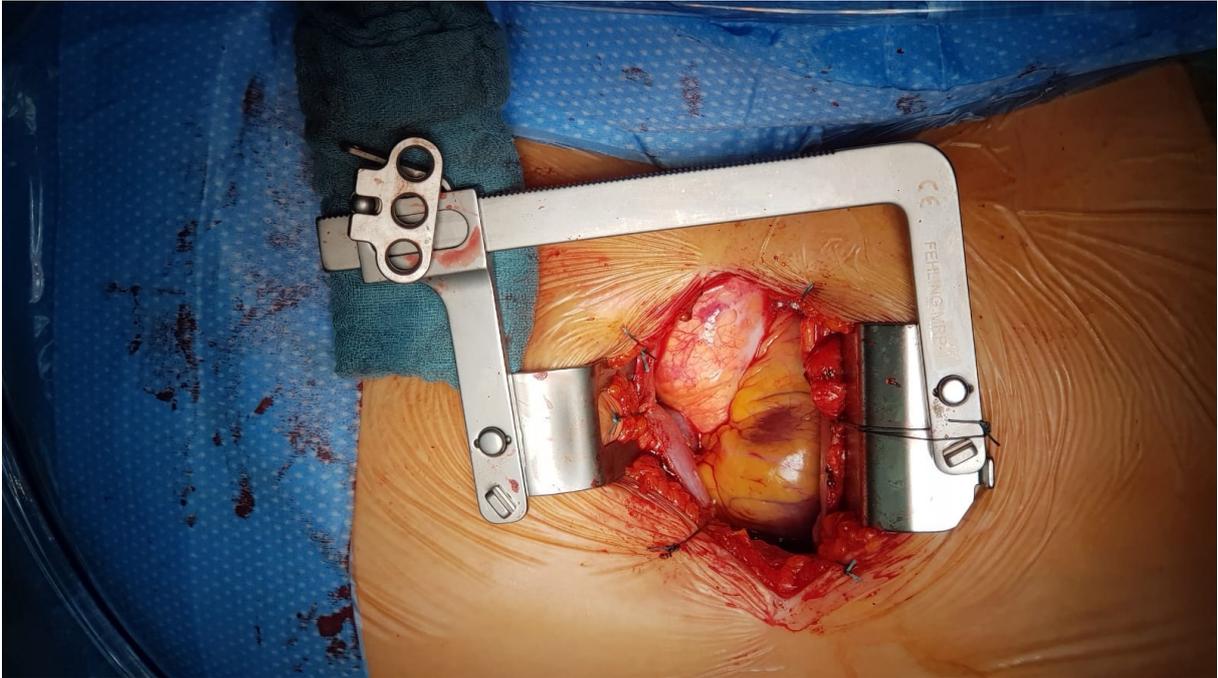


Abbildung 1: OP-Situs nach superiorer Ministernotomie (Quelle: Prof. Dr. A. Hoffmeier)

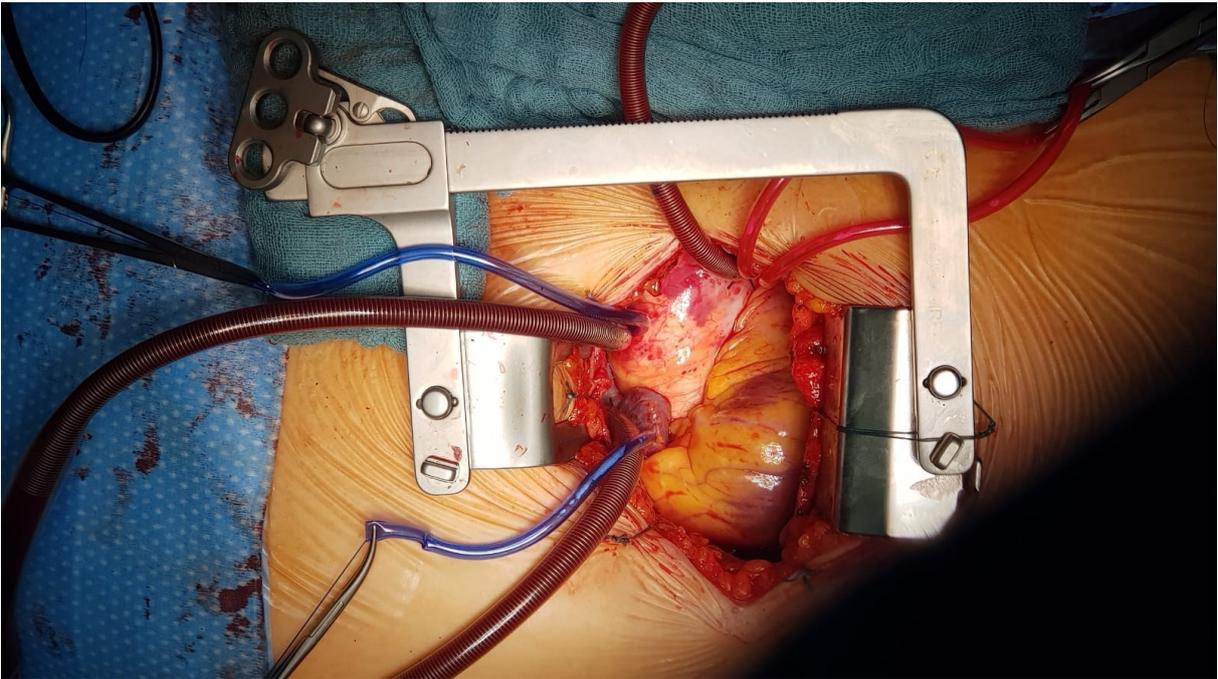


Abbildung 2: OP-Situs nach Anschluss an die Herz-Lungen-Maschine (Quelle: Prof. Dr. A. Hoffmeier)

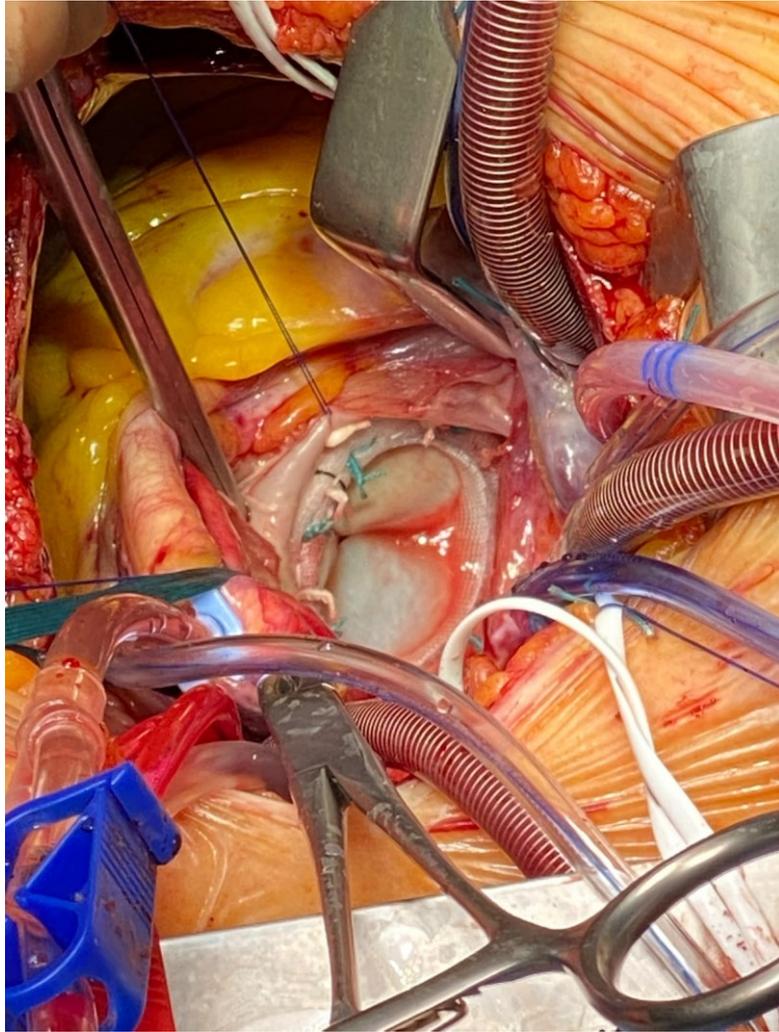


Abbildung 3: OP-Situs nach erfolgtem Mitralklappenersatz
(Quelle: Prof. Dr. A. Hoffmeier)

Alternativen

Beim rechts-parasternalen Zugang, zuerst beschrieben von Cosgrove et al. (6), erfolgt der Hautschnitt parasternal auf Höhe des 2.-5. Rippenknorpels. Je nach Patient und Eingriff werden der 2.-3. oder 3.-4. Rippenknorpel entfernt. Die rechte Arteria thoracica interna kann dabei geschont und nach lateral gedrängt werden, häufig wird sie jedoch verletzt und muss ligiert werden. Nach dem Abspreizen der nun freien Rippen kann die Operation wie oben beschrieben fortgeführt werden. Eine zentrale Kanülierung ist grundsätzlich möglich, meist werden jedoch die Femoralgefäße kanüliert.

Nachteile dieses Zugangsweges sind eine häufige Instabilität der Brustwand durch die abgetragenen Rippenknorpel und eine schlechtere Exposition insbesondere der Aortenklappe. Eine Konversion in eine mediane Sternotomie führt zu einem ausgedehnten Trauma und einer zusätzlichen Brustwandinstabilität. Zudem ist bei vielen Patienten eine zentrale Kanülierung nicht möglich. Aus diesen Gründen ist der parasternale Zugang heute verlassen.

Die transversale Sternotomie ist der „J-Ministernotomie“ ähnlich. Hierbei wird das Sternum auf Höhe des 2. oder 3. ICR quer durchtrennt. Eine Kanülierung der Aorta ascendens und des rechten Vorhofs ist meist möglich, auch die Aortenklappe kann gut erreicht werden. Jedoch müssen für diesen Zugang beide Arteriae thoracicae internae ligiert werden und stehen somit bei einer eventuellen späteren Bypass-Operation nicht mehr zur Verfügung. Eine Konversion in eine mediane Sternotomie führt zu vier Sternumfragmenten und damit verbundener Instabilität des Sternums. Auch aufgrund der signifikant höheren Letalität und Morbidität in einer Studie von Bridgewater et al. (10) wird die transversale Sternotomie heute kaum noch durchgeführt.

Eine andere Methode stellt die rechtsseitige Minithorakotomie dar. Nach einem ca. 5-7 cm langen Hautschnitt wird der Thorax abhängig vom Eingriff im 3., 4. oder 5. ICR parallel zu den Rippen eröffnet. Das Sternum und die Rippen bleiben intakt, was zu geringeren Schmerzen führt. Während der rechte Vorhof kanüliert werden kann, muss die arterielle Kanüle peripher eingeführt werden. Auch hier ist eine Konversion in eine mediane Sternotomie aufwändiger. Dennoch hat sich die Minithorakotomie insbesondere bei Eingriffen an der Mitralklappe an vielen Zentren durchgesetzt, wozu auch die Möglichkeit, videoassistent und sogar telemanipulatorisch zu operieren, beigetragen haben dürfte.

Eine Auswahl der verschiedenen Zugangswege sind in Abbildung 4 dargestellt.

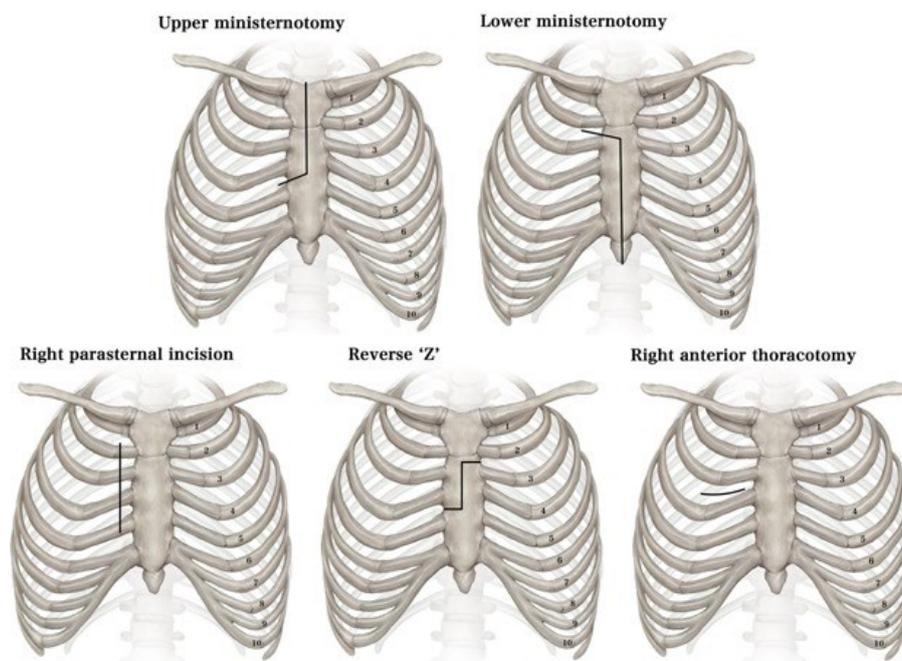


Abbildung 4: Verschiedene minimalinvasive Zugangswege. Die superiore Ministernotomie ist oben links dargestellt (Quelle: R. Salenger 2015 (34)).

1.6 Ziel dieser Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist, am Beispiel des Universitätsklinikums Münster zu zeigen, welche herzchirurgischen Eingriffe mit der superioren Ministernotomie möglich sind. Die verschiedenen Operationen werden mittels deskriptiver Statistik untereinander sowie mit Daten aus der Literatur verglichen.

2 Material und Methoden

2.1 Patientenkollektiv

In die Studie eingeschlossen wurden retrospektiv 1915 Patienten, die zwischen dem 03.11.2011 und dem 25.06.2020 an der Klinik für Herzchirurgie des Universitätsklinikums Münster operiert wurden. Das einzige Einschlusskriterium war der operative Zugang per superiorer Ministernotomie.

2.2 Einteilung der Gruppen

Die Patienten wurden nach Art des durchgeführten Eingriffs in Gruppen eingeteilt. Demografische Parameter oder auch die Ätiologie (z.B. kongenital/erworben) spielten dabei keine Rolle. Da viele Patienten kombinierte Eingriffe (zum Beispiel an der Aorten- und der Mitralklappe) erhalten haben, wurde zunächst die Häufigkeit der einzelnen Eingriffe und anschließend die Häufigkeit der Kombinationen ermittelt. Gruppen, die zu klein waren, um sinnvoll ausgewertet werden zu können, wurden zu größeren Gruppen zusammengefasst. Jeder Patient wurde in genau eine Obergruppe (z.B. „Aortenklappe“) eingeteilt. Neun Patienten ließen sich nicht in eine Obergruppe einteilen. Innerhalb der Obergruppen wurden Untergruppen (z.B. „Aortenklappenersatz“) gebildet, jedoch wurde nicht jeder Patient einer Untergruppe zugeordnet.

Die Ein- und Ausschlusskriterien der Obergruppen werden im Folgenden aufgeführt. Eine Übersicht über die Ein- und Ausschlusskriterien der Ober- und Untergruppen bietet Tabelle 1.

Aortenklappe

Einschlusskriterium war ein Eingriff an der Aortenklappe (AK). Dies umfasst den Aortenklappenersatz (AK-E, biologisch oder mechanisch), die Aortenklappenrekonstruktion und sonstige Eingriffe an der Aortenklappe.

Ausgeschlossen wurden alle Patienten, die zusätzlich an mindestens einer weiteren Klappe operiert wurden oder die sich in die Gruppen „Aorta“, „Bypass + Klappe“, „Kongenital“, „Tumor“ oder „LVAD“ einteilen ließen.

Mitralklappe

Einschlusskriterium war ein Eingriff an der Mitralklappe (MK). Dies umfasst die Mitralklappenrekonstruktion (MK-R, mit oder ohne Anuloplastierung), den Mitralklappenersatz (MK-E, biologisch oder mechanisch) und sonstige Eingriffe an der Mitralklappe.

Ausgeschlossen wurden alle Patienten, die zusätzlich an mindestens einer weiteren Klappe operiert wurden oder die sich in die Gruppen „Aorta“, „Bypass + Klappe“, „Kongenital“, „Tumor“ oder „LVAD“ einteilen ließen.

Trikuspidalklappe/Pulmonalklappe

Einschlusskriterium war ein Eingriff an der Trikuspidal- (TK) oder Pulmonalklappe (PK). Dies umfasst die Trikuspidalklappenrekonstruktion (TK-R, mit oder ohne Anuloplastierung), den Trikuspidalklappenersatz, den Pulmonalklappenersatz und sonstige Eingriffe an der Trikuspidal- oder Pulmonalklappe.

Ausgeschlossen wurden alle Patienten, die zusätzlich an mindestens einer weiteren Klappe operiert wurden oder die sich in die Gruppen „Aorta“, „Bypass + Klappe“, „Kongenital“, „Tumor“ oder „LVAD“ einteilen ließen.

Zwei Klappen

Einschlusskriterium war ein kombinierter Eingriff an zwei Herzklappen.

Ausgeschlossen wurden alle Patienten, die an mehr als zwei Klappen operiert wurden oder die sich in die Gruppen „Aorta“, „Bypass + Klappe“, „Kongenital“, „Tumor“ oder „LVAD“ einteilen ließen.

Drei Klappen

Einschlusskriterium war ein kombinierter Eingriff an der Aorten-, der Mitral- und der Trikuspidalklappe.

Ausgeschlossen wurden alle Patienten, die sich in die Gruppen „Aorta“, „Bypass + Klappe“, „Kongenital“, „Tumor“ oder „LVAD“ einteilen ließen.

Aorta

Einschlusskriterium war ein Eingriff an der thorakalen Aorta. Dies umfasst die Implantation einer Gefäßprothese mit oder ohne Ersatz der Aortenklappe, die Aortenrekonstruktion und sonstige Eingriffe an der Aorta.

Ausgeschlossen wurden alle Patienten, die sich in die Gruppen „Kongenital“, „Tumor“ oder „LVAD“ einteilen ließen.

Bypass + Klappe

Einschlusskriterium war eine kombinierte Bypass-Operation mit Eingriff an einer oder mehreren Herzklappen.

Ausgeschlossen wurden alle Patienten, die sich in die Gruppen „Aorta“, „Kongenital“, „Tumor“ oder „LVAD“ einteilen ließen.

Kongenital

Eingeschlossen wurden Patienten mit der operativen Korrektur eines persistierenden Foramen ovale (PFO), eines (angeborenen oder erworbenen) atrialen (ASD) oder ventrikulären Septumdefekts (VSD), eines atrioventrikulären Kanals (AV-Kanal), eines Cor triatriatum oder einer Lungenvenenfehlmündung.

Ausgeschlossen wurden alle Patienten, die sich in die Gruppen „Tumor“ oder „LVAD“ einteilen ließen.

Tumor

Einschlusskriterium war eine Tumorexzision am Herzen. Keine Patienten wurden ausgeschlossen.

LVAD

Einschlusskriterium war die Implantation eines linksventrikulären Herzunterstützungssystems (left ventricular assist device, LVAD). Keine Patienten wurden ausgeschlossen.

Gruppe	Einschlusskriterien: Eingriff an...	Eingeschlossen: Mit kombiniertem Eingriff an...	Ausschluss- kriterien: Eingriff an...
AK	AK		MK, TK, PK, Aorta, Bypass, Kongenital, Tumor, LVAD
AK-E	AK-E		MK, TK, PK, Aorta, Bypass, Kongenital, Tumor, LVAD
AK, Sonstige	Einschluss in Gruppe „AK“		Einschluss in Gruppe „AK-E“
MK	MK		AK, TK, PK, Aorta, Bypass, Kongenital, Tumor, LVAD
MK-E	MK-E		AK, TK, PK, Aorta, Bypass, Kongenital, Tumor, LVAD
MK-R	MK-R		AK, TK, PK, Aorta, Bypass, Kongenital, Tumor, LVAD
TK / PK	TK oder PK		AK, MK, Aorta, Bypass, Kongenital, Tumor, LVAD
TK-R	TK-R		AK, MK, PK, Aorta, Bypass, Kongenital, Tumor, LVAD
Zwei Klappen	Kombinierter Eingriff an zwei Klappen		Aorta, Bypass, Kongenital, Tumor, LVAD
AK-E + MK-E	AK-E + MK-E		TK, PK, Aorta, Bypass, Kongenital, Tumor, LVAD
AK-E + MK-R	AK-E + MK-R		TK, PK, Aorta, Bypass, Kongenital, Tumor, LVAD
AK-E + TK	AK-E + TK		MK, PK, Aorta, Bypass, Kongenital, Tumor, LVAD
MK-E + TK	MK-E + TK		AK, PK, Aorta, Bypass, Kongenital, Tumor, LVAD
MK-R + TK	MK-R + TK		AK, PK, Aorta, Bypass, Kongenital, Tumor, LVAD
Zwei Klappen, Sonstige	Einschluss in Gruppe „Zwei Klappen“		Einschluss in eine der oben genannten Untergruppen
Drei Klappen	AK + MK + TK		Aorta, Bypass, Kongenital, Tumor, LVAD

Tabelle 1 (Teil 1): Ein- und Ausschlusskriterien der Gruppen

Gruppe	Einschlusskriterien: Eingriff an...	Eingeschlossen: Mit kombiniertem Eingriff an...	Ausschluss- kriterien: Eingriff an...
Aorta	Aorta	AK, MK, TK, Bypass	Kongenital, Tumor, LVAD
Aorta isoliert	Aorta		AK, MK, TK, PK, Bypass, Kongenital, Tumor, LVAD
Aorta + AK	Aorta + AK		MK, TK, PK, Bypass, Kongenital, Tumor, LVAD
Aorta + AK + MK	Aorta + AK + MK		TK, PK, Bypass, Kongenital, Tumor, LVAD
Aorta + Sonstige	Einschluss in Gruppe „Aorta“	AK, MK, TK, Bypass	Einschluss in eine der oben genannten Untergruppen
Bypass + Klappe	Bypass + AK / MK / TK / PK		Aorta, Kongenital, Tumor, LVAD
Bypass + AK	Bypass + AK		MK, TK, PK, Aorta, Kongenital, Tumor, LVAD
Bypass + Klappe, Sonstige	Einschluss in Gruppe „Bypass + Klappe“	AK, MK, TK	Einschluss in Gruppe „Bypass + AK“
Kongenital	PFO / ASD* / VSD / AV-Kanal / Cor triatriatum / Lungenvenenfehlmündung	AK, MK, TK, Aorta, Bypass	Tumor, LVAD
Kongenital isoliert	PFO / ASD* / VSD / AV-Kanal / Cor triatriatum / Lungenvenenfehlmündung		AK, MK, TK, PK, Aorta, Bypass, Tumor, LVAD
Kongenital + AK	PFO / ASD* / VSD / AV-Kanal / Cor triatriatum / Lungenvenenfehlmündung + AK		MK, TK, PK, Aorta, Bypass, Tumor, LVAD
Kongenital + MK	PFO / ASD* / VSD / AV-Kanal / Cor triatriatum / Lungenvenenfehlmündung + MK		AK, TK, PK, Aorta, Bypass, Tumor, LVAD
Kongenital + Sonstige	Einschluss in Gruppe „Kongenital“	AK, MK, TK, Aorta, Bypass	Einschluss in eine der oben genannten Gruppen
Tumor	Tumorexzision am Herzen	AK, MK, TK, Kongenital	-
Tumor isoliert	Tumorexzision am Herzen		AK, MK, TK, PK, Aorta, Bypass, Kongenital, LVAD
Tumor + Sonstige	Einschluss in Gruppe „Tumor“	AK, MK, TK, Kongenital	Einschluss in Gruppe „Tumor isoliert“
LVAD	LVAD-Implantation	TK	-
LVAD isoliert	LVAD-Implantation		AK, MK, TK, PK, Aorta, Bypass, Kongenital, Tumor
LVAD + TK	LVAD-Implantation + TK		-

Tabelle 1 (Teil 2): Ein- und Ausschlusskriterien der Gruppen

*Es wurden auch erworbene Atriumseptumdefekte in die Gruppe aufgenommen.

2.3 Statistische Methoden

Die Patientendaten wurden dem Qualitäts- und Informations-Management-System (QIMS) entnommen, in dem die demografischen Daten jedes Patienten der Klinik für Herzchirurgie des Universitätsklinikums Münster (das Einverständnis des Patienten vorausgesetzt) sowie prä-, intra- und postoperative Parameter erfasst werden. Die Daten wurden vor Beginn der Auswertung vollständig anonymisiert.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm „Microsoft Excel 2013“. Für die Signifikanztestung wurde das Programm „IBM SPSS Statistics 27“ verwendet.

Für nominale Merkmale wurde die prozentuale Verteilung errechnet. Nominale Merkmale haben verschiedene Ausprägungen, die sich nicht in eine Reihenfolge bringen lassen. In dieser Auswertung kamen lediglich binäre Merkmale vor, welche eine Sonderform der nominalen Parameter darstellen. Bei binären Merkmalen sind nur zwei Ausprägungen vorhanden. Ein Beispiel hierfür ist die Notwendigkeit einer Erythrozytentransfusion (ja/nein).

Stetige Merkmale hingegen lassen sich nicht nur ordnen, sie lassen auch unendlich viele Abstufungen zu. Ein Beispiel ist die postoperative Beatmungsdauer. Stetige Merkmale wurden zunächst auf Normalverteilung überprüft. Waren die Merkmale normalverteilt (Schiefe $-1 \leq g \leq 1$), so wurden das arithmetische Mittel, der Median, Minimum und Maximum sowie die Standardabweichung ermittelt. Bei nicht normalverteilten Merkmalen wurden das arithmetische Mittel und die Standardabweichung nicht berücksichtigt, da diese zu stark durch Extremwerte beeinflusst werden.

Da die meisten Parameter nicht normalverteilt waren, wurde für eine bessere Vergleichbarkeit der Gruppen untereinander sowie zu Literaturdaten in der Auswertung bei allen Parametern ausschließlich der Median dargestellt.

Diese Berechnungen wurden für das gesamte Patientenkollektiv wie auch für die einzelnen Gruppen durchgeführt.

Außerdem wurden die Abweichungen der Klinikletalität in den einzelnen Obergruppen von der Gesamtpopulation auf statistische Signifikanz überprüft. Hierfür wurde der zweiseitige Exakte Fisher-Test angewendet. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha=0,05$ festgelegt. Eine Abweichung wurde also nur dann als signifikant erachtet, wenn der p-Wert kleiner als 0,05 war.

2.4 Zielparameter

Im Folgenden werden die untersuchten Parameter aufgelistet und erklärt.

Geschlecht

Alter

Alter zum Zeitpunkt der Operation

Klinikletalität

Anteil der Patienten, die während des stationären Aufenthaltes verstorben sind

OP-Dauer

OP-Dauer von Hautschnitt bis -naht

Zeit an der Herz-Lungen-Maschine

Zeitspanne, während der der Patient intraoperativ an die Herz-Lungen-Maschine angeschlossen war. Untersucht wurde auch, ob ein Patient nach Entwöhnung von der Herz-Lungen-Maschine intraoperativ erneut an diese angeschlossen werden musste.

Zeit mit Aortenklemme

Zeitspanne, während der intraoperativ die Aorta abgeklemmt war. Untersucht wurde auch, ob die Aorta ein zweites Mal abgeklemmt wurde.

Liegedauer auf der Intensivstation

Postoperative Liegedauer auf der Intensivstation in Tagen

Liegedauer auf der Normalstation

Postoperative Liegedauer auf der Normalstation der Herz- und Thoraxchirurgie in Tagen

Gabe von Blutprodukten

Anteil der Patienten, die Erythrozytenkonzentrate (EK), Thrombozytenkonzentrate (TK) oder gefrorenes Frischplasma (fresh frozen plasma, FFP) erhalten haben

Postoperative Beatmungsdauer

Notwendigkeit zur postoperativen Beatmung und postoperative Beatmungsdauer in Stunden

Reintubationsrate

Notwendigkeit zur Reintubation im postoperativen Verlauf

Erneute Extrakorporale Zirkulation

Notwendigkeit für einen erneuten Anschluss an die extrakorporale Zirkulation (EKZ) im postoperativen Verlauf

Rethorakotomierate

Notwendigkeit für eine Rethorakotomie sowie Rethorakotomie wegen Sternuminstabilität

Wundheilungsstörungen

Auftreten von oberflächlichen oder tiefen thorakalen Wundinfektionen im postoperativen Verlauf sowie bei einer Follow-up-Untersuchung. Beim Auftreten von Wundheilungsstörungen (WHST) wurde die Notwendigkeit einer Wundrevision im postoperativen Verlauf sowie bei der Follow-up-Untersuchung dargestellt.

Myokardinfarkt postoperativ

Myokardinfarkt während des postoperativen stationären Aufenthaltes

Vorhofflimmern prä- und postoperativ

Prävalenz von Vorhofflimmern (VHF) vor der Operation und bei Entlassung

Herzschrittmacher

Implantation eines Herzschrittmachers sowie der Einsatz eines passageren Schrittmachers

Akute Nierenschädigung

Postoperativ aufgetretene akute Nierenschädigung (acute kidney injury, AKI) sowie deren Therapie mit Medikamenten oder Nierenersatzverfahren (Hämofiltration oder Dialyse)

Apoplex postoperativ

Zerebrale Ischämie oder Blutung während des postoperativen stationären Aufenthaltes

3 Ergebnisse

3.1 Gesamtpopulation

Zwischen dem 03.11.2011 und dem 25.06.2020 wurden an der Klinik für Herzchirurgie des Universitätsklinikums Münster 10574 Patienten an der Herz-Lungen-Maschine operiert. Davon war der operative Zugang in 1915 Fällen die superiore Ministernotomie, was einem Anteil von 18,1% entspricht.

Die Anzahl der durchgeführten Eingriffe ohne Berücksichtigung der Kombinationen kann Tabelle 2 entnommen werden. Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die Anzahl der Patienten in den einzelnen Gruppen.

Eingriff	Anzahl
Aortenklappenersatz	1204
Aortenklappenrekonstruktion	65
Mitralklappenersatz	170
Mitralklappenrekonstruktion	443
Trikuspidalklappenersatz	2
Trikuspidalklappenrekonstruktion	241
Pulmonalklappenersatz	2
Aorta	301
Bypass	69
Kongenital	89
Tumor	43
LVAD	31

Tabelle 2: Anzahl der durchgeführten Eingriffe nach Kategorie

Gruppe	Anzahl	Gruppe	Anzahl
Aortenklappe	816	Aorta	296
AK-E	802	Aorta isoliert	47
AK, sonstige	14	Aorta + AK	218
Mitralklappe	291	Aorta + AK + MK	19
MK-E	71	Aorta + Sonstige	12
MK-R	215	Bypass + Klappe	60
Trikuspidal-/ Pulmonalklappe	14	Bypass + AK	42
TK-R	10	Bypass + Klappe, sonstige	18
Zwei Klappen	252	Kongenital	87
AK-E + MK-E	27	Kongenital isoliert	31
AK-E + MK-R	43	Kongenital + AK	10
AK-E + TK	10	Kongenital + MK	22
MK-E + TK	48	Kongenital + Sonstige	24
MK-R + TK	110	Tumor	43
Zwei Klappen, sonstige	14	Tumor isoliert	32
Drei Klappen	16	Tumor + Sonstige	11
		LVAD	31
		LVAD isoliert	13
		LVAD + TK	18

Tabelle 3: Anzahl der Patienten in den einzelnen Gruppen

Insgesamt waren 61,2% der Patienten männlich, 38,8% waren Frauen. Das durchschnittliche Alter betrug $65,7 \pm 13,5$ Jahre, der Median lag bei 68,3 Jahren. Das minimale Patientenalter lag bei 16 Jahren, der älteste Patient war 96 Jahre alt. 47 Patienten, also 2,5%, sind im Krankenhaus verstorben.

Im Mittel betrug die OP-Dauer 200 Minuten, davon waren die Patienten 114 Minuten an die Herz-Lungen-Maschine angeschlossen und 81 Minuten war die Aorta abgeklemmt. Nach der Operation lagen die Patienten im Mittel 1 Tag auf der Intensiv- und 11 Tage auf der Normalstation. Die postoperative Beatmungsdauer lag im Mittel bei 6 Stunden.

3,9% der Patienten wurden intraoperativ ein zweites Mal an die Herz-Lungen-Maschine angeschlossen und bei 3,8% die Aorta ein zweites Mal abgeklemmt. Dies war etwa dann notwendig, wenn sich gezeigt hat, dass das Operationsergebnis noch nicht erreicht wurde, weil etwa eine neu eingesetzte Klappe nicht dicht geschlossen hat. Erythrozyten wurden bei 35,7% der Patienten transfundiert, Thrombozyten bei 12% und gefrorenes Frischplasma bei 5,2%.

Im postoperativen Verlauf mussten 3,5% der Patienten wegen respiratorischer Insuffizienz reintubiert werden. 1,1% mussten nach Abschluss der Operation erneut an eine extrakorporale Zirkulation angeschlossen werden. Die Rethorakotomierate betrug 7,3%; zu 0,5% lag eine Instabilität des Sternums vor, die eine Rethorakotomie erforderte. Wundheilungsstörungen im Bereich des Thorax traten im postoperativen Intervall bei 2,3% der Patienten auf, bei 1,5% der Patienten wurde die Wunde revidiert. Bei einer Follow-up-Untersuchung zeigten 4,2% eine Wundheilungsstörung, 2,2% hatten die Wunde bis zum Zeitpunkt des Follow-up revidieren lassen.

Die Inzidenz eines Myokardinfarktes nach der Operation lag bei 1,5%. Ein Vorhofflimmern zeigten präoperativ 18,5% der Patienten, nach der Operation war dies nur noch bei 14,5% der Fall. Bei 3,2% der Patienten wurde ein Schrittmacher implantiert. Mit einem passageren Schrittmacher hingegen wurde ein Großteil der Patienten (75,7%) stationär therapiert. Zu 10,9% trat nach der Operation zumindest vorübergehend eine nicht vorbestehende Nierenschädigung auf, die bei 6,4% der Patienten konservativ und bei 4,5% mittels Hämofiltration oder Dialyse behandelt wurde. Ein zerebrovaskuläres Ereignis (Ischämie oder Blutung) erlitten 3% der Patienten. Die Daten sind in Tabelle 4 dargestellt.

Gesamtpopulation		
n	1915	
	<i>Median</i>	
Alter (a)	68,3	
OP-Dauer (min)	200	
Zeit an der HLM (min)	114	
Zeit mit Aortenklamme (min)	81	
Liegedauer Intensivstation (d)	1	
Liegedauer Normalstation (d)	11	
Postoperative Beatmungsdauer (h)	6	
	<i>(n)</i>	<i>(%)</i>
Männer	1172	61,2
Frauen	743	38,8
Klinikletalität	47	2,5
Erneute HLM-Anlage	74	3,9
Erneute Aortenklamme	72	3,8
EK-Transfusion	683	35,7
TK-Transfusion	230	12
FFP-Transfusion	99	5,2
Reintubationsrate	67	3,5
Erneute EKZ	21	1,1
Rethorakotomie	140	7,3
davon wegen Sternuminstabilität	10	0,5
WHST postoperativ	44	2,3
WHST bei Follow-up	81	4,2
Wundrevision postoperativ	28	1,5
Wundrevision bei Follow-up	42	2,2
Myokardinfarkt postoperativ	28	1,5
VHF präoperativ	355	18,5
VHF postoperativ	278	14,5
Schrittmacher neu	62	3,2
Passagerer Schrittmacher	1450	75,7
AKI, konservativ therapiert	122	6,4
AKI, Nierenersatzverfahren	87	4,5
Apoplex postoperativ	58	3

Tabelle 4: Ergebnisse der gesamten Studiengruppe

3.2 Aortenklappe

Im untersuchten Zeitraum wurden 816 Patienten an der Aortenklappe operiert, ohne einen kombinierten Eingriff zu erhalten. Die Krankenhausletalität lag in dieser Gruppe bei 1,1% und damit niedriger als in der Gesamtpopulation (2,5%). Mit einem p-Wert von $p=0,026$ ist die Abweichung statistisch signifikant. Ebenso niedriger lag die Rate der EK-Transfusionen (29,9% vs. 35,7%). Keinen großen Unterschied gab es bei der Liegedauer auf der Intensiv- (1 Tag) und der Normalstation (10 vs. 11 Tage) und der postoperativen Beatmungsdauer (6 Stunden).

Auch bei vielen weiteren intra- und postoperativen Parametern zeigte sich ein guter Outcome, etwa bei der Reintubationsrate (2,2% vs. 3,5%), der Rethorakotomierate (4,8% vs. 7,3%) und der Durchführung eines Nierenersatzverfahrens (2,1% vs. 4,5%).

Keinen nennenswerten Unterschied gab es hingegen bei der Rate an Wundheilungsstörungen oder beim neurologischen Outcome.

Die Ergebnisse der Gruppe „Aortenklappe“ sowie der Untergruppen sind in Tabelle 5 dargestellt.

	AK	AK-E	AK, sonstige	Gesamt- population
n	816	802	14	1915
Männer (%)	62,4	62,5	57	61,2
Frauen (%)	37,6	37,5	43	38,8
Alter (a)	70,8	70,8	48,8	68,3
Klinikletalität (%)	1,1 (p=0,026)	1,1	0	2,5
OP-Dauer (min)	178	178	138	200
Zeit an der HLM (min)	99	99	67	114
Erneute HLM-Anlage (%)	1,8	1,7	7	3,9
Zeit mit Aortenklamme (min)	71	72	32	81
Erneute Aortenklamme (%)	2,5	2,4	7	3,8
Liegedauer Intensivstation (d)	1	1	1	1
Liegedauer Normalstation (d)	10	10	12	11
EK-Transfusion (%)	29,9	30	21	35,7
TK-Transfusion (%)	9,2	9,4	0	12
FFP-Transfusion (%)	3,4	3,5	0	5,2
Postoperative Beatmungsdauer (h)	6	6	6	6
Reintubationsrate (%)	2,2	2,2	0	3,5
Erneute EKZ (%)	0,5	0,4	7	1,1
Rethorakotomierate (%)	4,8	4,7	7	7,3
Davon wegen Sternuminstabilität (%)	0,4	0,4	0	0,5
WHST postoperativ (%)	2,2	2,2	0	2,3
WHST bei Follow-up (%)	4,9	5	0	4,2
Wundrevision postoperativ (%)	1,5	1,5	0	1,5
Wundrevision bei Follow-up (%)	2,7	2,7	0	2,2
Myokardinfarkt postoperativ (%)	1,3	1,2	7	1,5
VHF präoperativ (%)	11,4	11,6	0	18,5
VHF postoperativ (%)	9,7	9,7	7	14,5
Schrittmacher neu (%)	2,2	2,2	0	3,2
Passagerer Schrittmacher (%)	70,3	70,8	43	75,7
AKI, konservativ therapiert (%)	5,5	5,6	0	6,4
AKI, Nierenersatzverfahren (%)	2,1	2,1	0	4,5
Apoplex postoperativ (%)	2,3	2,4	0	3

Tabelle 5: Ergebnisse der Gruppe „Aortenklappe“. Markiert sind auffällige Abweichungen von der Gesamtpopulation. Grün = vorteilhaft, rot = nachteilhaft, blau = neutral

Aortenklappenersatz

Da der Aortenklappenersatz mit 802 Patienten den Großteil der isolierten Aortenklappenoperationen ausgemacht hat, sind die Werte dieser beiden Gruppen beinahe identisch.

Aortenklappe, Sonstige

In dieser Gruppe erfasst wurden sechs Patienten mit Aortenklappenrekonstruktion, zwei Patienten mit Exploration der Aortenklappe, in einem Fall mit Thrombektomie, sowie sechs Patienten, deren Eingriffe an der Aortenklappe nicht näher bezeichnet sind. In dieser heterogenen Gruppe ist das mittlere Alter im Vergleich deutlich jünger (48,8 vs. 68,3 Jahre). Keiner der Patienten ist während des stationären Aufenthaltes verstorben. Die Operationsdauer war deutlich kürzer als bei der Grundgesamtheit (138 vs. 200 Minuten), ebenso die Zeit an der Herz-Lungen-Maschine (67 vs. 114 Minuten) und mit Aortenklemme (32 vs. 81 Minuten).

Die Liegedauer auf der Intensiv- und Normalstation sowie die postoperative Beatmungsdauer waren vergleichbar mit der Obergruppe „Aortenklappe“ und der Gesamtpopulation. Nur 21% (vs. 35,7% in der Grundgesamtheit) der Patienten benötigten die Gabe eines Erythrozytenkonzentrates und nur 43% (vs. 75,7%) einen passageren Schrittmacher.

Ein Patient entwickelte postoperativ eine respiratorische Insuffizienz, wurde erneut an die extrakorporale Zirkulation angeschlossen und aus nicht bekannter Ursache rethorakotomiert.

3.3 Mitralklappe

An der Mitralklappe ohne kombinierten Eingriff wurden 291 Patienten operiert. Davon entfallen 71 Eingriffe auf den Ersatz der Mitralklappe, 215 Mitralklappenrekonstruktionen, drei Patienten mit Exploration der Mitralklappe sowie zwei Patienten mit nicht näher bezeichneter Operation an der Mitralklappe. Die Klinikletalität betrug 3% (vs. 2,5%, $p=0,689$). Etwa 37% (vs. 35,7%) der Patienten erhielten eine Erythrozytentransfusion. Nach der Operation verbrachten die Patienten im Mittel 1 Tag auf der Intensiv- und 11 Tage auf der Normalstation. Sie wurden etwa 6 Stunden lang nachbeatmet.

Erhöht war die Rethorakotomierate (11% vs. 7,3%) sowie die postoperative Prävalenz von Vorhofflimmern (21% vs. 14,5%). Ansonsten ist der Outcome mit dem der Gesamtpopulation vergleichbar.

Die Ergebnisse der Gruppe „Mitralklappe“ sowie der Untergruppen sind in Tabelle 6 dargestellt.

	MK	MK-E	MK-R	Gesamt-population
n	291	71	215	1915
Männer (%)	59	54	62	61,2
Frauen (%)	41	46	38	38,8
Alter (a)	63,9	72,1	62	68,3
Klinikletalität (%)	3 (p=0,689)	8	1	2,5
OP-Dauer (min)	216	215	217	200
Zeit an der HLM (min)	135	135	135	114
Erneute HLM-Anlage (%)	7	4	8	3,9
Zeit mit Aortenklamme (min)	94	95	95	81
Erneute Aortenklamme (%)	5	7	5	3,8
Liegedauer Intensivstation (d)	1	2	1	1
Liegedauer Normalstation (d)	11	10	11	11
EK-Transfusion (%)	37	62	29	35,7
TK-Transfusion (%)	11	21	7	12
FFP-Transfusion (%)	4	6	3	5,2
Postoperative Beatmungsdauer (h)	6	6	6	6
Reintubationsrate (%)	4	7	3	3,5
Erneute EKZ (%)	2	3	1	1,1
Rethorakotomierate (%)	11	17	9	7,3
davon wegen Sternuminstabilität (%)	0	0	0	0,5
WHST postoperativ (%)	2	3	2	2,3
WHST bei Follow-up (%)	4	1	5	4,2
Wundrevision postoperativ (%)	1	1	0	1,5
Wundrevision bei Follow-up (%)	1	1	1	2,2
Myokardinfarkt postoperativ (%)	1	0	2	1,5
VHF präoperativ (%)	21	28	19	18,5
VHF postoperativ (%)	21	15	23	14,5
Schrittmacher neu (%)	5	6	5	3,2
Passagerer Schrittmacher (%)	86	86	87	75,7
AKI, konservativ therapiert (%)	6	8	5	6,4
AKI, Nierenersatzverfahren (%)	4	8	3	4,5
Apoplex postoperativ (%)	4	6	4	3

Tabelle 6: Ergebnisse der Gruppe „Mitralklappe“. Markiert sind auffällige Abweichungen von der Gesamtpopulation. Grün = vorteilhaft, rot = nachteilhaft, blau = neutral

Mitralklappenersatz

Bei den 71 Patienten, die einen Mitralklappenersatz erhalten haben, lag die Komplikationsrate hingegen deutlich über dem Durchschnitt. Die Klinikletalität lag in dieser Gruppe bei 8% (vs. 2,5% in der Grundgesamtheit), rund 62% (vs. 35,7%) erhielten eine Erythrozyten- und 21% (vs. 12%) eine Thrombozytentransfusion. Die Liegedauer auf der Intensivstation war mit 2 Tagen (vs. 1 Tag) im Mittel verdoppelt, auf der Normalstation verbrachten die Patienten 12 (vs. 11) Tage. Die postoperative Beatmungsdauer betrug 6 Stunden.

Des Weiteren wurden 7% (vs. 3,5%) der Patienten im Verlauf reintubiert und 3% (vs. 1,1%) erneut an eine extrakorporale Zirkulation angeschlossen. Eine Rethorakotomie war in 17% (vs. 7,3%) der Fälle erforderlich. Ein Schrittmacher wurde bei 6% (vs. 3,2%) implantiert. Bei 16% (vs. 10,9%) der Patienten trat eine akute Nierenschädigung auf, 8% (vs. 4,5%) benötigten ein Nierenersatzverfahren. Auch die Inzidenz eines zerebrovaskulären Ereignisses war in dieser Gruppe mit 6% doppelt so hoch wie in der Gesamtpopulation (3%).

Mitralklappenrekonstruktion

Besser war der Outcome der 215 Patienten nach Mitralklappenrekonstruktion. In dieser Gruppe lag die Klinikletalität lediglich bei 1% (vs. 2,5%). Nur 29% (vs. 35,7%) der Patienten benötigten eine Erythrozytentransfusion. Die Liegedauer betrug auf der Intensivstation 1 Tag und auf der Normalstation 11 Tage. Postoperativ wurden die Patienten im Mittel 6 Stunden lang beatmet.

Auffällig ist, dass 8% (vs. 3,9%) der Patienten intraoperativ ein zweites Mal an die Herz-Lungen-Maschine angeschlossen wurden. Die Aorta wurde in 5% (vs. 3,8%) der Fälle ein zweites Mal abgeklemmt.

Die Prävalenz von Vorhofflimmern war postoperativ mit 23% deutlich höher als in der Gesamtpopulation (14,5%). 87% (vs. 75,7%) benötigten einen passageren Schrittmacher.

3.4 Trikuspidalklappe / Pulmonalklappe

Im Beobachtungszeitraum erhielten zehn Patienten eine isolierte Trikuspidalklappenrekonstruktion, zwei Patienten einen Trikuspidalklappenersatz und zwei Patienten einen Pulmonalklappenersatz.

Die Patienten waren deutlich jünger als in der Grundgesamtheit (54,1 vs. 68,3 Jahre). Auch überwog der Anteil der Frauen mit 57% (vs. 38,3%). Mit 37 Minuten war die Aorta im Mittel deutlich kürzer abgeklemmt als in der Gesamtpopulation (81 Minuten).

Die Eingriffe zeigten einen schlechten Outcome, zwei Patienten (14% vs. 2,5%) verstarben während ihres Aufenthaltes. Der Unterschied ist mit $p=0,047$ statistisch signifikant. Zwar war der Aufenthalt auf der Intensiv- (1 Tag) und Normalstation (11 Tage) vergleichbar mit der Gesamtpopulation und die Beatmungsdauer sogar kürzer (5 vs. 6 Stunden). Jedoch benötigten 64% (vs. 35,7%) der Patienten eine Erythrozyten- und 29% (vs. 12%) eine Thrombozytentransfusion. Ein Patient wurde postoperativ erneut an die extrakorporale Zirkulation angeschlossen, zwei Patienten wurden rethorakotomiert.

Eine akute Nierenschädigung trat bei drei Patienten auf, bei zwei dieser Patienten kamen Nierenersatzverfahren zum Einsatz. Ein postoperativer Apoplex oder Myokardinfarkt trat jeweils ein Mal auf.

Die Ergebnisse der Gruppe „Trikuspidalklappe / Pulmonalklappe“ sowie der Untergruppen sind in Tabelle 7 dargestellt.

	TK/PK	TK-R	Gesamt- population
n	14	10	1915
Männer (%)	43	40	61,2
Frauen (%)	57	60	38,8
Alter (a)	54,1	54,1	68,3
Klinikletalität (%)	14 (p=0,047)	20	2,5
OP-Dauer (min)	213	213	200
Zeit an der HLM (min)	120	109	114
Erneute HLM-Anlage (%)	7	10	3,9
Zeit mit Aortenklemme (min)	37	48	81
Erneute Aortenklemme (%)	0	0	3,8
Liegedauer Intensivstation (d)	1	1	1
Liegedauer Normalstation (d)	11	11	11
EK-Transfusion (%)	64	70	35,7
TK-Transfusion (%)	29	30	12
FFP-Transfusion (%)	0	0	5,2
Postoperative Beatmungsdauer (h)	5	3	6
Reintubationsrate (%)	0	0	3,5
Erneute EKZ (%)	7	0	1,1
Rethorakotomierate (%)	14	10	7,3
davon wegen Sternuminstabilität (%)	0	0	0,5
WHST postoperativ (%)	0	0	2,3
WHST bei Follow-up (%)	7	10	4,2
Wundrevision postoperativ (%)	7	0	1,5
Wundrevision bei Follow-up (%)	0	0	2,2
Myokardinfarkt postoperativ (%)	7	10	1,5
VHF präoperativ (%)	36	40	18,5
VHF postoperativ (%)	14	10	14,5
Schrittmacher neu (%)	0	0	3,2
Passagerer Schrittmacher (%)	64	70	75,7
AKI, konservativ therapiert (%)	7	10	6,4
AKI, Nierenersatzverfahren (%)	14	20	4,5
Apoplex postoperativ (%)	7	0	3

Tabelle 7: Ergebnisse der Gruppe „Trikuspidalklappe / Pulmonalklappe“. Markiert sind auffällige Abweichungen von der Gesamtpopulation. Grün = vorteilhaft, rot = nachteilhaft, blau = neutral

Trikuspidalklappenrekonstruktion

Die Ergebnisse dieser Gruppe sind vergleichbar mit der Obergruppe „Trikuspidalklappe / Pulmonalklappe“. Da die beiden Verstorbenen eine Trikuspidalklappenrekonstruktion erhalten haben, liegt die Klinikletalität in dieser Gruppe bei 20%. Auffällig ist eine deutlich verkürzte Beatmungsdauer von 3 Stunden (vs. 6 Stunden in der Grundgesamtheit).

3.5 Zwei Klappen

In dieser Gruppe mit 252 Patienten lag die Klinikletalität bei 5%, also doppelt so hoch wie in der Gesamtpopulation (2,5%, $p=0,06$). Die Operation dauerte im Mittel 35 Minuten länger (235 vs. 200 Minuten), ähnlich die Zeit an der Herz-Lungen-Maschine (149 vs. 114 Minuten) und mit Aortenklemme (110 vs. 81 Minuten).

Auch postoperative Parameter waren gegenüber der Referenzgruppe erhöht. Die Rate an Erythrozytentransfusionen lag bei 44% (vs. 35,7%). Mit 7 Stunden wurden die Patienten im Mittel etwas länger nachbeatmet als in der Gesamtpopulation (6 Stunden). Vergleichbar hingegen waren die Liegedauer auf der Intensiv- (1 Tag) und Normalstation (11 Tage).

Reintubiert wurden 8% (vs. 3,5%) der Patienten, auch die Rethorakotomierate war erhöht (11% vs. 7,3%). An Vorhofflimmern litten vor der Operation 43% (vs. 18,5%) der Patienten, postoperativ waren dies nur noch 29% (vs. 14,5%). 6% erhielten einen Schrittmacher. Schließlich kamen auch Nierenersatzverfahren häufiger zum Einsatz (8% vs. 4,5%).

Die Ergebnisse der Gruppe „Zwei Klappen“ sowie der Untergruppen sind in den Tabellen 8 und 9 dargestellt.

	Zwei Klappen	AK-E +MK-E	AK-E +MK-R	AK-E +TK	Gesamt- population
n	252	27	43	10	1915
Männer (%)	58	41	79	50	61,2
Frauen (%)	42	59	21	50	38,8
Alter (a)	73,1	69,2	68,5	73,4	68,3
Klinikletalität (%)	5 (p=0,06)	7	2	10	2,5
OP-Dauer (min)	235	275	214	218	200
Zeit an der HLM (min)	149	198	129	139	114
Erneute HLM-Anlage (%)	7	7	0	10	3,9
Zeit mit Aortenklamme (min)	110	157	98	96	81
Erneute Aortenklamme (%)	5	7	2	10	3,8
Liegedauer Intensivstation (d)	1	2	1	2	1
Liegedauer Normalstation (d)	11	12	10	13	11
EK-Transfusion (%)	44	56	33	30	35,7
TK-Transfusion (%)	15	30	7	0	12
FFP-Transfusion (%)	8	15	2	0	5,2
Postoperative Beatmungsdauer (h)	7	6	5	7	6
Reintubationsrate (%)	8	15	7	10	3,5
Erneute EKZ (%)	2	0	0	0	1,1
Rethorakotomie rate (%)	11	11	9	20	7,3
davon wegen					
Sternuminstabilität (%)	1	0	0	0	0,5
WHST postoperativ (%)	2	0	0	0	2,3
WHST bei Follow-up (%)	3	0	2	0	4,2
Wundrevision postoperativ (%)	2	0	0	0	1,5
Wundrevision bei Follow-up (%)	3	0	0	0	2,2
Myokardinfarkt postoperativ (%)	1	0	0	0	1,5
VHF präoperativ (%)	43	37	19	40	18,5
VHF postoperativ (%)	29	30	14	30	14,5
Schrittmacher neu (%)	6	7	7	10	3,2
Passagerer Schrittmacher (%)	82	85	72	90	75,7
AKI, konservativ therapiert (%)	8	15	9	0	6,4
AKI, Nierenersatzverfahren (%)	8	22	2	20	4,5
Apoplex postoperativ (%)	2	7	0	0	3

Tabelle 8: Ergebnisse der Gruppe „Zwei Klappen“, Teil 1. Markiert sind auffällige Abweichungen von der Gesamtpopulation. Grün = vorteilhaft, rot = nachteilhaft, blau = neutral

	Zwei Klappen	MK-E +TK	MK-R +TK	2 Klappen, Sonstige	Gesamt-population
n	252	48	110	14	1915
Männer (%)	58	44	62	57	61,2
Frauen (%)	42	56	38	43	38,8
Alter (a)	73,1	76,4	72,8	69,3	68,3
Klinikletalität (%)	5 (p=0,06)	10	3	0	2,5
OP-Dauer (min)	235	233	239	225	200
Zeit an der HLM (min)	149	148	149	127	114
Erneute HLM-Anlage (%)	7	13	6	7	3,9
Zeit mit Aortenklemme (min)	110	109	111	92	81
Erneute Aortenklemme (%)	5	8	4	7	3,8
Liegedauer Intensivstation (d)	1	1	1	2	1
Liegedauer Normalstation (d)	11	14	11	11	11
EK-Transfusion (%)	44	69	35	50	35,7
TK-Transfusion (%)	15	23	14	7	12
FFP-Transfusion (%)	8	8	8	7	5,2
Postoperative Beatmungsdauer (h)	7	10	7	7	6
Reintubationsrate (%)	8	13	5	0	3,5
Erneute EKZ (%)	2	2	2	7	1,1
Rethorakotomie rate (%)	11	21	6	7	7,3
Davon wegen					
Sternuminstabilität (%)	1	4	1	0	0,5
WHST postoperativ (%)	2	8	1	0	2,3
WHST bei Follow-up (%)	3	10	2	0	4,2
Wundrevision postoperativ (%)	2	8	1	0	1,5
Wundrevision bei Follow-up (%)	3	10	2	0	2,2
Myokardinfarkt postoperativ (%)	1	2	2	0	1,5
VHF präoperativ (%)	43	48	53	36	18,5
VHF postoperativ (%)	29	42	28	29	14,5
Schrittmacher neu (%)	6	4	6	0	3,2
Passagerer Schrittmacher (%)	82	77	85	93	75,7
AKI, konservativ therapiert (%)	8	15	5	7	6,4
AKI, Nierenersatzverfahren (%)	8	17	4	0	4,5
Apoplex postoperativ (%)	2	4	1	0	3

Tabelle 9: Ergebnisse der Gruppe „Zwei Klappen“, Teil 2. Markiert sind auffällige Abweichungen von der Gesamtpopulation. Grün = vorteilhaft, rot = nachteilhaft, blau = neutral

Aortenklappenersatz + Mitralklappenersatz

In dieser Gruppe mit 27 Patienten war die Krankenhausletalität besonders hoch (7% vs. 2,5% in der Grundgesamtheit). Der Eingriff dauerte deutlich länger (275 vs. 200 Minuten), ebenso die Zeit an der Herz-Lungen-Maschine (198 vs. 114 Minuten) und an der Aortenklemme (157 vs. 81 Minuten). Auffällig ist auch ein hoher Anteil an Patientinnen (56% vs. 38,8%).

Die Rate an Erythrozytentransfusionen war erhöht (56% vs. 35,7%), ebenso die Transfusion von Thrombozyten (30% vs. 12%) und gefrorenem Frischplasma (15% vs. 5,2%).

Durchschnittlich hielten sich die Patienten 2 Tage (vs. 1 Tag) auf der Intensiv- und 12 Tage (vs. 11 Tage) auf der Normalstation auf. Die postoperative Beatmungsdauer war mit 6 Stunden vergleichbar mit der Gesamtpopulation.

Im postoperativen Verlauf wurden 15% (vs. 3,5%) reintubiert und 37% (vs. 10,9%) litten an einer akuten Nierenschädigung. Bei 7% (vs. 3,2%) wurde ein Schrittmacher implantiert. Einen Apoplex erlitten 7% (vs. 3%) der Patienten.

Aortenklappenersatz + Mitralklappenrekonstruktion

Der Outcome der 43 Patienten mit kombiniertem Aortenklappenersatz und Mitralklappenrekonstruktion hingegen war ähnlich dem der Grundgesamtheit. Der Männeranteil war mit 79% (vs. 61,2%) hoch. Die Klinikletalität lag bei 2% (vs. 2,5%). 33% (vs. 35,7%) erhielten eine Erythrozytentransfusion, die Liegedauer betrug 1 Tag auf der Intensiv- und 10 (vs. 11) Tage auf der Normalstation und die Beatmungsdauer betrug 5 (vs. 6) Stunden.

Aortenklappenersatz + Trikuspidalklappe

Die zehn Patienten in dieser Gruppe erhielten einen Aortenklappenersatz mit kombinierter Trikuspidalklappenrekonstruktion. Ein Patient ist im postoperativen Verlauf verstorben. Die Liegedauer auf der Intensivstation lag mit 2 Tagen höher als in der Gesamtpopulation (1 Tag). Auf der Normalstation lagen die Patienten im Mittel 13 Tage (vs. 11 Tage). Auch die postoperative Beatmungszeit war mit 7 Stunden (vs. 6 Stunden) etwas verlängert. Drei Patienten erhielten eine Erythrozytentransfusion.

Ein Patient wurde im Verlauf reintubiert, zwei Patienten wurden rethorakotomiert. Bei zwei Patienten trat eine akute Nierenschädigung auf, die mittels Nierenersatzverfahren therapiert wurde.

Mitralklappenersatz + Trikuspidalklappe

In diese Gruppe wurden 48 Patienten eingeschlossen, die einen Mitralklappenersatz mit kombinierter Trikuspidalklappenrekonstruktion erhalten haben. Der Anteil an Frauen überwog mit 56% (vs. 38,8%). Der Outcome der Patienten war deutlich schlechter als das der Gesamtpopulation.

Im Mittel waren die Patienten in dieser Gruppe deutlich älter (76,4 vs. 68,3 Jahre). Die Klinikletalität betrug 10% (vs. 2,5%). Während die Liegedauer auf der Intensivstation vergleichbar war (1 Tag), waren die Liegedauer auf der Normalstation (14 vs. 11 Tage) und die postoperative Beatmungsdauer (10 vs. 6 Stunden) gegenüber der Grundgesamtheit verlängert.

Auch Blutprodukte wurden deutlich öfter gegeben (Erythrozytenkonzentrate: 69% vs. 35,7%, Thrombozytenkonzentrate: 23% vs. 12%, gefrorenes Frischplasma: 8% vs. 5,2%).

Intraoperativ wurden die Patienten häufiger ein zweites Mal an die Herz-Lungen-Maschine angeschlossen (13% vs. 3,9%) und die Aorta erneut abgeklemmt (8% vs. 3,8%). Im postoperativen Intervall wurden 13% (vs. 3,5%) der Patienten reintubiert und 21% (vs. 7,3%) rethorakotomiert. Bei zwei Patienten war ein instabiles Sternum die Ursache. Wundheilungsstörungen zeigten sich postoperativ bei 8% (vs. 2,3%) und bei einem Follow-up bei 10% (vs. 4,2%) der Patienten, in allen Fällen wurde die Wunde revidiert. Eine akute Nierenschädigung trat bei 32% (vs. 10,9%) auf, 17% (vs. 4,5%) der Patienten benötigten ein Nierenersatzverfahren.

Mitralklappenrekonstruktion + Trikuspidalklappe

Besser war der Outcome bei den 110 Patienten mit Mitralklappen- und kombinierter Trikuspidalklappenrekonstruktion. Die Klinikletalität betrug 3%, die Liegedauer auf der Intensiv- (1 Tag) und der Normalstation (11 Tage) war vergleichbar mit der Gesamtpopulation. Die Rate der Erythrozytentransfusionen war ebenso sehr ähnlich (35% vs. 35,7%), die Beatmungsdauer mit 7 Stunden (vs. 6 Stunden) nur geringfügig erhöht.

Ähnlich wie bei der Obergruppe "Zwei Klappen" war die Prävalenz von Vorhofflimmern prä- (53% vs. 18,5%) und postoperativ (28% vs. 14,5%) auffällig hoch, ebenso wie der Anteil der Schrittmacher-Implantationen (6% vs. 3,2%). Die restlichen Parameter waren vergleichbar mit der Grundgesamtheit.

Zwei Klappen, Sonstige

Von den 14 Patienten in dieser Gruppe erhielten acht Patienten einen Aortenklappenersatz kombiniert mit einem nicht näher bezeichneten Eingriff an der Mitralklappe, zwei Patienten eine Aorten- und Mitralklappenrekonstruktion, zwei Patienten eine Aortenklappenrekonstruktion mit Mitralklappenersatz, ein Patient eine Aortenklappenrekonstruktion mit einem nicht näher bezeichneten Eingriff an der Mitralklappe sowie ein Patient einen Mitralklappenersatz mit Exploration der Aortenklappe.

Keiner der Patienten ist im Krankenhaus verstorben. Im Mittel lagen die Patienten 2 Tage (vs. 1 Tag) auf der Intensiv- und 11 Tage auf der Normalstation. Die postoperative Beatmungsdauer betrug 7 Stunden (vs. 6 Stunden). 50% (vs. 35,7% in der Grundgesamtheit) erhielten eine Erythrozytentransfusion. Außer einer erhöhten Prävalenz an Vorhofflimmern (präoperativ 36% vs. 18,5%, postoperativ 29% vs. 14,5%) und einer hohen Rate an passageren Schrittmachern (93% vs. 75,7%) waren die restlichen Ergebnisse unauffällig.

3.6 Drei Klappen

In diese Gruppe wurden 16 Patienten eingeschlossen. Sieben von ihnen erhielten einen Aortenklappenersatz mit Mitral- und Trikuspidalklappenrekonstruktion, vier Patienten erhielten einen Aorten- und Mitralklappenersatz mit Trikuspidalklappenrekonstruktion. Bei zwei Patienten wurden Aorten-, Mitral- und Trikuspidalklappe rekonstruiert. Ein Patient erhielt eine Mitral- und Trikuspidalklappenrekonstruktion mit nicht näher bezeichnetem Eingriff an der Aortenklappe, bei einem Patienten wurde die Aortenklappe exploriert und thrombektomiert mit kombinierter Mitral- und Trikuspidalklappenrekonstruktion, schließlich erhielt ein Patient einen Aortenklappenersatz mit Trikuspidalklappenrekonstruktion und nicht näher bezeichnetem Eingriff an der Mitralklappe.

Das Alter der Patienten war im Mittel höher als in der Grundgesamtheit (75,1 vs. 68,3 Jahre). Die Operation dauerte mit 294 (vs. 200) Minuten deutlich länger, ebenso stark verlängert waren die Zeit an der Herz-Lungen-Maschine (187 vs. 114 Minuten) und an der Aortenklappe (140 vs. 81 Minuten).

Der Outcome dieser Patienten war schlechter als in der Gesamtpopulation. Im Krankenhaus verstarben drei Patienten, was einer Letalität von 19% (vs. 2,5%) entspricht. Mit einem p-Wert von $p=0,007$ ist die Abweichung signifikant. Die Patienten verbrachten im Mittel 2 Tage (vs. 1 Tag) auf der Intensiv- und 14 (vs. 11) Tage auf der Normalstation. Die postoperative Beatmungsdauer war deutlich verlängert (10 vs. 6 Stunden), ebenso wurden häufiger Erythrozytenkonzentrate (50% vs. 35,7%), Thrombozytenkonzentrate (31% vs. 12%) und gefrorenes Frischplasma (31% vs. 5,2%) verabreicht.

Im postoperativen Verlauf wurde ein Patient erneut an die extrakorporale Zirkulation angeschlossen und drei Patienten wurden rethorakotomiert. Ein Schrittmacher wurde bei zwei Patienten eingesetzt. Vier Patienten wurden wegen einer akuten Nierenschädigung mittels Nierenersatzverfahren therapiert, zwei Patienten erlitten einen Schlaganfall und einer hatte einen Myokardinfarkt.

Die Ergebnisse der Gruppe „Drei Klappen“ sind in Tabelle 10 dargestellt.

	Drei Klappen	Gesamt-population
n	16	1915
Männer (%)	63	61,2
Frauen (%)	38	38,8
Alter (a)	75,1	68,3
Klinikletalität (%)	19 (p=0,007)	2,5
OP-Dauer (min)	294	200
Zeit an der HLM (min)	187	114
Erneute HLM-Anlage (%)	0	3,9
Zeit mit Aortenklamme (min)	140	81
Erneute Aortenklamme (%)	0	3,8
Liegedauer Intensivstation (d)	2	1
Liegedauer Normalstation (d)	14	11
EK-Transfusion (%)	50	35,7
TK-Transfusion (%)	31	12
FFP-Transfusion (%)	31	5,2
Postoperative Beatmungsdauer (h)	10	6
Reintubationsrate (%)	0	3,5
Erneute EKZ (%)	6	1,1
Rethorakotomierate (%)	19	7,3
davon wegen Sternuminstabilität (%)	0	0,5
WHST postoperativ (%)	6	2,3
WHST bei Follow-up (%)	6	4,2
Wundrevision postoperativ (%)	0	1,5
Wundrevision bei Follow-up (%)	0	2,2
Myokardinfarkt postoperativ (%)	6	1,5
VHF präoperativ (%)	44	18,5
VHF postoperativ (%)	19	14,5
Schrittmacher neu (%)	13	3,2
Passagerer Schrittmacher (%)	88	75,7
AKI, konservativ therapiert (%)	6	6,4
AKI, Nierenersatzverfahren (%)	25	4,5
Apoplex postoperativ (%)	13	3

Tabelle 10: Ergebnisse der Gruppe „Drei Klappen“. Markiert sind auffällige Abweichungen von der Gesamtpopulation. Grün = vorteilhaft, rot = nachteilhaft, blau = neutral

3.7 Aorta

296 Patienten wurden im Untersuchungszeitraum an der Aorta operiert. Erfasst wurden 88 Implantationen eines klappentragenden Conduits der Aorta ascendens (mit biologischer oder mechanischer Klappe), 85 plastische Rekonstruktionen der thorakalen Aorta, 63 suprakoronare Rohrprothesen, 46 Aneurysma-Exzisionen, 20 totale oder partielle Rohrprothesen des Aortenbogens, 17 David-Operationen, drei Operationen nach Yacoub, zwei Endarteriektomien der Aorta sowie zwei Rohrprothesen der Aorta descendens.

Die Patienten waren im Mittel jünger als in der Gesamtpopulation (63,4 vs. 68,3 Jahre). Die Klinikletalität lag mit 3% nahe bei der Grundgesamtheit (2,5%, p=0,55), ebenso wie die Liegedauer auf der Intensiv- (1 Tag) und Normalstation (11 Tage) sowie die Rate an Erythrozytentransfusionen (33% vs. 35,7%). Die Beatmungsdauer war mit 7 Stunden (vs. 6 Stunden) geringfügig erhöht. Auch die weiteren Parameter ähnelten denen der Gesamtpopulation.

Die Ergebnisse der Gruppe „Aorta“ sowie der Untergruppen sind in Tabelle 11 dargestellt.

	Aorta	Aorta isoliert	Aorta +AK	Aorta +AK +MK	Aorta +Sonstige	Gesamtpopulation
n	296	47	218	19	12	1915
Männer (%)	70	60	72	68	75	61,2
Frauen (%)	30	40	28	32	25	38,8
Alter (a)	63,4	61,2	63,4	66,1	67,3	68,3
Klinikletalität (%)	3 (p=0,55)	2	3	11	0	2,5
OP-Dauer (min)	221	205	220	273	311	200
Zeit an der HLM (min)	130	100	129	165	173	114
Erneute HLM-Anlage (%)	6	4	5	16	25	3,9
Zeit mit Aortenklammer (min)	90	62	89	122	131	81
Erneute Aortenklammer (%)	6	4	6	16	8	3,8
Liegedauer Intensivstation (d)	1	1	1	2	1	1
Liegedauer Normalstation (d)	11	10	11	10	12	11
EK-Transfusion (%)	33	19	34	53	50	35,7
TK-Transfusion (%)	17	4	16	26	67	12
FFP-Transfusion (%)	5	0	6	0	8	5,2
Postoperative Beatmungsdauer (h)	7	6	7	9	8	6
Reintubationsrate (%)	2	4	1	0	8	3,5
Erneute EKZ (%)	1	0	1	5	0	1,1
Rethorakotomie rate (%)	8	4	9	21	0	7,3
davon wegen Sternuminstabilität (%)	1	0	2	0	0	0,5
WHST postoperativ (%)	3	0	3	5	0	2,3
WHST bei Follow-up (%)	4	0	5	11	0	4,2
Wundrevision postoperativ (%)	2	2	2	0	0	1,5
Wundrevision bei Follow-up (%)	2	0	2	5	0	2,2
Myokardinfarkt postoperativ (%)	2	2	2	0	8	1,5
VHF präoperativ (%)	14	11	11	32	50	18,5
VHF postoperativ (%)	10	11	10	11	17	14,5
Schrittmacher neu (%)	2	0	2	0	0	3,2
Passagerer Schrittmacher (%)	78	74	77	95	83	75,7
AKI, konservativ therapiert (%)	7	2	6	26	17	6,4
AKI, Nierenersatzverfahren (%)	3	0	3	11	0	4,5
Apoplex postoperativ (%)	3	4	3	0	0	3

Tabelle 11: Ergebnisse der Gruppe „Aorta“. Markiert sind auffällige Abweichungen von der Gesamtpopulation. Grün = vorteilhaft, rot = nachteilhaft, blau = neutral

Aorta isoliert

Die 47 Patienten in dieser Gruppe zeigten gute Ergebnisse. Die Letalität betrug 2% (vs. 2,5%). Postoperativ lagen die Patienten im Mittel 1 Tag auf der Intensiv- und 10 Tage (vs. 11 Tage) auf der Normalstation. Die Beatmungsdauer betrug im Mittel 6 Stunden. Die Rate an Erythrozytentransfusionen lag mit 19% niedriger als bei der Grundgesamtheit (35,7%), ebenso die Gabe von Thrombozytenkonzentraten (4% vs. 12%) und gefrorenem Frischplasma (0% vs. 5,2%). Nur 2% (vs. 10,9%) der Patienten zeigten eine akute Nierenschädigung. Die restlichen Parameter waren unauffällig.

Aorta + Aortenklappe

Die 218 Patienten in dieser Gruppe zeigten einen durchschnittlichen Outcome. Etwa 3% der Patienten starben während ihres stationären Aufenthaltes. Die Liegedauer auf der Intensiv- (1 Tag) und der Normalstation (11 Tage) entsprach in etwa der Grundgesamtheit. 34% (vs. 35,7%) der Patienten erhielten eine Erythrozytentransfusion. Die postoperative Beatmungsdauer lag mit 7 Stunden im Mittel etwas höher als bei der Gesamtpopulation (6 Stunden). Die weiteren Parameter waren mit dieser vergleichbar.

Aorta + Aortenklappe + Mitralklappe

In dieser Gruppe zeigten sich gehäuft Komplikationen. Von den 19 Patienten starben zwei während des Krankenhausaufenthaltes (11%). Die Liegedauer auf der Intensivstation war mit 2 Tagen (vs. 1 Tag) verlängert, während die Liegedauer auf Normalstation (10 vs. 11 Tage) etwas kürzer war. 53% (vs. 35,7%) bekamen eine Erythrozyten- und 26% (vs. 12%) eine Thrombozytentransfusion, die Beatmungsdauer war mit 9 Stunden (vs. 6 Stunden) deutlich verlängert.

Die Operation dauerte im Mittel deutlich länger als in der Gesamtpopulation (273 vs. 200 Minuten), ähnlich die Zeit an der Herz-Lungen-Maschine (165 vs. 114 Minuten) und an der Aortenklammer (122 vs. 81 Minuten). Zudem wurden die Patienten häufiger ein zweites Mal intraoperativ an die Herz-Lungen-Maschine angeschlossen (16% vs. 3,9%) und erneut die Aorta abgeklemmt (16% vs. 3,8%).

Auch im postoperativen Verlauf zeigten sich schlechtere Ergebnisse: Ein Patient wurde erneut an die extrakorporale Zirkulation angeschlossen und vier Patienten wurden rethorakotomiert. Fast alle (95% vs. 75,7%) benötigten einen passageren Schrittmacher. Auch die Inzidenz der akuten Nierenschädigung war mit 37% (vs. 10,9%) deutlich erhöht.

Aorta + Sonstige

Von den zwölf Patienten erhielten neben der Operation an der Aorta vier Patienten zusätzlich einen Eingriff an der Aortenklappe und einen Bypass, zwei Patienten einen Eingriff an Aorten- und Mitralklappe sowie einen Bypass, zwei Patienten einen Eingriff an Aorten-, Mitralklappe und Trikuspidalklappe, ein Patient einen Eingriff an der Mitralklappe und Trikuspidalklappe, ein Patient einen Eingriff an der Mitralklappe, ein Patient einen Eingriff an der Trikuspidalklappe und ein Patient einen Bypass.

Die Operationsdauer war mit 311 Minuten im Mittel erheblich länger als in der Gesamtpopulation (200 Minuten). Ebenso deutlich verlängert waren die Zeit an der Herz-Lungen-Maschine (173 vs. 114 Minuten) und an der Aortenklammer (131 vs. 81 Minuten). Auffällig ist, dass bei einem Viertel der Patienten (25% vs. 3,9%) die Herz-Lungen-Maschine intraoperativ ein zweites Mal zum Einsatz kam.

Keiner der Patienten ist im Krankenhaus verstorben. Die Liegedauer entsprach mit 1 Tag auf der Intensiv- und 12 Tagen (vs. 11 Tagen) auf der Normalstation in etwa der Grundgesamtheit. 50% (vs. 35,7%) der Patienten erhielten eine Erythrozytentransfusion, noch höher lag der Anteil der Patienten mit Thrombozytentransfusion (67% vs. 12%). Die postoperative Beatmungsdauer betrug im Mittel 8 Stunden (vs. 6 Stunden).

Ein Patient musste im Verlauf reintubiert werden, ein Patient erlitt einen Myokardinfarkt. In zwei Fällen trat eine akute Nierenschädigung auf, beide wurden konservativ behandelt.

3.8 Bypass + Klappe

Im Untersuchungszeitraum erhielten 60 Patienten einen Bypass kombiniert mit einem Eingriff an einer Herzklappe. Nur ein Patient erhielt einen Bypass ohne weiteren Eingriff, dieser wurde in keiner Gruppe berücksichtigt. Das Alter der Patienten war höher als in der Gesamtpopulation (75,4 vs. 68,3 Jahre).

Es zeigten sich etwas häufiger Komplikationen. Die Klinikletalität lag bei 3% (vs. 2,5%, $p=0,659$), 2 Tage (vs. 1 Tag) verbrachten die Patienten im Mittel auf der Intensiv- und 12 Tage (vs. 11 Tage) auf der Normalstation. Eine Erythrozytentransfusion erhielten 65% (vs. 35,7%) der Patienten. Die Beatmungsdauer lag bei 7 Stunden (vs. 6 Stunden).

Auch postoperative Wundheilungsstörungen traten häufiger auf (7% vs. 2,3%), diese wurden in 3% (vs. 1,5%) revidiert. 90% (vs. 75,7%) benötigten einen passageren Schrittmacher. Bei 7% (vs. 3,2%) wurde ein permanenter Schrittmacher implantiert. Eine akute Nierenschädigung, die mittels Nierenersatzverfahren therapiert werden musste, zeigten 10% (vs. 4,5%) der Patienten.

Die Ergebnisse der Gruppe „Bypass + Klappe“ mit Untergruppen sind in Tabelle 12 dargestellt.

	Bypass +Klappe	Bypass +AK	Bypass +Klappe, sonstige	Gesamt- population
n	60	42	18	1915
Männer (%)	55	50	67	61,2
Frauen (%)	45	50	33	38,8
Alter (a)	75,4	75,6	70,3	68,3
Klinikletalität (%)	3 (p=0,659)	0	11	2,5
OP-Dauer (min)	225	211	270	200
Zeit an der HLM (min)	138	126	186	114
Erneute HLM-Anlage (%)	0	0	0	3,9
Zeit mit Aortenklappe (min)	102	97	132	81
Erneute Aortenklappe (%)	3	5	0	3,8
Liegedauer Intensivstation (d)	2	1	3	1
Liegedauer Normalstation (d)	12	11	16	11
EK-Transfusion (%)	65	62	72	35,7
TK-Transfusion (%)	17	17	17	12
FFP-Transfusion (%)	8	7	11	5,2
Postoperative Beatmungsdauer (h)	7	7	8	6
Reintubationsrate (%)	3	2	6	3,5
Erneute EKZ (%)	2	0	6	1,1
Rethorakotomierate (%)	8	2	22	7,3
davon wegen Sternuminstabilität (%)	0	0	0	0,5
WHST postoperativ (%)	7	5	11	2,3
WHST bei Follow-up (%)	7	5	11	4,2
Wundrevision postoperativ (%)	3	0	11	1,5
Wundrevision bei Follow-up (%)	3	0	11	2,2
Myokardinfarkt postoperativ (%)	0	0	0	1,5
VHF präoperativ (%)	17	17	17	18,5
VHF postoperativ (%)	13	14	11	14,5
Schrittmacher neu (%)	7	2	17	3,2
Passagerer Schrittmacher (%)	90	86	100	75,7
AKI, konservativ therapiert (%)	7	7	6	6,4
AKI, Nierenersatzverfahren (%)	10	5	22	4,5
Apoplex postoperativ (%)	3	0	11	3

Tabelle 12: Ergebnisse der Gruppe „Bypass + Klappe“. Markiert sind auffällige Abweichungen von der Gesamtpopulation. Grün = vorteilhaft, rot = nachteilhaft, blau = neutral

Bypass + Aortenklappe

Die Patienten, die zusätzlich zum Bypass an der Aortenklappe operiert wurden, hatten einen besseren Outcome als die Patienten, die einen kombinierten Eingriff an einer anderen Klappe erhielten. Keiner der 42 Patienten verstarb vor der Entlassung. Die Liegedauer lag mit 1 Tag auf der Intensiv- und 11 Tagen auf der Normalstation in einem ähnlichen Bereich wie die Gesamtpopulation.

Zwar erhielten 62% (vs. 35,7%) der Patienten eine Erythrozytentransfusion und die Beatmungsdauer lag bei 7 Stunden (vs. 6 Stunden). Im postoperativen Verlauf wurden jedoch nur 2% (vs. 3,5%) der Patienten reintubiert und nur 2% (vs. 7,3%) rethorakotomiert.

Bypass + Klappe, Sonstige

Eine hohe Komplikationsrate hatten Patienten, die einen Bypass erhalten haben und kombiniert an der Mitralklappe (sieben Patienten), der Aorten- und der Mitralklappe (fünf Patienten), der Mitralklappe und der Trikuspidalklappe (fünf Patienten) oder der Aorten- und der Trikuspidalklappe (ein Patient) operiert wurden.

Zwei der 18 Patienten starben im Krankenhaus (11% vs. 2,5%). Die Liegedauer betrug 3 Tage (vs. 1 Tag) auf der Intensiv- und 16 (vs. 11) Tage auf der Normalstation. 72% (vs. 35,7%) erhielten eine Erythrozytentransfusion, 17% (vs. 12%) der Patienten wurden Thrombozyten und 11% (vs. 5,2%) wurden FFPs verabreicht. Die Beatmungsdauer lag bei 8 (vs. 6) Stunden.

Im postoperativen Verlauf wurde ein Patient reintubiert und ein weiterer erneut an die extrakorporale Zirkulation angeschlossen. Vier Patienten wurden rethorakotomiert (22% vs. 7,3%). Bei zwei Patienten entwickelte sich eine Wundheilungsstörung, die revidiert werden musste. Alle Patienten (vs. 75,7%) benötigten einen passageren Schrittmacher, bei drei Patienten (17% vs. 3,2%) wurde ein permanenter Schrittmacher implantiert. Auf ein Nierenersatzverfahren wegen einer akuten Nierenschädigung waren vier Patienten angewiesen (22% vs. 4,5%), zwei Patienten (11% vs. 3%) erlitten einen Schlaganfall.

3.9 Kongenital

Bei 80 von 87 Patienten in dieser Gruppe wurde ein ASD verschlossen. Es handelte sich bei 39 Patienten um ein PFO, bei 36 Patienten um einen Septum-secundum-Defekt, bei drei Patienten um einen erworbenen Defekt und bei zwei Patienten um einen Septum-primum-Defekt. Bei zwei Patienten wurde eine Lungenvenenfehlmündung und bei zwei Patienten ein Cor triatriatum korrigiert, bei einem Patienten wurde ein VSD und bei einem ein AV-Kanal verschlossen. Ein Patient wurde an einem VSD und einer Lungenvenenfehlmündung operiert.

Mit 56,1 Jahren lag das mittlere Alter deutlich unter dem der Grundgesamtheit (68,3 Jahre). Keiner der Patienten ist im Krankenhaus verstorben (0% vs. 2,5%, $p=0,265$). Die Liegedauer betrug 1 Tag auf der Intensiv- und 9 Tage (vs. 11 Tage) auf der Normalstation. Postoperativ wurden die Patienten im Mittel 5 Stunden (vs. 6 Stunden) beatmet. 29% (vs. 35,7%) der Patienten wurden Erythrozytenkonzentrate transfundiert, Thrombozyten erhielten 7% (vs. 12%) und gefrorenes Frischplasma 2% (vs. 5,2%) der Patienten.

Auch anhand weiterer Parameter zeigte sich ein guter Outcome. So wurden nur 2% (vs. 3,5%) reintubiert und 3% (vs. 7,3%) rethorakotomiert. Postoperativ zeigte kein Patient Wundheilungsstörungen, bei einem Follow-up war dies bei 2% (vs. 4,2%) der Patienten der Fall. Kein Patient benötigte ein Nierenersatzverfahren und nur ein Patient erlitt einen Schlaganfall.

Die Ergebnisse der Gruppe „Kongenital“ sowie der Untergruppen sind in Tabelle 13 dargestellt.

	Kongenital	Kongenital isoliert	Kongenital +AK	Kongenital +MK	Kongenital +Sonst.	Gesamt-population
n	87	31	10	22	24	1915
Männer (%)	53	39	60	50	71	61,2
Frauen (%)	47	61	40	50	29	38,8
Alter (a)	56,1	42,9	66,3	62,3	67,4	68,3
Klinikletalität (%)	0 (p=0,265)	0	0	0	0	2,5
OP-Dauer (min)	194	150	200	202	227	200
Zeit an der HLM (min)	107	70	103	127	149	114
Erneute HLM-Anlage (%)	2	0	20	0	0	3,9
Zeit mit Aortenklemme (min)	73	42	75	87	110	81
Erneute Aortenklemme (%)	3	0	10	0	8	3,8
Liegedauer Intensivstation (d)	1	1	1	1	1	1
Liegedauer Normalstation (d)	9	8	10	11	13	11
EK-Transfusion (%)	29	6	20	36	54	35,7
TK-Transfusion (%)	7	3	0	5	17	12
FFP-Transfusion (%)	2	0	0	0	8	5,2
Postoperative Beatmungsdauer (h)	5	4	5	5	6	6
Reintubationsrate (%)	2	0	0	0	8	3,5
Erneute EKZ (%)	0	0	0	0	0	1,1
Rethorakotomierate (%)	3	3	0	0	8	7,3
davon wegen Sternuminstabilität (%)	0	0	0	0	0	0,5
WHST postoperativ (%)	0	0	0	0	0	2,3
WHST bei Follow-up (%)	2	3	0	0	4	4,2
Wundrevision postoperativ (%)	0	0	0	0	0	1,5
Wundrevision bei Follow-up (%)	2	3	0	0	4	2,2
Myokardinfarkt postoperativ (%)	1	3	0	0	0	1,5
VHF präoperativ (%)	18	3	30	14	38	18,5
VHF postoperativ (%)	16	3	20	9	38	14,5
Schrittmacher neu (%)	2	0	0	0	8	3,2
Passagerer Schrittmacher (%)	74	58	90	86	75	75,7
AKI, konservativ therapiert (%)	7	0	10	5	17	6,4
AKI, Nierenersatzverfahren (%)	0	0	0	0	0	4,5
Apoplex postoperativ (%)	1	0	10	0	0	3

Tabelle 13: Ergebnisse der Gruppe „Kongenital“. Markiert sind auffällige Abweichungen von der Gesamtpopulation. Grün = vorteilhaft, rot = nachteilhaft, blau = neutral

Kongenital isoliert

In dieser Gruppe mit 31 Patienten war das mittlere Alter mit 42,9 Jahren (vs. 68,3 Jahren) besonders gering. Außerdem war der Anteil an Frauen hoch (61% vs. 38,8%). Die Operationsdauer war mit 150 Minuten (vs. 200 Minuten) vergleichsweise kurz, ebenso wie die Zeit an der Herz-Lungen-Maschine (70 vs. 114 Minuten) und mit Aortenklamme (42 vs. 81 Minuten).

Die Eingriffe zeigten einen ausgesprochen günstigen Outcome: Kein Patient verstarb im Krankenhaus, die Patienten verbrachten im Mittel 1 Tag auf der Intensiv- und 8 Tage (vs. 11 Tage) auf der Normalstation. Nur 4 (vs. 6) Stunden wurden die Patienten nachbeatmet, eine Erythrozytentransfusion benötigten sogar nur 6% (vs. 35,7%) der Patienten. Ein passagerer Schrittmacher wurde nur bei 58% (vs. 75,7%) der Patienten eingesetzt. Die restlichen Parameter entsprechen ungefähr denen der Obergruppe „Kongenital“.

Kongenital + Aortenklappe

Auch diese Gruppe mit zehn Patienten zeigte gute Ergebnisse. Nach der Operation lagen die Patienten im Mittel 1 Tag auf der Intensiv- und 10 Tage (vs. 11 Tage) auf der Normalstation. Die Beatmungsdauer betrug 5 Stunden (vs. 6 Stunden). 2 Patienten (20% vs. 35,7%) erhielten Erythrozytenkonzentrate.

Kongenital + Mitralklappe

Die 22 Patienten in dieser Gruppe verbrachten im Mittel 1 Tag auf der Intensiv- und 11 Tage auf der Normalstation. Die Beatmungsdauer betrug auch hier 5 Stunden (vs. 6 Stunden). Bei 36% (vs. 35,7%) der Patienten wurden Erythrozytenkonzentrate transfundiert. Die restlichen Ergebnisse waren vergleichbar mit der Obergruppe „Kongenital“.

Kongenital + Sonstige

Von den 24 Patienten in dieser Gruppe wurden zehn zusätzlich an der Mitralklappe und Trikuspidalklappe operiert, fünf Patienten an der Trikuspidalklappe, vier Patienten an der Aorta und der Aortenklappe, ein Patient an der Aorta, Aorten- und Mitralklappe, ein Patient an der Aorten- und Trikuspidalklappe, ein Patient an der Aorten- und Mitralklappe, ein Patient an der Aorten-, Mitralklappe und Trikuspidalklappe und ein Patient erhielt zusätzlich einen Bypass.

Insgesamt zeigten sich mehr Komplikationen als in der Obergruppe „Kongenital“. Das mittlere Alter lag mit 67,4 Jahren deutlich über dem der Obergruppe (56,1 Jahre), aber knapp unter dem der Gesamtpopulation (68,3 Jahre).

Die Liegedauer betrug im Mittel 1 Tag auf der Intensiv- und 13 Tage (vs. 11 Tage) auf der Normalstation. Postoperativ wurden die Patienten 6 Stunden beatmet. Die Rate an Bluttransfusionen war erhöht: 54% (vs. 35,7%) erhielten eine Erythrozytentransfusion, 17% (vs. 12%) erhielten ein Thrombozytenkonzentrat und 8% (vs. 5,2%) gefrorenes Frischplasma.

8% (vs. 3,5%) der Patienten wurden reintubiert und 17% (vs. 10,9%) litten im Verlauf an einer akuten Nierenschädigung. Die Rethorakotomierate von 8% war vergleichbar mit der Gesamtpopulation (7,3%), aber höher als in der Obergruppe „Kongenital“ (3%). Auffallend häufig war auch Vorhofflimmern, die Prävalenz lag prä- und postoperativ bei 38% (vs. 18,5% vor und 14,5% nach dem Eingriff). Kein Patient erlitt einen Schlaganfall oder benötigte ein Nierenersatzverfahren.

3.10 Tumor

Bei den 43 Patienten mit Tumorexzision befand sich der Tumor in 31 Fällen im linken Atrium, in sieben Fällen im rechten Atrium und in sechs Fällen im linken Ventrikel. Die Art des Tumors wurde nicht näher beschrieben.

Über zwei Drittel (70% vs. 38,8%) der Patienten waren Frauen. Die Operation dauerte mit 148 Minuten (vs. 200 Minuten) kürzer als bei der Grundgesamtheit, ebenso die Zeit an der Herz-Lungen-Maschine (72 vs. 114 Minuten) und an der Aortenklemme (42 vs. 81 Minuten).

Keiner der Patienten ist im Krankenhaus verstorben (0% vs. 2,5%, $p=0,624$). Die Liegedauer war mit 1 Tag auf der Intensiv- und 10 Tagen (vs. 11 Tagen) auf der Normalstation vergleichbar mit der Gesamtpopulation. Etwas weniger Patienten benötigten eine Erythrozytentransfusion (28% vs. 35,7%), eine Thrombozytentransfusion (5% vs. 12%) oder gefrorenes Frischplasma (2% vs. 5,2%). Die postoperative Beatmungsdauer betrug im Mittel 6 Stunden.

Auch der postoperative Verlauf war im Vergleich komplikationsärmer: Nur 2% (vs. 3,5%) wurden reintubiert, keiner der Patienten wurde rethorakotomiert oder zeigte Wundheilungsstörungen. Nur ein Patient (2% vs. 10,9%) entwickelte eine akute Nierenschädigung.

Die Ergebnisse der Gruppe „Tumor“ sowie der Untergruppen sind in Tabelle 14 dargestellt.

	Tumor	Tumor isoliert	Tumor +Sonstige	Gesamt-population
n	43	32	11	1915
Männer (%)	30	28	36	61,2
Frauen (%)	70	72	64	38,8
Alter (a)	64,6	63,6	66,3	68,3
Klinikletalität (%)	0 (p=0,624)	0	0	2,5
OP-Dauer (min)	148	139	159	200
Zeit an der HLM (min)	72	67	103	114
Erneute HLM-Anlage (%)	2	0	9	3,9
Zeit mit Aortenklammer (min)	42	40	65	81
Erneute Aortenklammer (%)	0	0	0	3,8
Liegedauer Intensivstation (d)	1	1	1	1
Liegedauer Normalstation (d)	10	10	12	11
EK-Transfusion (%)	28	28	27	35,7
TK-Transfusion (%)	5	3	9	12
FFP-Transfusion (%)	2	0	9	5,2
Postoperative Beatmungsdauer (h)	6	6	4	6
Reintubationsrate (%)	2	0	9	3,5
Erneute EKZ (%)	0	0	0	1,1
Rethorakotomierate (%)	0	0	0	7,3
davon wegen Sternuminstabilität (%)	0	0	0	0,5
WHST postoperativ (%)	0	0	0	2,3
WHST bei Follow-up (%)	0	0	0	4,2
Wundrevision postoperativ (%)	0	0	0	1,5
Wundrevision bei Follow-up (%)	0	0	0	2,2
Myokardinfarkt postoperativ (%)	0	0	0	1,5
VHF präoperativ (%)	9	6	18	18,5
VHF postoperativ (%)	12	16	0	14,5
Schrittmacher neu (%)	5	6	0	3,2
Passagerer Schrittmacher (%)	63	66	55	75,7
AKI, konservativ therapiert (%)	0	0	0	6,4
AKI, Nierenersatzverfahren (%)	2	0	9	4,5
Apoplex postoperativ (%)	2	0	9	3

Tabelle 14: Ergebnisse der Gruppe „Tumor“. Markiert sind auffällige Abweichungen von der Gesamtpopulation. Grün = vorteilhaft, rot = nachteilhaft, blau = neutral

Tumor isoliert

Die Ergebnisse dieser Gruppe waren sehr ähnlich mit denen der Obergruppe „Tumor“. Nur einem Patienten wurde ein Thrombozytenkonzentrat verabreicht und niemand benötigte gefrorenes Frischplasma.

Tumor + Sonstige

Von den elf Patienten wurden fünf Patienten zusätzlich an der Mitralklappe, zwei Patienten an der Aortenklappe, ein Patient an der Mitral- und Trikuspidalklappe und ein Patient an der Trikuspidalklappe operiert. Ein Patient erhielt eine Versorgung eines persistierenden Foramen ovale und bei einem Patienten wurde ein Septum-secundum-Defekt verschlossen.

Der Outcome war ähnlich wie in der Obergruppe „Tumor“. Die postoperative Beatmungsdauer war mit 4 Stunden (vs. 6 Stunden) verkürzt, allerdings wurde ein Patient reintubiert. Ein Patient erlitt einen Schlaganfall und ein weiterer benötigte ein Nierenersatzverfahren.

3.11 LVAD

Bei 31 Patienten wurde ein linksventrikuläres Herzunterstützungssystem (LVAD) implantiert. Bei 17 Patienten handelte es sich dabei um ein LVAD vom Typ HeartMate 3™, bei 14 Patienten kam ein HeartWare™-LVAD zum Einsatz.

Mit 56,1 Jahren waren die Patienten jünger als in der Gesamtpopulation (68,3 Jahre). Die Klinikletalität betrug 6% (vs. 2,5%, $p=0,236$). Auf der Intensivstation verbrachten die Patienten postoperativ im Mittel 7 Tage (vs. 1 Tag) und auf der Normalstation weitere 65 Tage (vs. 11 Tage). Für 53 Stunden (vs. 6 Stunden) wurden die Patienten nachbeatmet. Auch die Gabe von Blutprodukten war häufig: 74% (vs. 35,7%) erhielten Erythrozytenkonzentrate, 26% (vs. 12%) Thrombozytenkonzentrate und 42% (vs. 5,2%) gefrorenes Frischplasma.

Im postoperativen Intervall mussten 16% (vs. 3,5%) der Patienten reintubiert und 3% (vs. 1,1%) erneut an die extrakorporale Zirkulation angeschlossen werden. 16% (vs. 7,3%) wurden rethorakotomiert. Bei 55% (vs. 10,9%) trat im Verlauf eine akute Nierenschädigung auf, bei 39% (vs. 4,5%) wurde dies mittels Nierenersatzverfahren therapiert. 16% (vs. 3%) der Patienten erlitten einen Schlaganfall.

Die Ergebnisse der Gruppe „LVAD“ sowie der Untergruppen sind in Tabelle 15 dargestellt.

	LVAD	LVAD isoliert	LVAD +TK	Gesamt-population
n	31	13	18	1915
Männer (%)	77	62	89	61,2
Frauen (%)	23	38	11	38,8
Alter (a)	56,1	62,7	52,0	68,3
Klinikletalität (%)	6 (p=0,236)	8	6	2,5
OP-Dauer (min)	210	191	228	200
Zeit an der HLM (min)	117	95	134	114
Erneute HLM-Anlage (%)	0	0	0	3,9
Zeit mit Aortenklammer (min)	57	38	71	81
Erneute Aortenklammer (%)	0	0	0	3,8
Liegedauer Intensivstation (d)	7	8	7	1
Liegedauer Normalstation (d)	65	75	65	11
EK-Transfusion (%)	74	77	72	35,7
TK-Transfusion (%)	26	31	22	12
FFP-Transfusion (%)	42	54	33	5,2
Postoperative Beatmungsdauer (h)	53	78	36	6
Reintubationsrate (%)	16	15	17	3,5
Erneute EKZ (%)	3	8	0	1,1
Rethorakotomie (%)	16	15	17	7,3
davon wegen Sternuminstabilität (%)	0	0	0	0,5
WHST postoperativ (%)	6	0	11	2,3
WHST bei Follow-up (%)	3	0	6	4,2
Wundrevision postoperativ (%)	0	0	0	1,5
Wundrevision bei Follow-up (%)	0	0	0	2,2
Myokardinfarkt postoperativ (%)	0	0	0	1,5
VHF präoperativ (%)	23	38	11	18,5
VHF postoperativ (%)	0	0	0	14,5
Schrittmacher neu (%)	0	0	0	3,2
Passagerer Schrittmacher (%)	68	69	67	75,7
AKI, konservativ therapiert (%)	16	15	17	6,4
AKI, Nierenersatzverfahren (%)	39	38	39	4,5
Apoplex postoperativ (%)	16	15	17	3

Tabelle 15: Ergebnisse der Gruppe „LVAD“. Markiert sind auffällige Abweichungen von der Gesamtpopulation. Grün = vorteilhaft, rot = nachteilhaft, blau = neutral

LVAD isoliert

Besonders schlecht war der Outcome bei den 13 Patienten, die keinen weiteren Eingriff neben der LVAD-Implantation erhalten haben. Das Alter lag in dieser Gruppe im Mittel bei 62,7 Jahren und damit über dem der Obergruppe „LVAD“ (56,1 Jahre).

Ein Patient verstarb während des Aufenthaltes. Die Liegedauer auf der Intensivstation betrug im Mittel 8 Tage (vs. 1 Tag), auf der Normalstation verbrachten die Patienten 75 Tage (vs. 11 Tage). 78 Stunden (vs. 6 Stunden) wurden die Patienten nachbeatmet. Erythrozytenkonzentrate erhielten 77% (vs. 35,7%) der Patienten.

Die restlichen Parameter sind ähnlich wie in der Obergruppe. Zwei Patienten wurden reintubiert und ein Patient an die extrakorporale Zirkulation angeschlossen. Rethorakotomiert wurden zwei Patienten. Eine akute Nierenschädigung entwickelte sich bei sieben Patienten. Zwei Patienten erlitten einen Schlaganfall.

LVAD + Trikuspidalklappe

Etwas besser hingegen waren die Ergebnisse in dieser Gruppe. Mit 52 Jahren lag das mittlere Alter unter dem der Obergruppe „LVAD“ (56,1 Jahre) und der Grundgesamtheit (68,3 Jahre). Mit 89% war der Anteil männlicher Patienten besonders hoch.

Von den 18 Patienten starb einer im Krankenhaus. Auf der Intensivstation verbrachten die Patienten im Mittel 7 Tage, auf der Normalstation 65 Tage. Die postoperative Beatmungsdauer war mit 36 Stunden zwar noch deutlich länger als bei der Gesamtpopulation (6 Stunden), aber auch deutlich geringer als in der Gruppe „LVAD isoliert“ (78 Stunden). Erythrozytenkonzentrate erhielten 72% (vs. 35,7%) der Patienten.

Drei Patienten wurden reintubiert und ebenfalls drei benötigten eine Rethorakotomie. Eine akute Nierenschädigung zeigte sich bei 56% (vs. 10,9%) der Patienten. Drei Patienten erlitten einen Schlaganfall.

3.12 Auswertung nach Parametern

Auf den Abbildungen 5-10 sind die Ergebnisse der Obergruppen bei den folgenden Parametern abgebildet: Klinikletalität, EK-Transfusion, Rethorakotomie, Myokardinfarkt, akute Nierenschädigung und Apoplex. Die Gruppen "TK/PK" und "Drei Klappen" sind dabei wegen ihrer geringen Patientenzahl nicht berücksichtigt.

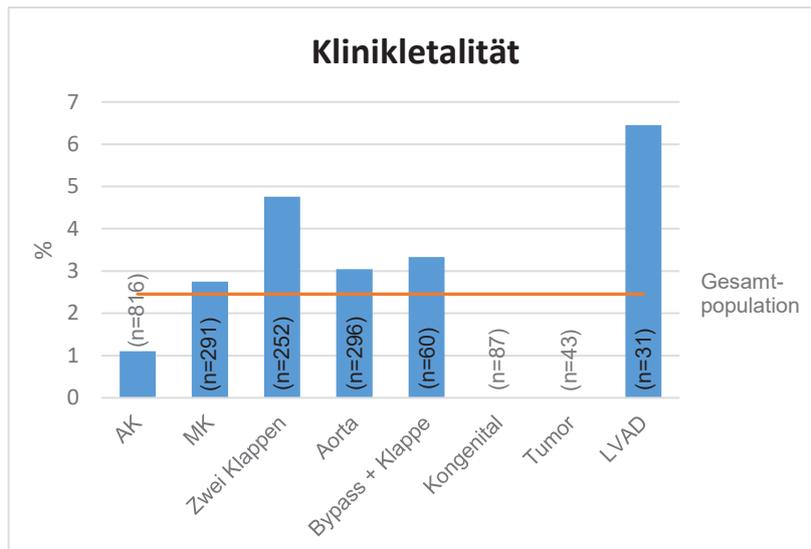


Abbildung 5: Klinikletalität nach Gruppen. Die orangene Linie zeigt den Wert der Gesamtpopulation an.

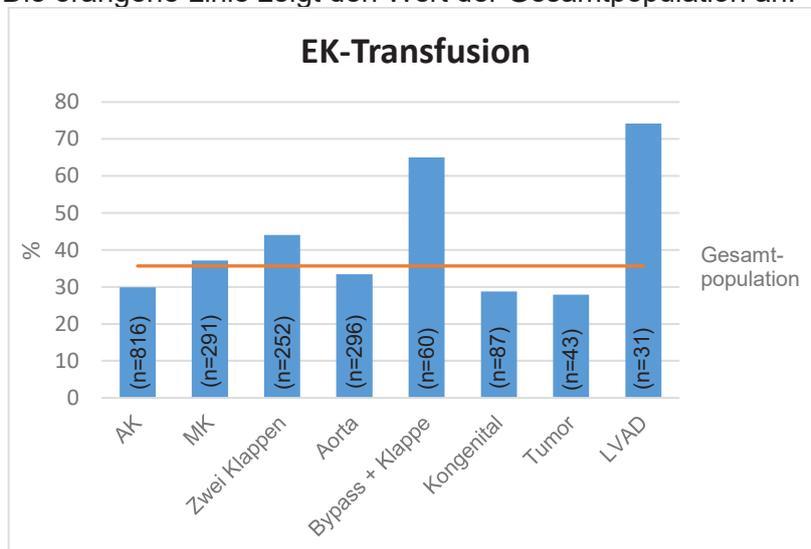


Abbildung 6: Rate an Erythrozytentransfusionen nach Gruppen. Die orangene Linie zeigt den Wert der Gesamtpopulation an.

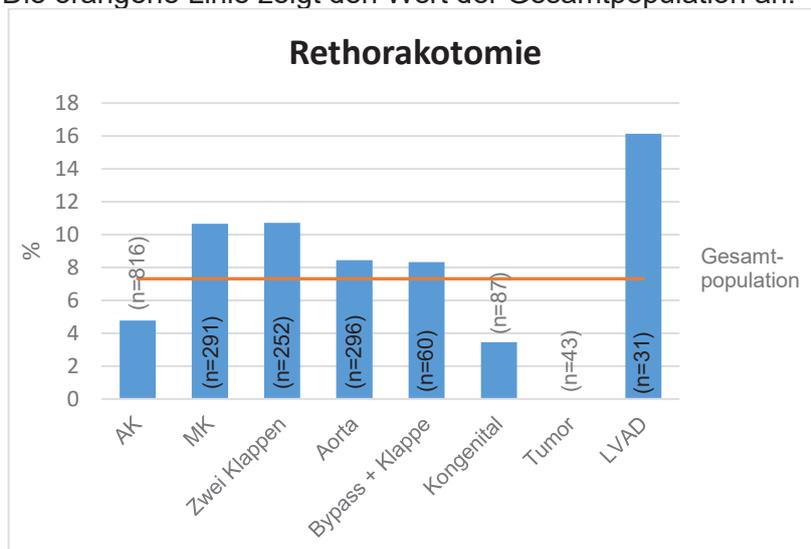


Abbildung 7: Rethorakotomierate nach Gruppen. Die orangene Linie zeigt den Wert der Gesamtpopulation an.

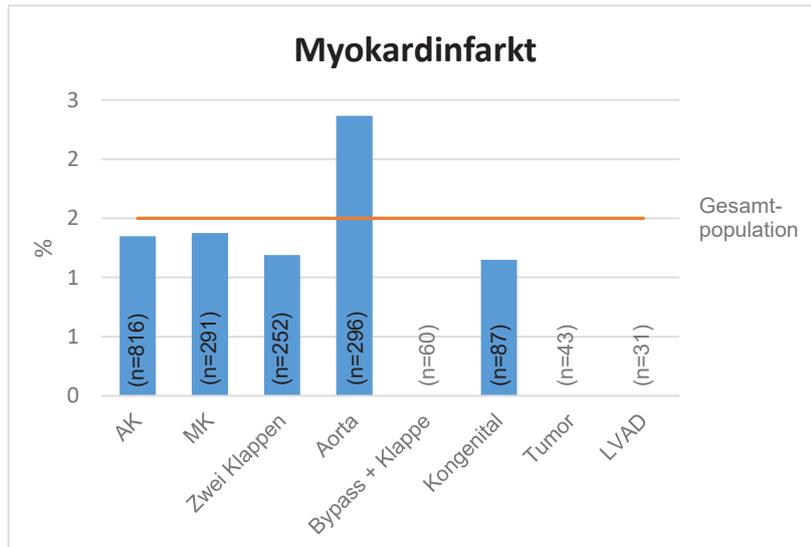


Abbildung 8: Häufigkeit des Myokardinfarktes nach Gruppen. Die orangene Linie zeigt den Wert der Gesamtpopulation an.

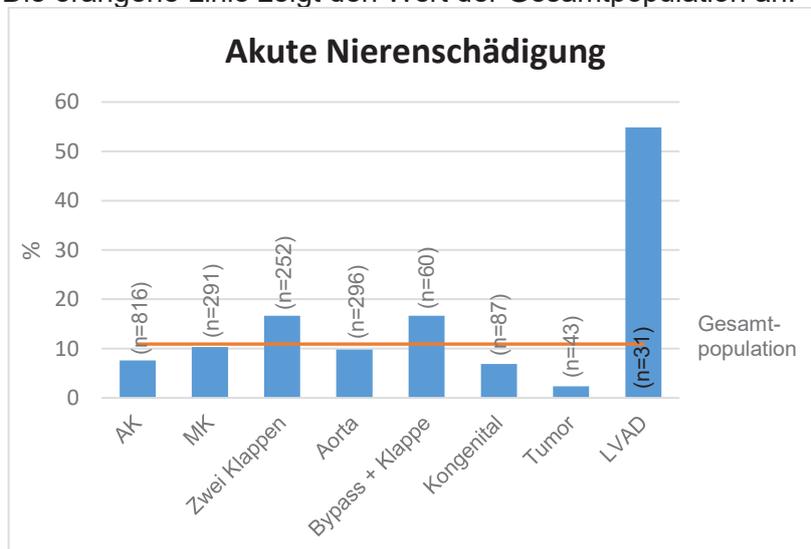


Abbildung 9: Häufigkeit der akuten Nierenschädigung nach Gruppen. Die orangene Linie zeigt den Wert der Gesamtpopulation an.

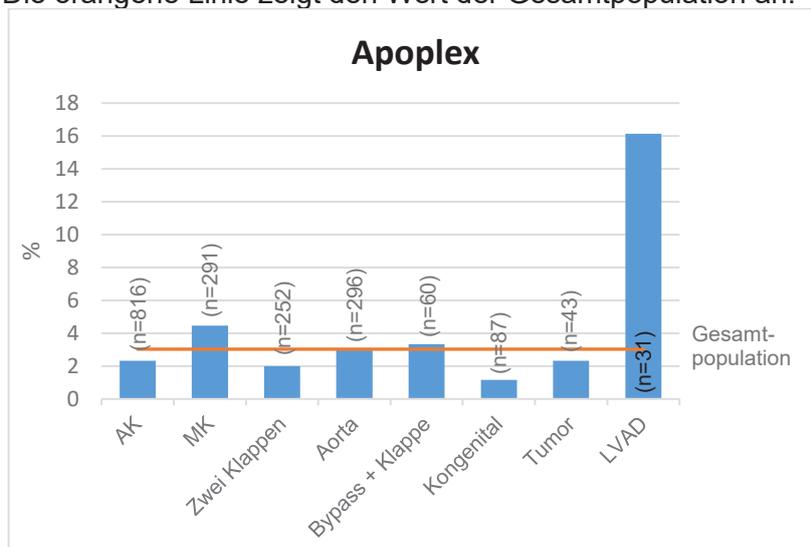


Abbildung 10: Häufigkeit des Apoplex nach Gruppen. Die orangene Linie zeigt den Wert der Gesamtpopulation an.

4 Diskussion

Verschiedene kardiochirurgische Operationen gehen mit sehr unterschiedlichen Letalitäts- und Komplikationsraten einher. Es konnte gezeigt werden, dass sich die Ergebnisse in den verschiedenen Gruppen teilweise signifikant voneinander unterscheiden. Sicherlich sind die Unterschiede primär auf die Art der durchgeführten Eingriffe sowie die damit einhergehenden Vorerkrankungen der Patienten und weniger auf den operativen Zugangsweg zurückzuführen. So ist es nicht erstaunlich, dass die Implantation eines LVAD die schlechtesten Ergebnisse zeigt, da es sich um schwerkranke Menschen mit einer terminalen Herzinsuffizienz und somit einer generell schlechten Prognose handelt.

Von größerer Bedeutung ist jedoch der Vergleich der Ergebnisse mit der medianen Sternotomie, die nach wie vor der am häufigsten genutzte kardiochirurgische Zugangsweg ist und mit der sich die superiore Ministernotomie messen lassen muss. Da in der vorliegenden Studie keine Daten der medianen Sternotomie ausgewertet wurden, müssen zum Vergleich veröffentlichte Studien aus anderen Zentren herangezogen werden. Um die Komplikationsraten am Universitätsklinikum Münster mit anderen Kliniken zu vergleichen, werden im Folgenden die Ergebnisse zusätzlich mit Studien zur superioren Ministernotomie und anderen minimalinvasiven Verfahren verglichen und interpretiert. Zu ausgewählten Parametern wird dabei der bisherige Stand der Forschung kurz zusammengefasst, die Ergebnisse dieser Studie dargelegt und mit Literaturdaten verglichen und anschließend Ursachen für die Unterschiede diskutiert.

4.1 Einfluss auf den postoperativen Outcome

Klinikletalität

Ob der operative Zugang via superiorer Ministernotomie bezüglich der Letalität einen Vor- oder Nachteil im Vergleich zur medianen Sternotomie mit sich bringt, wurde bereits in zahlreichen Studien untersucht und brachte unterschiedliche Ergebnisse hervor.

Operationen mit einer niedrigen Klinikletalität waren in der vorliegenden Studie Eingriffe an der Aortenklappe (1,1%), an kongenitalen Vitien, Bypassoperationen und Tumorexzisionen (jeweils 0%). Auffallend hoch war die Letalität bei Trikuspidalklappenrekonstruktionen (14%), Zwei- (5%) und Drei-Klappen-Eingriffen (19%) und LVAD-Implantationen (6%). Ebenfalls erhöht war die Sterblichkeit bei Eingriffen, bei denen die Mitralklappe ersetzt wurde (MK-E isoliert: 8%, AK-E+MK-E: 7%, MK-E+TK: 10%).

Vergleicht man diese Daten nun mit der Literatur, so zeigen sich ähnliche Ergebnisse. Eine gute Vergleichsgrundlage bietet der *German heart surgery report 2019* von Andreas Beckmann et al. (13). In dieser Studie beschreiben die Autoren den Outcome von 175.705 thorax-, herz- und gefäßchirurgischen Eingriffen in 78 deutschen Zentren im Jahr 2019.

Eingriffe an der Aortenklappe zeigten mit 1,1% am Universitätsklinikum Münster eine niedrige Klinikletalität. Vergleichbare Ergebnisse bei der partiellen Sternotomie fanden Beckmann et al. mit 1,7% (13) und Johnston et al. mit 0,84% (35). In denselben Studien fanden sie eine jeweils mehr als doppelt so hohe Letalität bei Eingriffen via medianer Sternotomie (3,5% bzw. 2%). Bei Johnston et al. ist das Ergebnis signifikant ($p=0,01$), Beckmann et al. haben keinen p-Wert angegeben.

Beim Aortenklappenersatz betrug die Klinikletalität in der vorliegenden Studie ebenfalls 1,1%. Bei Verwendung minimalinvasiver Techniken werden in den Metaanalysen von Chang et al. (28) und Phan et al. (20) Raten von 1,4% und 1,9% angegeben. Bei der medianen Sternotomie liegt die Letalität bei 2,2% bzw. 3,3%. In beiden Metaanalysen ist der Unterschied signifikant ($p<0,001$ bzw. $p=0,02$). D'Agostino et al. (36) unterscheiden nicht nach operativem Zugang, sie beschreiben eine Letalität des Aortenklappenersatzes von 2%.

Die Studienlage zeigt also, dass bei isolierten Operationen an der Aortenklappe die partielle Sternotomie mit einer signifikant niedrigeren Klinikletalität einhergeht. Die Ergebnisse aus dem Universitätsklinikum Münster lassen sich in die Literatur einordnen.

Von den Patienten, die einen Bypass erhalten haben und zusätzlich an der Aortenklappe operiert wurden, ist keiner im Krankenhaus verstorben. Laut Beckmann et al. lag die Klinikletalität – unabhängig vom Zugang – bei diesem Eingriff 2019 in Deutschland bei 4,3% (13), Sakakura et al. nennen eine Letalität von 1,6% (37). Die Letalität in der vorliegenden Studie ist also etwas niedriger, allerdings ist dieses Ergebnis bei einer Gruppengröße von $n=42$ nicht signifikant.

Auch bei kongenitalen Eingriffen lag die Klinikletalität bei der vorliegenden Studie bei 0%. Bei Patienten über 18 Jahren liegt die Letalität bei Beckmann et al. unabhängig vom Operationszugang bei 3,5% (13). Allerdings sind dabei auch Klappenoperationen bei kongenitalen Klappenervitien inbegriffen. Die Klinikletalität bei der Korrektur eines Atriumseptumdefektes beziffern die Autoren mit 2,5%. Yanagisawa et al. untersuchten die minimalinvasive und die konventionelle Korrektur eines Atriumseptumdefektes (38). In beiden Gruppen ist kein Patient im Krankenhaus verstorben. Da die Studienlage unbefriedigend ist und sich die Studien sowohl im Patientenalter als auch in den durchgeführten Eingriffen unterscheiden, ist die Signifikanz der Ergebnisse gering.

Einen sehr guten Outcome zeigten auch die Patienten nach Tumorexzision. Keiner der Patienten ist im Krankenhaus verstorben. Damit entspricht die vorliegende Studie den Ergebnissen von Li et al. (39), Pineda et al. (40) und Yang et al. (41), die sowohl bei minimalinvasiven als auch bei konventionellen Eingriffen keine Klinikletalität feststellten.

Mit 3% etwa im Durchschnitt lag die Klinikletalität bei Eingriffen an der Aorta. Der Outcome dieser Patienten ist schwierig mit der medianen Sternotomie zu vergleichen, da aufwändige Eingriffe wie der Ersatz des Aortenbogens, die einen großen Zugang benötigen und gehäuft Komplikationen zeigen, bei der medianen Sternotomie häufiger vertreten waren als bei der superioren Ministernotomie (13). Vergleichbar ist aber die Letalität bei Patienten nach Ersatz der Aorta ascendens und der Aortenklappe. In der vorliegenden Studie verstarben 3% der Patienten, Beckmann et al. nennen eine Letalität von 4,2% (13). Rayner et al. haben in einer Metaanalyse minimalinvasive Eingriffe mit der medianen Sternotomie verglichen und einen nicht signifikanten Unterschied von 0,67% vs. 1,73% ($p=0,24$) gefunden (23).

Auch isolierte Eingriffe an der Mitralklappe zeigten mit 3% eine durchschnittliche Krankenhaussterblichkeit. Beckmann et al. beziffern die Letalität mit 3,4% (13). Auffällig ist die mit 0,9% (vs. 6,2% bei medianer Sternotomie) niedrige Letalität bei minimalinvasiven Eingriffen. Cheng et al. hingegen fanden in einer Metaanalyse keinen signifikanten Unterschied (1,2% vs. 1,5%, $p=0,85$) (26)). Es ist allerdings zu beachten, dass nicht die partielle Sternotomie, sondern die Minithorakotomie untersucht wurde. Auch bei Modi et al. ist der Unterschied nicht signifikant (42).

Sehr unterschiedlich sind die Ergebnisse bei Mitralklappenrekonstruktion (1%) und Mitralklappenersatz (8%). Die niedrige Letalität der Mitralklappenrekonstruktion ist auch in der Literatur beschrieben (0,8% (13) bzw. 1,1% (42)). Für den Mitralklappenersatz hingegen gibt es sehr unterschiedliche Angaben: Beckmann et al. und D'Agostino et al. haben nicht nach Zugang unterschieden und geben eine Letalität von 8,2% (13) bzw. 5% (36) an. Modi et al. und Hata et al. haben die Minithorakotomie untersucht und nennen eine Letalität von 4,9% (42) bzw. 3% (43). Zhai et al. stellten bei der Minithorakotomie eine höhere Letalität als bei der medianen Sternotomie fest (2,7% vs. 1,8%), der Unterschied war aber nicht signifikant ($p=0,5$) (44)). Die superiore Ministernotomie ist bei Eingriffen an der Mitralklappe wenig untersucht, da in vielen Zentren die Minithorakotomie bevorzugt wird. In der vorliegenden Studie zeigt sie hier einen eher ungünstigen Outcome.

Wurde der Mitralklappenersatz kombiniert mit einem Aortenklappenersatz, so lag die Letalität bei 7%. Auch hierbei fanden sich sehr unterschiedliche Angaben: Beckmann et al. berichten von einer Letalität von 15,9% (13), Cohan et al. nennen 10,1% (45) und Coutinho et al. lediglich 4,2% (46). Keine dieser Studien hat nach dem operativen Zugang unterschieden.

Bei einer Gruppengröße von n=27 in der vorliegenden Studie und sehr heterogenen Literaturangaben ist eine Bewertung der Operationsmethode nicht sicher möglich. Der Mitralklappenersatz mit zusätzlichem Eingriff an der Trikuspidalklappe hingegen ist mit der Literatur vergleichbar (10% vs. 12,3% (13) bzw. 10,3% (47)).

Kombinierte Eingriffe an zwei Klappen zeigten mit einer Letalität von 5% einen besseren Outcome als bei Beckmann et al. mit 9,9% (13). Mohammed et al. vergleichen in einer Metaanalyse die superiore Ministernotomie mit der medianen Sternotomie und weisen auf eine große Heterogenität zwischen den Studien hin (48). Sie beurteilten den Unterschied als statistisch nicht signifikant.

Bei Eingriffen an drei Klappen lag die Letalität mit 19% leicht über den Literaturwerten (16,4% (13), 16,1% (49), 13,9% (50); alle ohne Unterscheidung der Operationsmethode). Da in der vorliegenden Studie jedoch nur 16 Patienten betrachtet wurden, ist der Unterschied zu gering, um daraus eine Aussage ableiten zu können.

Einen klaren Vorteil bezüglich der Klinikletalität bietet die minimalinvasive Chirurgie bei LVAD-Implantationen. Ähnlich wie bei der vorliegenden Studie (6%) liegt sie in einer Analyse der Literatur bei Wachter et al. bei minimalinvasiven Eingriffen bei 4,4%, während die Autoren für die mediane Sternotomie eine Letalität von 11,3% angeben (51). Mit einem p-Wert von 0,004 ist der Unterschied statistisch signifikant. Für die LVAD-Implantation mit kombinierter Trikuspidalklappenchirurgie geben Veen et al. ohne Berücksichtigung des Zugangsweges eine Letalität von 15,2% an (52), während sie in der vorliegenden Studie bei 6% lag.

Schließlich zeigten die Trikuspidalklappenrekonstruktionen mit einer Letalität von 20% verglichen mit der Literatur einen ausgesprochen schlechten Outcome (minimalinvasiv 5,6% (13), gemischt 10,1% (13) bzw. 5,9% (53)). Da jedoch nur zehn Patienten in diese Gruppe eingeschlossen wurden, ist das Ergebnis nicht aussagekräftig.

Es hat sich gezeigt, dass die Klinikletalität in den meisten Gruppen in dieser Studie mit den Literaturangaben vergleichbar sind. Für Operationen an der Aortenklappe sowie für LVAD-Implantationen ist eine geringere frühe Sterblichkeit bei minimalinvasivem Vorgehen belegt. In den Gruppen „Bypass + Klappe“, „Aorta“ und „Zwei Klappen“ zeigte sich eine geringere Letalität, die jedoch nicht signifikant war. Eine erhöhte Letalität lag beim Mitralklappenersatz, bei der Trikuspidalklappenrekonstruktion sowie bei Drei-Klappen-Eingriffen vor. Auch diese Abweichungen waren nicht signifikant.

Die unterschiedlichen Sterblichkeitsraten sind auf viele Faktoren zurückzuführen. Abgesehen davon, dass große Eingriffe am Herzen und den herznahen Gefäßen immer operationsspezifische Risiken mit sich bringen, unterscheidet sich auch die Demografie der Patienten in den einzelnen Gruppen etwa in Alter und Geschlechterverteilung.

Der präoperative Gesundheitszustand wurde in der vorliegenden Studie nicht untersucht, es ist aber davon auszugehen, dass er sich je nach Operationsindikation unterscheidet und somit zu den Abweichungen beiträgt. Da die Letalität natürlich auch mit dem Auftreten postoperativer Komplikationen einhergeht, sollen diese in den folgenden Kapiteln genauer beleuchtet werden.

Postoperative Beatmungsdauer

Eine frühe postoperative Extubation ist ein wichtiger Parameter für den frühen und späten Outcome chirurgischer Patienten. Eine verlängerte Beatmungsdauer geht einher mit einem längeren Aufenthalt auf der Intensivstation, einer erhöhten Inzidenz etwa von Pneumonie, Sepsis und Multiorganversagen sowie mit einer höheren Letalität (54).

Nachgewiesen wurde eine signifikant kürzere Beatmungsdauer bei minimalinvasiven Verfahren für den Aortenklappenersatz (Unterschied: -4 Stunden (20); -2,13 Stunden (19); 1,7 Stunden (35)), Operationen an der Mitralklappe (-7,3 Stunden (26)), Tumorexzisionen (-1,3 Stunden (41)) und die Korrektur eines Atriumseptumdefektes (-3,6 Stunden (55)).

Beim Vergleich mit Literaturwerten ist zu beachten, dass in manchen Studien der Median, in anderen jedoch der arithmetische Mittelwert verwendet wurde. Ein Vergleich zwischen Median und arithmetischem Mittelwert ist hier häufig nicht sinnvoll, da einzelne Patienten, die aufgrund von Komplikationen eine deutlich verlängerte Beatmungsdauer aufweisen, den Mittelwert enorm verzerren, während der Median unbeeinflusst bleibt.

Die frühere Extubation lässt sich auch in der vorliegenden Patientenpopulation zeigen. Zwar unterschied sich die Beatmungsdauer beim Aortenklappenersatz mit 6 Stunden nicht von Literaturangaben bei medianer Sternotomie (5,2 Stunden (36); 6,9 Stunden (35)). Bei LVAD-Implantationen war die Beatmungsdauer sogar verlängert (78 Stunden vs. 2 Tage (56)). Dieses Ergebnis beobachteten auch Mohite et al., bei ihnen lag die Beatmungsdauer nach Minithorakotomie bei 4 Tagen (vs. 2 Tage (56)). Das Ergebnis war jedoch nicht signifikant ($p=0,146$).

In den meisten anderen Gruppen war die Beatmungsdauer hingegen kürzer als in vergleichbaren Studien. Besonders groß war die Differenz bei Eingriffen an der Mitralklappe. Während in der vorliegenden Studie die Patienten im Mittel 6 Stunden lang nachbeatmet wurden, geben Cheng et al. eine mittlere Beatmungsdauer von 12,6 (minimalinvasiv) bzw. 19,9 (mediane Sternotomie) Stunden an (26). Bei Oezpeker et al. beträgt die Beatmungsdauer bei der superioren Ministernotomie 9 Stunden (57).

Einen ähnlichen Unterschied zeigt der Mitralklappenersatz. Dort geben Zhai et al. bei minimal-invasivem Vorgehen eine Beatmungsdauer von 12,6 und bei medianer Sternotomie von 17,4 Stunden an ($p=0,253$ (44)). In der vorliegenden Studie lag die Beatmungsdauer bei lediglich 6 Stunden, ähnlich wie bei D'Agostino et al. (7,4 Stunden (36)).

Am kürzesten nachbeatmet wurden mit nur 3 Stunden Patienten nach Trikuspidalklappenrekonstruktion. Allerdings betrug hier die Gruppengröße lediglich 10 Personen, was die Aussagekraft erheblich einschränkt. Raikhelkar et al. geben eine Beatmungsdauer von 9 Stunden bei 27 Patienten an (58).

Bei kongenitalen Operationen lag die Beatmungsdauer bei 5 Stunden und damit unter den Mittelwerten von Besir et al. für die Minithorakotomie (7 Stunden) und die mediane Sternotomie (10,6 Stunden (55)). Ähnlich sieht es bei Tumorexzisionen aus, dort berichten Yang et al. von 7,1 (roboterassistiert) bzw. 8,4 Stunden (41), in der vorliegenden Studie wurden die Patienten nach 6 Stunden extubiert.

Mit 7 Stunden gab es bei kombinierten Bypass- und Aortenklappenoperationen keinen Unterschied zur medianen Sternotomie bei D'Agostino et al. (6,6 Stunden (36)), wohl aber zu den Ergebnissen von Thalji et al. (13 Stunden (59)).

Eine vergleichsweise lange Beatmungszeit zeigte sich in der vorliegenden Studie bei Dreiklappen-Eingriffen (10 Stunden), bei Moront et al. lag sie jedoch noch höher (12,25 Stunden bei minimalinvasiven Eingriffen (60)).

Somit war die Beatmungsdauer in den meisten Gruppen kürzer als bei medianer Sternotomie, wie es auch Studien und Metaanalysen zeigen. Die Beatmungsdauer scheint einer der wesentlichen Faktoren zu sein, welche die Vorteile minimalinvasiver Operationsmethoden bezüglich des Outcomes begründen. Als Ursachen für die kürzere Beatmungsdauer wurden verschiedene Thesen formuliert.

Reser et al. führen die Differenz auf die erhaltene Brustwandstabilität zurück, von der die Atemmechanik maßgeblich abhängt (32). Da bei der superioren Ministernotomie nur der obere Teil des Sternums durchtrennt wird und die untere Hälfte – anders als bei der medianen Sternotomie – intakt bleibt, bleibt die knöcherne Verbindung beider Thoraxhälften erhalten. Die damit erhaltene Stabilität führe zu einer weniger eingeschränkten Lungenfunktion, die sich unter anderem in einer kürzeren Beatmungsdauer ausdrückt.

Die bessere Lungenfunktion kann jedoch auch mit geringeren postoperativen Schmerzen erklärt werden. Die Haut- und Weichteilinzision, die Sternotomie sowie die Biegebeanspruchung der Rippen und der Costovertebralgelenke durch das Auseinanderspreizen der Thoraxhälften gehen mit starken Schmerzen einher. Die Lokalisation der Schmerzen wird von den

meisten Patienten im Bereich der Sternotomie angegeben, gefolgt von der Wirbelsäule (61). Da der knöchernen Thorax maßgeblich an der Atmung beteiligt ist, sind die Schmerzen atemabhängig. Bewusst oder unbewusst veranlasst dies die Patienten zu einer flachen Schonatmung. Auch der Hustenreiz wird unterdrückt, da die Hustenstöße besonders schmerzhaft sind. Eine tiefe Atmung und effektives Abhusten von Sekreten sowie ein frühes Atemtraining sind jedoch gerade im postoperativen Verlauf sehr wichtig, um dem Auftreten von Atelektasen und Pneumonien vorzubeugen (2).

In mehreren Studien konnte nachgewiesen werden, dass die Lungenfunktion im unmittelbar postoperativen Verlauf negativ mit dem Ausmaß der Schmerzen korreliert. In den ersten Tagen nach der Operation sind die forcierte Vitalkapazität (FVC), die Einsekundenkapazität (FEV_1), der expiratorische Spitzenfluss und das maximale inspiratorische Volumen vorübergehend eingeschränkt. Die postoperative Verschlechterung der Werte ist dabei umso ausgeprägter, je stärker die Schmerzen sind (61,62).

Dies konnten auch Tenenbein et al. nachweisen, indem sie den Einfluss eines Periduralkatheters zur Analgesie bei Bypassoperationen auf die Lungenfunktion untersucht haben (63). Die Patienten mit Periduralkatheter hatten signifikant weniger Schmerzen und im frühen postoperativen Verlauf nicht nur deutlich bessere FEV_1 -Werte in der Lungenfunktionsmessung, sondern auch signifikant weniger Atelektasen.

Dass Patienten nach einer superioren Ministernotomie an signifikant weniger Schmerzen leiden als Patienten nach einer medianen Sternotomie, konnten Brown et al. und Phan et al. in ihren Metaanalysen zeigen (19,20). Casula führt den Unterschied insbesondere auf die geringere Retraktion der Sternumanteile zurück (Retraktion um 68 vs. 114 mm (64)), aber auch das kleinere chirurgische Trauma mit kürzerem Hautschnitt und geringerer Länge der Sternotomie spielt sicherlich eine Rolle. Guizilini et al. wiesen nach, dass Patienten nach superiorer Ministernotomie nicht nur signifikant weniger Schmerzen erlitten, sondern postoperativ auch einen signifikant geringeren Abfall ihrer FEV_1 - und FVC-Werte haben (22).

Die weniger eingeschränkte Lungenfunktion wirkt sich wiederum auf eine kürzere Beatmungsdauer und eine schnellere Entlassung aus, wie Baumgarten et al. zeigen konnten (61).

Bluttransfusionen

Neben der Beatmungsdauer ist auch die geringere Rate an Erythrozytentransfusionen einer der nachgewiesenen Vorteile der superioren Ministernotomie. Sowohl der Anteil der Patienten, die Blutprodukte benötigen als auch die Anzahl der transfundierten Einheiten pro Patient sind geringer. Aber nicht nur Erythrozyten, auch Thrombozyten und gefrorenes Frischplasma werden beim minimalinvasiven Zugang seltener benötigt.

In vergleichenden Analysen zum Aortenklappenersatz zeigten Phan et al. (20) und Borrero et al. (21) einen signifikant niedrigeren Anteil von Patienten, denen ein Erythrozytenkonzentrat verabreicht wurde. Der Anteil lag bei minimalinvasiven Verfahren bei 36% bzw. 35% und somit etwas höher als am Universitätsklinikum Münster (30%). Bei medianer Sternotomie hingegen bekamen 52,4% bzw. 50,5% der Patienten mindestens ein Erythrozytenkonzentrat. Nair et al. konnten allerdings keinen Unterschied feststellen (50% vs. 51% (65)).

Bei Eingriffen an der Mitralklappe konnten Cheng et al. zwar keinen signifikanten Unterschied bei der Transfusionsrate feststellen (39% vs. 42% (26)). Die Anzahl der transfundierten Einheiten pro Patient unterschied sich jedoch um mehr als das Doppelte (1,5 vs. 3,5 EKs pro Patient). Mit 37% war der Anteil an Patienten mit Erythrozytentransfusion in der vorliegenden Studie vergleichbar mit Patienten nach medianer Sternotomie. Auch beim Mitralklappenersatz ist der Unterschied signifikant (33,9% vs. 67% (44)). Am Universitätsklinikum Münster lag der Anteil jedoch bei 62%.

Ein nicht signifikanter Vorteil bei minimalinvasiver Chirurgie wurde für Operationen kongenitaler Vitien (120 vs. 394 ml EK-Transfusion pro Patient (55)), Tumorexzisionen (0,5 vs. 2 EKs pro Patient (40)), die Aortenchirurgie (23) und LVAD-Implantationen (56) festgestellt. Die Unterschiede waren zwar zum Teil beträchtlich, doch die Gruppen waren zu klein, um ein signifikantes Ergebnis zu erzeugen.

Während die Transfusionsrate bei Drei-Klappen-Eingriffen identisch mit den Ergebnissen von Moront et al. bei ebenfalls minimalinvasiven Eingriffen war (50% vs. 50% (60)), zeigte sich ein erhöhter Anteil an Erythrozytentransfusionen bei kongenitalen Eingriffen (29% vs. 10,5% (38)) und Trikuspidalklappenrekonstruktionen (70% vs. 33,2% (53)).

Nur wenige Studien führten die Gabe von Thrombozytenkonzentraten und gefrorenem Frischplasma auf. Für die Mitralklappe fanden Cheng et al. eine signifikant niedrigere Rate sowohl an Thrombozytentransfusionen (16% vs. 19%), als auch an FFP-Transfusionen (20% vs. 25% (26)). Die Ergebnisse der vorliegenden Studie liegen bei beiden Parametern noch niedriger (TK: 11%, FFP: 4%).

Für Drei-Klappen-Eingriffe lassen sich die Daten mit den Ergebnissen der minimalinvasiven Operationen von Moront et al. vergleichen. Die Patienten erhielten zu 50% Thrombozytenkonzentrate und zu 44,4% gefrorenes Frischplasma. In der vorliegenden Studie lagen die Raten niedriger (TK: 31%, FFP: 31%).

Für Operationen an der Aorten- und der Mitralklappe konnte also bewiesen werden, dass weniger Patienten eine Erythrozytentransfusion benötigen und die transfundierte Menge pro Patient geringer ist.

In anderen Gruppen weisen die Ergebnisse darauf hin, dass minimalinvasive Verfahren einen ähnlichen Effekt zeigen könnten. Transfusionen von Thrombozytenkonzentraten und gefrorenem Frischplasma sind wenig untersucht, zeigen aber vereinzelt auch niedrigere Raten bei minimalinvasiven Eingriffen.

Die Frage, warum der Transfusionsbedarf bei der Vermeidung einer medianen Sternotomie geringer ist, kann wohl mit einem kleineren intraoperativen Blutverlust beantwortet werden (19,23,24). Falk et al. führen dies am ehesten auf den kürzeren Hautschnitt, die geringere Gewebepreparation und damit die kleinere Wundfläche zurück (24). Ein kleinerer Blutverlust bedeutet in der Konsequenz, dass den Patienten weniger Blut in Form von Erythrozytenkonzentraten ersetzt werden muss.

Eine geringe Transfusionsrate ist insofern von Relevanz, als dass sich Bluttransfusionen erwiesenermaßen negativ auf den Outcome von kardiochirurgischen Patienten auswirken. Zu den Komplikationen zählen die transfusionsassoziierte akute Lungeninsuffizienz, die Volumenüberladung, die Übertragung infektiöser Erreger, die Immunmodulation, die hämolytische Transfusionsreaktion sowie renale und neurologische Komplikationen (66). Es kommt vermehrt zu Infektionen und ischiämischen Ereignissen (27). Außerdem erhöht die Gabe von Erythrozytenkonzentraten die durchschnittliche Beatmungsdauer sowie die Kurz- und Langzeitletalität (67). Velasquez et al. geben jedoch zu bedenken, dass es eine Vielzahl von Störfaktoren gibt (67). Dadurch ist es schwierig zu ermitteln, ob bei einer Korrelation auch ein kausaler Zusammenhang zwischen der Bluttransfusion selbst und der Komplikation besteht. So könnte eine Komplikation, die nach der Gabe eines Blutproduktes auftritt, beispielsweise auch direkt durch einen hohen Blutverlust verursacht worden sein, welcher die Bluttransfusion notwendig gemacht hat.

Aufgrund der Studienergebnisse werden in den vergangenen Jahren die Indikationen zur Erythrozytentransfusion zunehmend eng gestellt und ein restriktives Transfusionsmanagement gewählt. Dazu tragen auch Bemühungen wie die Einführung von Patient Blood Management-Programmen bei. Neben dem rationalen Einsatz von Blutprodukten wird vor allem darauf gesetzt, durch prä- und intraoperative Maßnahmen wie die Detektion und Behandlung einer präoperativen Anämie und einem minimierten operativen Blutverlust die Notwendigkeit einer Bluttransfusion zu verringern. Zu letzterem kann die superiore Ministernotomie beitragen.

Akute Nierenschädigung

Der Einfluss minimalinvasiver Operationstechniken auf die Inzidenz der akuten Nierenschädigung wird kontrovers diskutiert. Die Vergleichbarkeit verschiedener Studien untereinander ist eingeschränkt, da in nur wenigen Untersuchungen die zugrundeliegende Definition der akuten Nierenschädigung genannt wird.

Die Arbeitsgruppe um Phan stellte fest, dass bei minimalinvasiven Verfahren die Inzidenz der postoperativen akuten Nierenschädigung mit 2,5% vs. 4,2% ($p=0,04$) signifikant niedriger ist (20). Ein ähnliches Ergebnis fanden Rayner et al. bei Eingriffen an der Aorta (1,56% vs. 3,52%, $p=0,017$) (23). Die Mehrheit der Studien fand jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen den verschiedenen Zugangswegen (26,40,44,56).

Nach einem Aortenklappenersatz erlitten in der vorliegenden Studie 7,7% der Patienten eine akute Nierenschädigung. Damit liegt der Anteil deutlich höher als in der Vergleichsliteratur (4,2% (20) bzw. 1,8% (36) bei medianer Sternotomie; 2,5% (20) bzw. 4,7% (68) bei minimalinvasiven Verfahren).

Beim Mitralklappenersatz wurden sogar 16% der Patienten vorübergehend niereninsuffizient. In Vergleichsstudien war dies lediglich bei 4,9% (36) bzw. 6,3% (beides minimalinvasiv) vs. 5,5% (mediane Sternotomie (44)) der Fall.

In der Aortenchirurgie beträgt die Inzidenz in Studien 1,56% (minimalinvasiv) vs. 3,52% (mediane Sternotomie (23)), bei Lentini et al. war kein Patient betroffen (69). Damit liegen die Raten deutlich niedriger als am Universitätsklinikum Münster (9%).

Ein ähnliches Bild zeigt sich in fast allen untersuchten Gruppen (TK-R: 30% vs. 24,7% bei minimalinvasiven Eingriffen (53) bzw. 22,2% bei medianer Sternotomie (58); AK-E+MK-E: 37% vs. 13,5% (46) bzw. 14,7% (45); MK-E+TK: 32% vs. 11,4% (47); Drei Klappen: 31% vs. 19% (70) bzw. 27% (50); Bypass+Klappe: 12% vs. 3,8% (36); Kongenital: 7% vs. 0% (55); LVAD: 53% vs. 34,5% (56)). Lediglich bei Tumorexzisionen (2% vs. 0% vs. 5,8% (40)) waren die Ergebnisse vergleichbar. Bei der LVAD-Implantation ist auffällig, dass die akute Nierenschädigung in der Studie von Mohite et al. bei Minithorakotomie häufiger auftrat als bei medianer Sternotomie (52% vs. 34,5%), allerdings ist die Abweichung nicht signifikant (56).

Zwar zeigt die vorliegende Studie eine auffällig hohe Inzidenz der postoperativen akuten Nierenschädigung. Man muss jedoch hinterfragen, inwiefern die Daten vergleichbar mit der Literatur sind. Laut Wang et al. gibt es über 35 verschiedene Definitionen der Kardiochirurgie-assoziierten akuten Nierenschädigung (71). In den wenigsten Studien wird erläutert, unter welchen Voraussetzungen Patienten in der Studie als nierengeschädigt eingestuft wurden. In einer Studie wurden die Patienten sogar nur dann als akut niereninsuffizient eingeordnet, wenn

sie eine Hämodialyse benötigten (37). Möglicherweise wurden in der vorliegenden Studie andere Kriterien verwendet als in der herangezogenen Literatur, sodass mehr Patienten als niereninsuffizient eingestuft wurden.

Außerdem wurde keine Analyse der Vorerkrankungen der Patienten durchgeführt. Patienten wurden in der vorliegenden Studie auch dann mit einer akuten Nierenschädigung diagnostiziert, wenn sich eine schon vorbestehende chronische Niereninsuffizienz akut verschlechtert hat. In den meisten herangezogenen Studien wurde nicht angegeben, ob solche Patienten auch berücksichtigt wurden oder nicht. Möglicherweise war in der vorliegenden Studie ein größerer Anteil der Patienten renal vorerkrankt, was das Risiko einer akuten Nierenschädigung erhöht.

Besser vergleichbar ist der Anteil der Patienten mit Nierenersatzverfahren, da dieser Parameter klar definiert ist. Hier waren die Abweichungen weniger ausgeprägt. Beim Aortenklappenersatz war der Anteil der Patienten mit Nierenersatzverfahren leicht erhöht (2,1% vs. 1,2% (72)). Erhöht war die Rate außerdem bei der Trikuspidalklappenrekonstruktion (20% vs. 14,8% (58)), beim kombinierten Aortenklappen- und Mitralklappenersatz (22% vs. 10,7% (45)), Eingriffen an der Aorta (3% vs. 0% (69)) und kombinierten Bypass- und Klappenoperationen (5% vs. 1,6% (37)). Kein Unterschied bestand bei Operationen an der Mitralklappe (4% vs. 4,9% bei superiorer Ministernotomie (57)); bei Drei-Klappen-Eingriffen (25% vs. 22,4% (49)) und bei LVAD-Implantationen (38% vs. 52% bei Minithorakotomie bzw. 34,5% bei medianer Sternotomie (56)).

Die Häufigkeit von postoperativem Nierenversagen war also in der vorliegenden Studie deutlich erhöht, wobei die Vergleichbarkeit der Studien stark eingeschränkt ist. Verlässlicher ist der Anteil der Patienten mit Nierenersatzverfahren, wo die Unterschiede geringer waren. In der Literatur sind Vergleichsstudien zwischen minimalinvasiven Verfahren und der medianen Sternotomie gespalten, die Mehrzahl der Studien gibt keinen signifikanten Effekt an.

Eine erhöhte Inzidenz von schwerer akuter Nierenschädigung ist korreliert mit einer drei- bis achtfach erhöhten perioperativen Letalität und einem längeren Intensiv- und Krankenhausaufenthalt (71). Die Pathophysiologie der kardiochirurgisch bedingten akuten Nierenschädigung ist komplex und multifaktoriell. An der Pathogenese beteiligt sind laut Wang et al. renale Hypoperfusion, Reperfusionsschäden, neurohumorale Aktivierung, Entzündungsmediatoren, oxidativer Stress, Nephrotoxine und mechanische Faktoren. Der Outcome der Patienten ist schlecht, zu den Komplikationen zählen ein erhöhtes Blutungsrisiko, urämische Enzephalopathie, Herzrhythmusstörungen durch Elektrolytverschiebungen, Störungen des Säure-Base-Haushaltes, Hypervolämie sowie ein erhöhtes Risiko für chronische Niereninsuffizienz und kardiovaskuläre Ereignisse (71).

Apoplex

Die Metaanalyse von Cheng et al. aus dem Jahr 2011 zeigt ein signifikant häufigeres Auftreten von Schlaganfällen nach minimalinvasiven Eingriffen an der Mitralklappe (2,1% vs. 1,2%, $p < 0,0001$ (26)). In nachfolgenden Studien wurde daher ein großes Augenmerk auf die Häufigkeit von Schlaganfällen gelegt, und fast keine Studie konnte das Ergebnis reproduzieren (19,20,23,28,42,56).

In der vorliegenden Studie hing die Schlaganfallinzidenz stark von der Art des Eingriffes ab. Sie reichte von 0% (TK-R, Bypass+Klappe) bis 17% (LVAD+TK). In der Literatur waren die Schwankungen weniger ausgeprägt.

Somit zeigten Eingriffe mit niedriger Inzidenz einen Vorteil gegenüber der medianen Sternotomie (TK-R: 0% vs. 3,1% (53) bzw. 3,7% (58); Bypass+Klappe: 0% vs. 3,3% (37) bzw. 1,2% (59)).

Bei Operationen mit mittlerer Inzidenz waren die Ergebnisse vergleichbar mit der Literatur (AK-E: 2,4% vs. minimalinvasiv 1,6% (28) bzw. 2,2% (20) vs. konventionell 1,7% (28) bzw. 2,2% (20); Aorta+AK: 3% vs. minimalinvasiv 1,49% (23) vs. konventionell 1,52% (23) bzw. 2,9% (69); Kongenital: 1% vs. 0% (38,55); Tumor: 2% vs. 0% (40)).

Eingriffe mit hoher Inzidenz waren Operationen an der Mitralklappe (4% vs. minimalinvasiv 2,1% (26) bzw. 1% (57) vs. konventionell 1,2% (26) bzw. 4,6% (72)), der Mitralklappenersatz (6% vs. 0% (43)), Aorten- und Mitralklappenersatz (7% vs. 0% (46) bzw. 3,4% (45) bzw. 5,6% (72)), Drei-Klappen-Eingriffe (13% vs. 4,1% (49) bzw. 2,8% (50) bzw. 5,6% (72)) und LVAD-Implantationen (15% vs. minimalinvasiv 16% (56) bzw. konventionell 8,8% (56)).

Falk et al. haben versucht zu erklären, womit die erhöhte Inzidenz zusammenhängen könnte, die bei Cheng et al. aufgetreten ist (24). Sie bringen die erhöhte Schlaganfallrate mit der endoluminalen Aortenklammtechnik in Verbindung, die in einigen der zugrundeliegenden Studien verwendet wurde. In Studien, in denen die Aorta transthorakal abgeklemmt wurde, war die Inzidenz nicht erhöht. Des Weiteren führen sie mögliche Luftembolien durch inkomplettes Entlüften des Herzens als Ursache an, welches durch den minimalinvasiven Zugang erschwert sei. Auch den retrograden Blutfluss bei femoraler Kanülierung und infolgedessen das Ablösen von Aortenplaques mit Verschwemmung in die Hirnarterien und folgenden Embolien ziehen sie in Betracht. Schließlich könnte die verlängerte Zeit an Herz-Lungen-Maschine und Aortenklamme das Schlaganfallrisiko erhöhen.

Insgesamt gibt es aber wenig Hinweise, dass die Inzidenz des postoperativen Schlaganfalls von der Art des chirurgischen Zugangs abhängt. Die meisten Studien fanden keinen Unterschied zwischen den minimalinvasiven Techniken und der medianen Sternotomie.

In der vorliegenden Studie hing das Schlaganfallrisiko zwar stark von der Art des Eingriffs ab, es zeigte sich jedoch kein klarer Vor- oder Nachteil gegenüber der medianen Sternotomie.

Eine erhöhte Inzidenz von Schlaganfällen bei superiorer Ministernotomie ist nach aktuellem Wissensstand daher nicht anzunehmen.

Myokardinfarkt

Das Auftreten eines postoperativen Myokardinfarktes scheint nicht mit der Operationsmethode zusammenzuhängen. Phan et al. und Cheng et al. stellten in Metaanalysen keinen signifikanten Unterschied fest (20,28).

In der vorliegenden Studie lag die Inzidenz bei 0% bis 2%, mit Ausnahme von Drei-Klappen-Eingriffen (6%) und Trikuspidalklappenrekonstruktionen (10%). In beide Gruppen waren nur wenige Patienten eingeschlossen (Drei Klappen: n=16; TK-R: n=10) und jeweils nur ein Patient war betroffen.

Die Angaben in der Literatur sind vergleichbar (AK-E: 1,2% vs. minimalinvasiv 0,4% (20) bzw. 1,4% (68) vs. konventionell 0,7% (20); MK: 1% vs. minimalinvasiv 0,5% (26) vs. konventionell 2% (26); Drei Klappen: 6% vs. 2% (70) bzw. 1,2% (49) bzw. 3,5% (50); Aorta+AK: 2% vs. 0% (69); Bypass+AK: 0% vs. 0% (37) bzw. 0,4% (59)).

Von einem Zusammenhang zwischen dem operativen Zugang und der Häufigkeit des postoperativen Myokardinfarktes kann man also nicht ausgehen. Besonders von Interesse ist, dass auch nach Bypassoperationen die Inzidenz von Myokardinfarkten nicht erhöht war, die minimalinvasive Revaskularisation zeigt also mindestens im postoperativen Intervall diesbezüglich vergleichbare Ergebnisse.

Vorhofflimmern

Es gibt Hinweise darauf, dass nach minimalinvasiven Operationen am Herzen die Prävalenz von Vorhofflimmern niedriger ist als nach medianer Sternotomie.

Festgestellt wurde ein signifikanter Unterschied beim Aortenklappenersatz (28), bei Operationen an der Mitralklappe (26) und bei Tumorexzisionen (41). Phan et al. (20) und Modi et al. (42) hingegen fanden keinen signifikanten Unterschied.

In der vorliegenden Studie waren die Ergebnisse in fast allen Gruppen günstig. Es fällt auf, dass die Rate an postoperativem Vorhofflimmern bei Operationen mit Beteiligung der Mitralklappe höher war als im Durchschnitt (MK: 21%, AK-E+MK-E: 30%, MK-E+TK: 42%, Gesamtpopulation: 14,5%). Die Prävalenz war hier jedoch auch schon präoperativ erhöht, da die Mitralklappeninsuffizienz einen Risikofaktor für das Vorhofflimmern darstellt.

Im Vergleich zur medianen Sternotomie ist die Rate an Vorhofflimmern in fast allen Gruppen geringer (AK-E: 9,7% vs. minimalinvasiv 23,5% (20) vs. konventionell 24,7% (20) bzw. 29,5% (36); MK-E: 15% vs. minimalinvasiv 21,1% (43) vs. konventionell 33% (36); Drei Klappen: 19% vs. minimalinvasiv 22,2% (60) vs. konventionell 41% (70); Aorta+AK: 10% vs. 17,6% (69); Bypass+AK: 14% vs. 39% (36,59)).

Kein Unterschied lag vor bei Eingriffen an der Mitralklappe (21% vs. minimalinvasiv 18% (26) vs. 22% (26)), beim kombinierten Aorten- und Mitralklappenersatz (30% vs. 35% (45) bzw. 15,4% (46)) und bei Tumorexzisionen (12% vs. minimalinvasiv 4,1% (41) vs. konventionell 18,2% (41) bzw. 7,5% (39)).

Es ist jedoch zu beachten, dass im Universitätsklinikum Münster Patienten, die präoperativ an Vorhofflimmern litten, intraoperativ kardiovertiert wurden. Aus diesem Grund weisen einige Gruppen postoperativ auch eine niedrigere Prävalenz auf als vor der Operation. Ob diese Therapie auch in den Studien durchgeführt wurde, wird nicht berichtet. Manche Studien geben auch nur die Rate an neu aufgetretenem Vorhofflimmern, also die Inzidenz, an (36,45,46). Da die Prävalenz hier größer oder gleich der Inzidenz sein muss, bleibt der Unterschied zur vorliegenden Studie dennoch bestehen.

Auch wenn sich die Ergebnisse dieser Studie möglicherweise nur bedingt mit der Literatur vergleichen lassen, so zeigen auch mehrere Metaanalysen ein signifikant selteneres Auftreten von postoperativem Vorhofflimmern bei minimalinvasivem Zugang.

Cheng et al. stellen die These auf, dass beim minimalinvasiven Zugang durch das geringere Trauma weniger Entzündungsmediatoren freigesetzt werden, die Vorhofflimmern begünstigen können (26). Falk et al. fügen hinzu, dass auch der Verzicht auf eine atriale Kanülierung (ersetzt durch eine femorale Kanülierung) oder die kleinere Inzision des Herzens und des Perikards eine Rolle spielen könnten (24).

Vorhofflimmern im Rahmen von herzchirurgischen Operationen erhöht das Risiko für einen Schlaganfall, Blutungen, Infektionen, renale, respiratorische oder neurologische Komplikationen sowie die Kurz- und Langzeitletalität (73).

Wundheilungsstörungen

Die Beschreibung von Wundheilungsstörungen ist sehr uneinheitlich, da in verschiedenen Studien unterschiedliche Komplikationen erfasst werden. In den meisten Studien werden nur tiefe Infektionen des Sternums aufgezählt, in anderen auch oberflächliche Infektionen, Mediastinitiden oder Sternumdehiszenz. In der vorliegenden Studie wurden tiefe und oberflächliche Infektionen des Sternums gewertet.

Auch wenn zunächst postuliert wurde, dass bei der superioren Ministernotomie aufgrund der kleineren Wundfläche weniger Wundheilungsstörungen zu erwarten seien (6), so konnten nur Mikus et al. einen signifikanten Effekt nachweisen (74). Bei zahlreichen anderen Autoren gab es keinen oder keinen signifikanten Unterschied (19–21,29,48). Bei der Minithorakotomie hingegen ist die Sternuminfektion eine signifikant seltenere Komplikation (26), da auf eine Sternotomie verzichtet wird.

In der vorliegenden Studie lag die Inzidenz beim Aortenklappenersatz bei 2,2% und damit unwesentlich höher als in der Literatur (0,9% (20) bzw. 1,75% (21) bzw. 0,8% (74) bei superiorer Ministernotomie vs. 1,5% (20) bzw. 1,02% (21) bzw. 2,4% (74) bei medianer Sternotomie). Beim Mitralklappenersatz geben D'Agostino et al. eine Rate von nur 0,2% (36) an, die Komplikation trat in der vorliegenden Studie mit 3% deutlich häufiger auf. Nach einer Trikuspidalklappenrekonstruktion infizierte sich hingegen bei keinem der Patienten das Sternum, anders als in der Literatur (7,4% (58) bzw. 5,6% (75)). Mit 5% war der Anteil bei Patienten nach kombinierter Bypass- und Aortenklappenoperation vergleichbar mit den Ergebnissen von Sakakura et al. (3,3% (37)), aber deutlich höher als bei D'Agostino et al. (0,4% (36)).

In der vorliegenden Studie wurden jedoch auch Patienten mit oberflächlicher Sternuminfektion mit eingerechnet, was in den meisten Studien nicht der Fall war. Von den 44 Patienten in der vorliegenden Studie, denen eine Wundheilungsstörung diagnostiziert wurde, litten nur 17 an einer tiefen Sternuminfektion.

In der Zusammenschau der Ergebnisse sowohl der Literatur als auch der vorliegenden Studie kann man also nicht von einer niedrigeren oder höheren Inzidenz von Wundheilungsstörungen nach superiorer Ministernotomie ausgehen.

OP-Dauer

Eine Vielzahl an Studien vor allem aus der Anfangszeit der minimalinvasiven Herzchirurgie machen auf eine verlängerte Zeit an der Herz-Lungen-Maschine sowie mit Aortenklemme gegenüber der medianen Sternotomie aufmerksam.

Der Unterschied beträgt bei der Herz-Lungen-Maschine 8 Minuten (20), 11,5 (19), 21 (40) oder sogar 33 (26) Minuten sowie 8 (20), 7,9 (19), 12 (40) oder 21 (26) Minuten bei der Aortenklammer. Einige Autoren hingegen fanden keinen signifikanten Unterschied (28,39,55,56). Rayner et al. fanden bei aortenchirurgischen Eingriffen sogar konträre Ergebnisse: Die Aortenklammerzeit war signifikant verkürzt, während die Zeit an der Herz-Lungen-Maschine zwar auch verkürzt war, aber nicht signifikant (23).

In der vorliegenden Studie fanden sich in den verschiedenen Gruppen unterschiedliche Ergebnisse: Bei der Trikuspidalklappenrekonstruktion waren die Zeiten um 16 (HLM) bzw. 8 (Aortenklamme) Minuten kürzer als bei Ejiófor et al. (75). Im Vergleich zu Lentini et al. war die Zeit an der Herz-Lungen-Maschine bei kombinierten Eingriffen an der Aorta und der Aortenklappe zwar 5,3 Minuten länger, die Aortenklammzeit war dafür um 11,8 Minuten kürzer (69).

Bei den meisten Gruppen waren die Zeiten jedoch vergleichbar oder länger als in der Literatur. Der größte Unterschied war mit 23 (HLM) bzw. 31 (Aortenklamme) Minuten bei Drei-Klappen-Eingriffen zu finden (49).

Die Studienlage ist also uneindeutig, ob die superiore Ministernotomie wirklich zeitliche Nachteile mit sich bringt. Die vorliegende Studie zeigt tendenziell verlängerte Zeiten gegenüber der medianen Sternotomie, allerdings sind die Ergebnisse nicht in allen Gruppen einheitlich.

Interessant ist, dass die Operationsdauer sowie die Zeit an der Herz-Lungen-Maschine und mit Aortenklamme gemäß Kim et al. besonders in den Anfangsjahren der superioren Ministernotomie verlängert waren (31). In derselben Studie aus dem Jahre 2006 zeigen die Autoren auf, dass die Zeiten im Vergleich zu 2001 deutlich abgenommen hätten (HLM-Zeit von 124 auf 109 Minuten, Aortenklammen-Zeit von 91 auf 79 Minuten (31)). Diese Verbesserung über die Jahre wird mit dem hohen technischen Anspruch an die Chirurgen erklärt, die erst nach Jahren fast vergleichbar schnelle Zeiten wie bei der medianen Sternotomie erreichen. In der Literatur wird von einer Lernkurve gesprochen, die Chirurgen erst bewältigen müssen, um dem hohen Anspruch gerecht zu werden. Auf diesen Punkt wird später im Text noch eingegangen werden.

Dass eine verlängerte Zeit an der Herz-Lungen-Maschine nicht nur finanzielle Nachteile hat, sondern sich auch auf den Outcome der Patienten auswirkt, konnten Madhavan et al. darlegen (76). Ihnen zufolge führen unter anderem Scherkräfte und die Oberflächen der Herz-Lungen-Maschine zu einer gesteigerten Freisetzung von Entzündungsmediatoren und darüber bei einer prolongierten Verwendung zu einer erhöhten Letalität, Komplikationsrate, Beatmungs-, Intensiv- und Krankenhausliegedauer.

Liegedauer auf Intensiv- und Normalstation

Die postoperative Liegedauer betrug im Mittel 1 Tag auf der Intensiv- und 11 Tage auf der Normalstation. Da für die Auswertung der Median verwendet wurde, wurden kleine Abweichungen nicht registriert. So betrug die Liegedauer in allen Gruppen außer „LVAD“ entweder 1 oder 2 Tage. Auch war der Vergleich mit Literaturwerten erschwert, da in manchen Studien der Median, in anderen jedoch der arithmetische Mittelwert verwendet wurde.

Für den Vergleich mit der Studienlage kommt erschwerend hinzu, dass in vielen Studien nicht die Zeit auf Normalstation angegeben wurde, sondern die Dauer des postoperativen oder gesamten Krankenhausaufenthaltes.

Die Liegedauer auf der Normalstation betrug im Mittel zwischen 9 (Gruppe „Kongenital“) und 14 (Gruppe „Drei Klappen“) Tagen, mit Ausnahme der LVAD-Implantationen, nach denen die Patienten im Mittel 75 Tage auf der Normalstation verbrachten.

Beim Aortenklappenersatz konnten bereits mehrere Metaanalysen einen signifikanten Unterschied zwischen minimalinvasiven Verfahren und der medianen Sternotomie belegen. So betrug die Differenz zugunsten der minimalinvasiven Eingriffe 0,46 (19) bzw. 0,6 (20) Tage auf der Intensivstation und 0,8 (28), 0,91 (19) oder 1,34 (20) Tage für den Klinikaufenthalt, die Ergebnisse waren jeweils signifikant. Keinen Unterschied hingegen konnten Nair et al. feststellen (65). In der hier vorliegenden Studie war die Aufenthaltsdauer auf der Normalstation mit 10 vs. 6 (36) Tagen jedoch verlängert.

Auch bei Eingriffen an der Mitralklappe wurde bei minimalinvasiven Operationen ein signifikant kürzerer Intensiv- und Krankenhausaufenthalt festgestellt. Der Unterschied lag bei 0,8 (26) Tagen auf der Intensivstation und 0,73 (42) bzw. 2 (26) Tagen für den Krankenhausaufenthalt. In der vorliegenden Studie lag die Aufenthaltsdauer auf der Normalstation hingegen ebenfalls über dem Durchschnitt (11 Tage vs. 6,9 Tage bei Minithorakotomie vs. 8,9 Tage bei medianer Sternotomie (26)), der Aufenthalt auf der Intensivstation war wie in der Vergleichsliteratur verkürzt (1 vs. 2,4 Tage (26)).

Dass die Minithorakotomie bzw. endoskopische Verfahren beim Verschluss eines Atriumseptumdefektes einen signifikanten Vorteil mit sich bringen, konnten Besir et al. bzw. Yanagisawa et al. zeigen. In der Studie von Besir et al. ist die Liegezeit auf der Intensivstation 0,9 Tage und bezüglich der Normalstation 2,6 Tage kürzer (55). Bei Yanagisawa et al. zeigt sich zwar kein Unterschied auf der Intensivstation, dafür betrug die Dauer des Krankenhausaufenthaltes bei einem endoskopischen Vorgehen 6 statt 15 Tagen (38). Die Liegezeit von 9 Tagen auf der Normalstation in der vorliegenden Studie reiht sich in die Ergebnisse ein.

Pineda et al. und Yang et al. verglichen die minimalinvasive bzw. roboterassistierte Tumorexzision mit der medianen Sternotomie. Auch bei ihnen zeigten sich signifikante Ergebnisse: Die Liegedauer auf der Intensivstation betrug 27 (minimalinvasiv) vs. 60 Stunden bei Pineda et al. (40) und 2,7 (roboterassistiert) vs. 4,1 Tage bei Yang et al. (41). Mit 1 Tag sind die Ergebnisse der vorliegenden Studie besser als bei der medianen Sternotomie. Die Gesamtdauer des Krankenhausaufenthaltes war auch in beiden Studien signifikant verkürzt (5 vs. 7 Tage (40) bzw. 6,2 vs. 8,7 Tage (41)). Länger hingegen war mit 10 Tagen die Liegedauer auf der Normalstation in der vorliegenden Studie.

Auch für andere Eingriffe wurde ein Vorteil minimalinvasiver Methoden bereits nachgewiesen, so etwa für die Aortenchirurgie (23) und den Mitralklappenersatz (44). Ein kürzerer Intensiv- und Krankenhausaufenthalt bei minimalinvasiven Techniken, der jedoch nicht signifikant war, zeigte sich für Zwei-Klappen-Eingriffe (48) sowie für die LVAD-Implantation (56).

Die hier dargestellte Studie zeigte auch in den anderen Gruppen eine vergleichbare oder kürzere Liegedauer auf der Intensivstation (TK-R: 1 vs. 2 Tage (58,75); Aorta: 1 vs. 2,1 Tage (77); Bypass+AK: 1 Tag vs. 27h (59); LVAD 8 Tage vs. 8 Tage (56)). Die mittlere Liegedauer auf der Normalstation war jedoch länger als die durchschnittliche Dauer des Klinikaufenthaltes in den Studien bei minimalinvasiven Eingriffen oder medianer Sternotomie (TK-R: 11 vs. 8 (58) bzw. 9 (75) Tage; Bypass+AK: 11 vs. 7 Tage (36,59); Drei Klappen: 14 vs. 9 Tage (60); LVAD: 75 vs. 42 Tage (56)).

Die verkürzte postoperative Liegedauer auf der Intensivstation konnte nicht nur in vorhergehenden Studien bewiesen, sondern auch mit der vorliegenden Studie bestätigt werden. Sie ist als Folge der geringeren Komplikationsrate zu werten. Auch kann ein Patient, der früher extubiert wird, früher die Intensivstation verlassen.

Ein kürzerer Intensivaufenthalt wiederum senkt die Letalität und verbessert den Outcome der Patienten. Aufgrund einer geringeren postoperativen Komplikationsrate können die Patienten auch früher das Krankenhaus verlassen, was ebenfalls in mehreren Studien gezeigt wurde. Überraschend war, dass in der vorliegenden Studie in den meisten Gruppen die Liegedauer auf der Normalstation verlängert war, wenn auch die Vergleichbarkeit der Daten aus den oben genannten Gründen deutlich eingeschränkt ist. Die Ursache dafür ist unklar.

4.2 Minimalinvasiver Mitralklappenersatz

Die Ergebnisse nach Mitralklappenersatz sind in der vorliegenden Studie überraschend schlecht ausgefallen. Mit einer Letalität von 8%, einer Rethorakotomierate von 17% und einer EK-Transfusionsrate von 62% ist der Eingriff im Vergleich mit der Gesamtpopulation der Studie komplikationsbehaftet. Ähnliche Komplikationsraten zeigen sich auch beim Mitralklappenersatz in Kombination mit weiteren Eingriffen an der Aorten- oder Trikuspidalklappe.

Es ist bekannt, dass der Mitralklappenersatz häufiger mit Komplikationen einhergeht als die Mitralklappenrekonstruktion (78). Die Literaturdaten sind sehr heterogen und geben beispielsweise eine Letalität von 1,8% (44) bis 8,2% (13) an. Interessant ist jedoch der Vergleich der Operationsmethoden, da die in der vorliegenden Studie verwendete superiore Ministernotomie bei der Mitralklappenchirurgie eine Ausnahme darstellt.

Als minimalinvasives Verfahren hat sich weltweit die rechts-anteriore Minithorakotomie durchgesetzt. Aus diesem Grund ist die Studienlage zur superioren Ministernotomie leider ungenügend. Fast alle Untersuchungen zu minimalinvasiven Verfahren bei der Mitralklappenchirurgie betrachten die Minithorakotomie. Hier zeigen sich Vorteile gegenüber der medianen Sternotomie bezüglich der Beatmungsdauer, Anzahl transfundierter Erythrozytenkonzentrate, Vorhofflimmern sowie Intensiv- und Krankenhausliegedauer.

Im vorigen Kapitel zeigte sich, dass die Ergebnisse der vorliegenden Studie im Vergleich zur medianen Sternotomie und der Minithorakotomie ambivalent sind. Die Letalität und die Rate an EK-Transfusionen und akuter Nierenschädigung waren erhöht, die Beatmungsdauer sowie die Transfusion von Thrombozyten- und Plasmakonzentraten hingegen geringer als in der Literatur angegeben. Die Vergleichbarkeit der Daten ist aber aus den oben genannten Gründen stark eingeschränkt.

Warum die Minithorakotomie so weit verbreitet ist, lässt sich vielleicht damit erklären, dass schon die ersten Versuche der minimalinvasiven Mitralklappenchirurgie per Minithorakotomie durchgeführt wurden (79). Es zeigten sich schon früh gute Ergebnisse, weshalb sich die Technik etablierte. Der Zugang von rechts-lateral lässt in der Regel eine gute Exposition der senkrecht zur Sichtachse liegenden Mitralklappe zu (80). Da die Rippen lediglich auseinandergespreizt werden und eine Osteotomie ausbleibt, bleibt die Brustwandstabilität vollständig erhalten (80). Außerdem zeigt sich bei der Minithorakotomie ein kosmetisch besseres Ergebnis, da der Hautschnitt seitlich und nicht in der Mitte der Brust erfolgt (80).

Eine besondere Technik stellt das videoassistierte Vorgehen dar, das zuerst von Carpentier et al. 1996 beschrieben wurde (81). Als Weiterentwicklung ist bei der Minithorakotomie auch der Einsatz telemanipulatorischer Systeme wie dem Da-Vinci-Operationssystem möglich, welche in manchen Zentren schon standardmäßig Anwendung finden (82).

Die Innovationen und Weiterentwicklungen in diesem Feld lassen vermuten, dass roboterassistierte Operationen auch in der Herzchirurgie zukünftig eine zunehmend größere Rolle spielen könnten.

Ein Nachteil der Minithorakotomie ist jedoch, dass keine zentrale Kanülierung für den Anschluss der Herz-Lungen-Maschine möglich ist. Stattdessen wird üblicherweise eine Leistenarterie kanüliert, was nicht nur ein Komplikationsrisiko für Wundinfektionen und Hämatome mit sich bringt, sondern auch die Operationsdauer verlängert (83). Außerdem ermöglicht der Zugang zwar Operationen an der Mitral- und Trikuspidalklappe, kombinierte Eingriffe etwa an der Aortenklappe oder der Aorta sind jedoch schwierig bis unmöglich.

Sollte eine Konversion zur medianen Sternotomie nötig werden, so erfordert dies einen zweiten Hautschnitt und bedeutet so ein größeres Trauma (80). Bezüglich der postoperativen Schmerzen gibt es unterschiedliche Angaben: Loulmet et al. gaben geringere Schmerzen bei Patienten nach Ministernotomie an, während bei Casselman et al. 93,5% der Patienten nach Minithorakotomie fast schmerzfrei waren (80). Auch bestehen bei einigen Patienten Kontraindikationen zur Minithorakotomie bzw. zur femoralen Kanülierung, wie beispielsweise schwere Atherosklerose, dilatierte Aorta ascendens oder pulmonale Hypertonie (57).

Ein weiterer wichtiger Vorteil der superioren Ministernotomie ist, dass dieses Verfahren auch für viele andere Eingriffe genutzt wird und somit vielen Herzchirurgen vertraut ist. Minimalinvasive herzchirurgische Operationen sind technisch höchst anspruchsvoll und ein Chirurg braucht Jahre, um sie sicher zu beherrschen. Eine groß angelegte Studie mit 3895 Patienten wurde von Holzhey et al. durchgeführt (84). Die Autoren konnten nachweisen, dass die Komplikationsrate nach 250 Operationen von 25% auf 10% fiel, ebenso wie die Reoperation wegen einer Blutung nach 300 Operationen von 8,2% auf 1,9%. Ein Plateau wurde von den Chirurgen im Durchschnitt nach etwa 75 bis 125 Operationen erreicht. Neben der Gesamtzahl an Eingriffen scheint die Regelmäßigkeit der Operation eine große Rolle zu spielen; bei Chirurgen mit mindestens zwei minimalinvasiven Operationen pro Woche lag die Komplikationsrate bei ca. 15% (vs. 25% bei einer Operation pro Woche).

Nicht nur für die Chirurgen, auch für die Klinik wird eine solche Lernkurve nach der Einführung der minimalinvasiven Mitralklappenchirurgie beschrieben. Dabei lässt sich vermuten, dass nicht nur die Erfahrung des Operateurs eine Rolle spielt, sondern sich auch das gesamte Operationsteam einschließlich Anästhesie, Kardiotechnik und Pflege auf die neue Technik einstellen muss (42). Leider fehlen Daten, die die Lernkurven bei verschiedenen Zugangswegen miteinander vergleichen. Es liegt jedoch nahe, dass ein Chirurg, der die superiore Ministernotomie beim Aortenklappenersatz bereits beherrscht, den Mitralklappenersatz wesentlich schneller per superiorer Ministernotomie erlernen kann als per Minithorakotomie. Für die Operateure und das gesamte Team ist es sicherlich von Vorteil, wenn statt verschiedenen, in hohem Maße anspruchsvollen minimalinvasiven Methoden nur eine Technik neben der medianen Sternotomie für alle Eingriffe angewendet wird. Aus diesem Grund wird am Universitätsklinikum Münster schon seit Jahren auch die Mitralklappe per superiorer Ministernotomie operiert.

Aufgrund der schlechten Studienlage liegt derzeit keine Evidenz für einen Vor- oder Nachteil der superioren Ministernotomie gegenüber der Minithorakotomie bei Eingriffen an der Mitralklappe vor. Weitere Studien sind notwendig, um die Risiken der beiden Verfahren sicher abschätzen zu können.

Nach aktuellem Stand ist davon auszugehen, dass die beiden Zugangswege gleichwertig angewendet werden können. Um die anfangs höheren Komplikationsraten beim Anlernen eines neuen Operateurs zu vermeiden, ist es durchaus sinnvoll, auch die Mitralklappe per superiorer Ministernotomie zu operieren, auch wenn dies bisher an nur wenigen Zentren praktiziert wird.

4.3 Limitationen dieser Studie

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine retrospektive Arbeit, was die Aussagekraft aufgrund von möglichen Störfaktoren und Verzerrung einschränkt. Auch handelt es sich um Daten aus einem einzelnen Zentrum.

Die Vergleichbarkeit der Studie mit Literaturangaben ist aus oben schon genannten Gründen stark eingeschränkt. Zum Teil mussten verschiedene Parameter miteinander verglichen werden, so zum Beispiel die Klinikletalität mit der 30-Tage-Letalität. In vielen Studien wichen die Diagnosekriterien etwa der akuten Nierenschädigung stark voneinander ab. Stetige Variablen wurden in manchen Studien als Median, in anderen als arithmetisches Mittel präsentiert.

In der vorliegenden Studie wurde auf eine Analyse der demographischen Daten wie etwa der Vorerkrankungen der Patienten verzichtet. Somit kann nicht ausgeschlossen werden, dass abweichende Ergebnisse durch eine unterschiedliche Verteilung von Risikofaktoren beeinflusst wurden. Auch wurde die Art der durchgeführten Eingriffe nur teilweise berücksichtigt, es ist jedoch wahrscheinlich, dass komplexe Eingriffe eher per medianer Sternotomie als per Ministernotomie durchgeführt wurden und somit ungleich auf die Gruppen verteilt sind. Zudem waren manche Gruppen mit zum Teil nur 10 Patienten sehr klein, wodurch die Signifikanz der Ergebnisse abnimmt.

4.4 Fazit

Die superiore Ministernotomie ist an vielen Zentren Standard für Eingriffe an der Aortenklappe und der Aorta ascendens. In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass sie auch für Operationen an anderen Herzklappen, an kongenitalen Vitien, für kombinierte Bypass- und Klappenoperationen, Tumorexzisionen und LVAD-Implantationen eine geeignete Alternative zur medianen Sternotomie darstellt. Die postoperativen Ergebnisse unterscheiden sich in den verschiedenen Gruppen zwar zum Teil signifikant voneinander, dies resultiert jedoch eher aus dem operativen Ziel der Eingriffe als aus der gewählten Zugangstechnik.

Im Vergleich zur medianen Sternotomie geht die superiore Ministernotomie mit einer kürzeren Beatmungsdauer, einer geringeren Transfusionsrate und einer kürzeren Intensiv- und Krankenhausliegedauer einher. Ob die Letalität, die Inzidenz von Wundheilungsstörungen, Vorhofflimmern oder einer akuten Nierenschädigung von der Art des Zugangs abhängt, konnte nicht abschließend geklärt werden. Aufgrund dieser Ergebnisse sollte die superiore Ministernotomie der medianen Sternotomie daher vorgezogen werden, wenn keine Kontraindikationen vorliegen.

Obwohl bei Eingriffen an der Mitralklappe weltweit die Minithorakotomie etabliert ist, stellt die superiore Ministernotomie auch hier eine sinnvolle Alternative dar. Die Konzentration auf einen einzigen minimalinvasiven Zugangsweg in der Herzchirurgie könnte gerade bei weniger erfahrenen Chirurgen Vorteile mit sich bringen. Ob die Minithorakotomie und die superiore Ministernotomie wirklich als gleichwertig zu betrachten sind, muss jedoch noch durch weitere Studien untersucht werden.

5 Literaturverzeichnis

1. Ansorge K, Wollert H-G, Eckel L. Chirurgie der Aortenklappe durch verschiedene „minimal access“ Techniken - eigene Erfahrungen und Überblick über die Literatur. *Z Herz- Thorax- Gefäßschir* 1999;13:175–84.
2. Casula RP. Minimal access aortic valve surgery. In: Inderbitzi RG, Schmid RA, Melfi FM, Casula RP, editors. *Minimally invasive thoracic and cardiac surgery: Textbook and atlas*. Berlin: Springer; 2012. p. 451–64.
3. Souttar HS. The surgical treatment of mitral stenosis. *Br Med J* 1925;2:603–6.
4. Kumar AS, Prasad S, Rai S, Saxena DK. Right thoracotomy revisited. *Tex Heart Inst J* 1993;20:40–2.
5. Rao PN, Kumar AS. Aortic valve replacement through right thoracotomy. *Tex Heart Inst J* 1993;20:307–8.
6. Cosgrove DM, Sabik JF. Minimally invasive approach for aortic valve operations. *Ann Thorac Surg* 1996;62:596–7.
7. Gundry SR, Shattuck O, Razzouk AJ, Del Rio MJ, Sardari FF, Bailey LL. Facile minimally invasive cardiac surgery via ministernotomy. *Ann Thorac Surg* 1998;65:1100–4.
8. Svensson LG. Minimal-access “J” or “j” sternotomy for valvular, aortic, and coronary operations or reoperations. *Ann Thorac Surg* 1997;64:1501–3.
9. Autschbach R, Walther T, Falk V, Diegeler A, Metz S, Mohr F-W. S-shaped in comparison to L-shaped partial sternotomy for less invasive aortic valve replacement. *Eur J Cardiothorac Surg* 1998;14:117–21.
10. Bridgewater B, Steyn RS, Ray S, Hooper T. Minimally invasive aortic valve replacement through a transverse sternotomy: a word of caution. *Heart* 1998;79:605–7.
11. Moreno-Cabral RJ. Mini-t sternotomy for cardiac operations. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1997;113:810–1.
12. Tam RK, Almeida AA. Minimally invasive aortic valve replacement via partial sternotomy. *Ann Thorac Surg* 1998;65:275–6.
13. Beckmann A, Meyer R, Lewandowski J, Markewitz A, Gummert J. German heart surgery report 2019: the annual updated registry of the German society for thoracic and cardiovascular surgery. *Thorac Cardiovasc Surg* 2020;68:263–76.
14. Cribier A, Eltchaninoff H, Bash A, Borenstein N, Tron C, Bauer F, et al. Percutaneous transcatheter implantation of an aortic valve prosthesis for calcific aortic stenosis: first human case description. *Circulation* 2002;106:3006–8.

15. Cuartas MM, Javadikasgari H, Pfanmueller B, Seeburger J, Gillinov AM, Suri RM, et al. Mitral valve repair: robotic and other minimally invasive approaches. *Prog Cardiovasc Dis* 2017;60:394–404.
16. Folliguet TA. Minimal access mitral valve surgery. In: Inderbitzi RG, Schmid RA, Melfi FM, Casula RP, editors. *Minimally invasive thoracic and cardiac surgery: Textbook and atlas*. Berlin: Springer; 2012. p. 403–7.
17. Kolessov VI. Mammary artery-coronary artery anastomosis as method of treatment for angina pectoris. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1967;54:535–44.
18. Hillebrand J, Alshakaki M, Martens S, Scherer M. Minimally invasive aortic root replacement with valved conduits through partial upper sternotomy. *Thorac Cardiovasc Surg* 2018;66:295–300.
19. Brown ML, McKellar SH, Sundt TM, Schaff HV. Ministernotomy versus conventional sternotomy for aortic valve replacement: a systematic review and meta-analysis. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2009;137:670–9.e5.
20. Phan K, Xie A, Di Eusano M, Yan TD. A meta-analysis of minimally invasive versus conventional sternotomy for aortic valve replacement. *Ann Thorac Surg* 2014;98:1499–511.
21. Borrero Á, Samboni TJ, Prado N, Carrillo-Gómez DC, Giraldo-Gonzalez GC, Florez-Elvira L, et al. J-shaped upper mini-sternotomy versus full sternotomy for aortic valve replacement: a comparative study. *Heart Surg Forum* 2020;23:E411-5.
22. Guizilini S, Bolzan DW, Faresin SM, Alves FA, Gomes WJ. Ministernotomy in myocardial revascularization preserves postoperative pulmonary function. *Arq Bras Cardiol* 2010;95:587–93.
23. Rayner TA, Harrison S, Rival P, Mahoney DE, Caputo M, Angelini GD, et al. Minimally invasive versus conventional surgery of the ascending aorta and root: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Cardiothorac Surg* 2020;57:8–17.
24. Falk V, Cheng DCH, Martin J, Diegeler A, Folliguet TA, Nifong LW, et al. Minimally invasive versus open mitral valve surgery: a consensus statement of the international society of minimally invasive coronary surgery (ISMICS) 2010. *Innovations (Phila)* 2011;6:66–76.
25. Shneider YA, Tsoi MD, Fomenko MS, Pavlov AA, Shilenko PA. Aortic valve replacement via J-shaped partial upper sternotomy: randomized trial, mid-term results. *Khirurgiia (Mosk)* 2020:25–30.
26. Cheng DCH, Martin J, Lal A, Diegeler A, Folliguet TA, Nifong LW, et al. Minimally invasive versus conventional open mitral valve surgery: a meta-analysis and systematic review. *Innovations (Phila)* 2011;6:84–103.

27. Murphy GJ, Reeves BC, Rogers CA, Rizvi SIA, Culliford L, Angelini GD. Increased mortality, postoperative morbidity, and cost after red blood cell transfusion in patients having cardiac surgery. *Circulation* 2007;116:2544–52.
28. Chang C, Raza S, Altarabsheh SE, Delozier S, Sharma UM, Zia A, et al. Minimally invasive approaches to surgical aortic valve replacement: a meta-analysis. *Ann Thorac Surg* 2018;106:1881–9.
29. Oezpeker C, Barbieri F, Zujs V, Grimm M, Lio A, Glauber M, et al. Minimally invasive redo-aortic valve replacement: reduced operative times as compared to full sternotomy. *Thorac Cardiovasc Surg* 2020;68:141–7.
30. Bonacchi M, Prifti E, Giunti G, Frati G, Sani G. Does ministernotomy improve postoperative outcome in aortic valve operation? A prospective randomized study. *Ann Thorac Surg* 2002;73:460–5.
31. Kim BS, Soltesz EG, Cohn LH. Minimally invasive approaches to aortic valve surgery: Brigham experience. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 2006;18:148–53.
32. Reser D, Holubec T, Scherman J, Yilmaz M, Guidotti A, Maisano F. Upper ministernotomy. *Multimed Man Cardiothorac Surg* 2015. doi: 10.1093/mmcts/mmv036.
33. Sepic J, Cohn LH. Minimally invasive aortic valve surgery. In: Goldstein DJ, Oz MC, editors. *Minimally invasive cardiac surgery*. Totowa, NJ: Humana Press; 2004. p. 293–307.
34. Salenger R, Gammie JS, Collins JA. Minimally invasive aortic valve replacement. *J Card Surg* 2016;31:38–50.
35. Johnston DR, Atik FA, Rajeswaran J, Blackstone EH, Nowicki ER, Sabik JF, et al. Outcomes of less invasive J-incision approach to aortic valve surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2012;144:852-8.e3.
36. D'Agostino RS, Jacobs JP, Badhwar V, Fernandez FG, Paone G, Wormuth DW, et al. The society of thoracic surgeons adult cardiac surgery database: 2019 update on outcomes and quality. *Ann Thorac Surg* 2019;107:24–32.
37. Sakakura R, Asai T, Suzuki T, Kinoshita T, Enomoto M, Kondo Y, et al. Outcomes after aortic valve replacement for aortic valve stenosis, with or without concomitant coronary artery bypass grafting. *Gen Thorac Cardiovasc Surg* 2019;67:510–7.
38. Yanagisawa J, Maekawa A, Sawaki S, Tokoro M, Ozeki T, Orii M, et al. Three-port totally endoscopic repair vs conventional median sternotomy for atrial septal defect. *Surg Today* 2019;49:118–23.
39. Li S, Gao C. Surgical experience of primary cardiac tumor: single-institution 23-year report. *Med Sci Monit* 2017;23:2111–7.

40. Pineda AM, Santana O, Zamora C, Benjo AM, Lamas GA, Lamelas J. Outcomes of a minimally invasive approach compared with median sternotomy for the excision of benign cardiac masses. *Ann Thorac Surg* 2011;91:1440–4.
41. Yang M, Yao M, Wang G, Xiao C, Wu Y, Zhang H, et al. Comparison of postoperative quality of life for patients who undergo atrial myxoma excision with robotically assisted versus conventional surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2015;150:152–7.
42. Modi P, Hassan A, Chitwood WR. Minimally invasive mitral valve surgery: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Cardiothorac Surg* 2008;34:943–52.
43. Hata M, Zittermann A, Hakim-Meibodi K, Börgermann J, Gummert J. Minimally invasive mitral valve repair or replacement for degenerative mitral regurgitation. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2019;28:575–80.
44. Zhai J, Wei L, Huang B, Wang C, Zhang H, Yin K. Minimally invasive mitral valve replacement is a safe and effective surgery for patients with rheumatic valve disease: a retrospective study. *Medicine (Baltimore)* 2017;96:e7193.
45. Coyan GN, Aranda-Michel E, Sultan I, Gleason TG, Navid F, Chu D, et al. Outcomes of mitral valve surgery during concomitant aortic valve replacement. *J Card Surg* 2018;33:706–15.
46. Coutinho GF, Martínez Cereijo JM, Correia PM, Lopes CS, López LR, Muñoz DD, et al. Long-term results after concomitant mitral and aortic valve surgery: repair or replacement? *Eur J Cardiothorac Surg* 2018;54:1085–92.
47. Rankin JS, Thourani VH, Suri RM, He X, O'Brien SM, Vassileva CM, et al. Associations between valve repair and reduced operative mortality in 21,056 mitral/tricuspid double valve procedures. *Eur J Cardiothorac Surg* 2013;44:472-6; discussion 476-7.
48. Mohammed H, Yousuf Salmasi M, Caputo M, Angelini GD, Vohra HA. Comparison of outcomes between minimally invasive and median sternotomy for double and triple valve surgery: a meta-analysis. *J Card Surg* 2020;35:1209–19.
49. Noack T, Emrich F, Kiefer P, Hoyer A, Holzhey DM, Davierwala P, et al. Preoperative predictors and outcome of triple valve surgery in 487 consecutive patients. *Thorac Cardiovasc Surg* 2017;65:174–81.
50. Ohmes LB, Kim L, Feldman DN, Lau C, Munjal M, Di Franco A, et al. Contemporary prevalence, in-hospital outcomes, and prognostic determinants of triple valve surgery: national database review involving 5,234 patients. *Int J Surg* 2017;44:132–8.
51. Wachter K, Franke UFW, Rustenbach CJ, Baumbach H. Minimally invasive versus conventional LVAD-implantation-an analysis of the literature. *Thorac Cardiovasc Surg* 2019;67:156–63.
52. Veen KM, Caliskan K, By TMMH de, Mikhles MM, Soliman OI, Mohacsi P, et al. Outcomes after tricuspid valve surgery concomitant with left ventricular assist device

- implantation in the EUROMACS registry: a propensity score matched analysis. *Eur J Cardiothorac Surg* 2019;56:1081–9.
53. Zack CJ, Fender EA, Chandrashekar P, Reddy YNV, Bennett CE, Stulak JM, et al. National trends and outcomes in isolated tricuspid valve surgery. *J Am Coll Cardiol* 2017;70:2953–60.
 54. Fernandez-Zamora MD, Gordillo-Brenes A, Banderas-Bravo E, Arboleda-Sánchez JA, Hinojosa-Pérez R, Aguilar-Alonso E, et al. Prolonged mechanical ventilation as a predictor of mortality after cardiac surgery. *Respir Care* 2018;63:550–7.
 55. Beşir Y, Gökalp O, Karaağaç E, Eygi B, İner H, Yeşilkaya N, et al. Mini-thoracotomy versus median sternotomy for atrial septal defect closure: Should mini-thoracotomy be applied as a standard technique? *Turk Gogus Kalp Damar Cerrahisi Derg* 2019;27:280–5.
 56. Mohite PN, Sabashnikov A, Raj B, Hards R, Edwards G, García-Sáez D, et al. Minimally invasive left ventricular assist device implantation: a comparative study. *Artif Organs* 2018;42:1125–31.
 57. Oezpeker C, Barbieri F, Hoefler D, Schneider B, Bonaros N, Grimm M, et al. Mitral valve surgery via partial upper sternotomy: closing the gap between conventional sternotomy and right lateral minithoracotomy. *Thorac Cardiovasc Surg* 2019;67:524–30.
 58. Raikhelkar J, Lin H-M, Neckman D, Afonso A, Scurlock C. Isolated tricuspid valve surgery: predictors of adverse outcome and survival. *Heart Lung Circ* 2013;22:211–20.
 59. Thalji NM, Suri RM, Daly RC, Greason KL, Dearani JA, Stulak JM, et al. The prognostic impact of concomitant coronary artery bypass grafting during aortic valve surgery: implications for revascularization in the transcatheter era. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2015;149:451–60.
 60. Moront MG, Kuehne M, Redfern RE. Minimally invasive triple valve surgery: A single center experience. *J Card Surg* 2020;35:2567–73.
 61. Baumgarten MCDS, Garcia GK, Frantzeski MH, Giacomazzi CM, Lagni VB, Dias AS, et al. Pain and pulmonary function in patients submitted to heart surgery via sternotomy. *Rev Bras Cir Cardiovasc* 2009;24:497–505.
 62. Sasseron AB, Figueiredo LC de, Trova K, Cardoso AL, Lima NMFV, Olmos SC, et al. Does the pain disturb the respiratory function after open heart surgery? *Rev Bras Cir Cardiovasc* 2009;24:490–6.
 63. Tenenbein PK, Debrouwere R, Maguire D, Duke PC, Muirhead B, Enns J, et al. Thoracic epidural analgesia improves pulmonary function in patients undergoing cardiac surgery. *Can J Anaesth* 2008;55:344–50.
 64. Candaele S, Herijgers P, Demeyere R, Flameng W, Evers G. Chest pain after partial upper versus complete sternotomy for aortic valve surgery. *Acta Cardiol* 2003;58:17–21.

65. Nair SK, Sudarshan CD, Thorpe BS, Singh J, Pillay T, Catarino P, et al. Mini-Stern Trial: A randomized trial comparing mini-sternotomy to full median sternotomy for aortic valve replacement. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2018;156:2124-2132.e31.
66. Tempe DK, Khurana P. Optimal blood transfusion practice in cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2018;32:2743–5.
67. Velasquez CA, Singh M, Bin Mahmood SU, Brownstein AJ, Zafar MA, Saeyeldin A, et al. The effect of blood transfusion on outcomes in aortic surgery. *Int J Angiol* 2017;26:135–42.
68. Gilmanov D, Solinas M, Farneti PA, Cerillo AG, Kallushi E, Santarelli F, et al. Minimally invasive aortic valve replacement: 12-year single center experience. *Ann Cardiothorac Surg* 2015;4:160–9.
69. Lentini S, Specchia L, Nicolardi S, Mangia F, Rasovic O, Di Eusanio G, et al. Surgery of the ascending aorta with or without combined procedures through an upper ministernotomy: outcomes of a series of more than 100 patients. *Ann Thorac Cardiovasc Surg* 2016;22:44–8.
70. Lio A, Murzi M, Di Stefano G, Miceli A, Kallushi E, Ferrarini M, et al. Triple valve surgery in the modern era: short- and long-term results from a single centre. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2014;19:978–84.
71. Wang Y, Bellomo R. Cardiac surgery-associated acute kidney injury: risk factors, pathophysiology and treatment. *Nat Rev Nephrol* 2017;13:697–711.
72. Vassileva CM, Li S, Thourani VH, Suri RM, Williams ML, Lee R, et al. Outcome characteristics of multiple-valve surgery: comparison with single-valve procedures. *Innovations (Phila)* 2014;9:27–32.
73. Greenberg JW, Lancaster TS, Schuessler RB, Melby SJ. Postoperative atrial fibrillation following cardiac surgery: a persistent complication. *Eur J Cardiothorac Surg* 2017;52:665–72.
74. Mikus E, Calvi S, Campo G, Pavasini R, Paris M, Raviola E, et al. Full sternotomy, hemisternotomy, and minithoracotomy for aortic valve surgery: is there a difference? *Ann Thorac Surg* 2018;106:1782–8.
75. Ejiofor JI, Neely RC, Yammine M, McGurk S, Kaneko T, Leacche M, et al. Surgical outcomes of isolated tricuspid valve procedures: repair versus replacement. *Ann Cardiothorac Surg* 2017;6:214–22.
76. Madhavan S, Chan S-P, Tan W-C, Eng J, Li B, Luo H-D, et al. Cardiopulmonary bypass time: every minute counts. *J Cardiovasc Surg (Torino)* 2018;59:274–81.
77. Shrestha M, Krueger H, Umminger J, Koigeldiyev N, Beckmann E, Haverich A, et al. Minimally invasive valve sparing aortic root replacement (David procedure) is safe. *Ann Cardiothorac Surg* 2015;4:148–53.

78. Shuhaiber J, Anderson RJ. Meta-analysis of clinical outcomes following surgical mitral valve repair or replacement. *Eur J Cardiothorac Surg* 2007;31:267–75.
79. Ritwick B, Chaudhuri K, Crouch G, Edwards JRM, Worthington M, Stuklis RG. Minimally invasive mitral valve procedures: the current state. *Minim Invasive Surg* 2013:1–8.
80. Dettler C, Boehm DH, Reichenspurner H. Minimally invasive valve surgery: different techniques and approaches. *Expert Rev Cardiovasc Ther* 2004;2:239–51.
81. Carpentier A, Loulmet D, Le Bret E, Haugades B, Dassier P, Guibourt P. Chirurgie à coeur ouvert par vidéo-chirurgie et mini-thoracotomie. Premier cas (valvuloplastie mitrale) opéré avec succès. *C R Acad Sci III* 1996;319:219–23.
82. Chu VF, Nifong LW, Chitwood WR. Minimally invasive mitral valve surgery. In: Goldstein DJ, Oz MC, editors. *Minimally invasive cardiac surgery*. Totowa, NJ: Humana Press; 2004. p. 255–72.
83. Boldyrev S, Kaleda V, Gunko I, Barbukhatty K, Porhanov V. Upper ministernotomy for mitral valve replacement via superior approach. *Multimed Man Cardiothorac Surg* 2018. doi: 10.1510/mmcts.2018.041.
84. Holzhey DM, Seeburger J, Misfeld M, Borger MA, Mohr FW. Learning minimally invasive mitral valve surgery: a cumulative sum sequential probability analysis of 3895 operations from a single high-volume center. *Circulation* 2013;128:483–91.

6 Abkürzungsverzeichnis

AK	Aortenklappe
AK-E	Aortenklappenersatz
AKI	Akute Nierenschädigung
ASD	Atriumseptumdefekt
AV-Kanal	Atrioventrikulärer Kanal
EK	Erythrozytenkonzentrat
EKZ	Extrakorporale Zirkulation
FEV ₁	Einsekundenkapazität
FFP	Gefrorenes Frischplasma
FVC	Forcierte Vitalkapazität
ICR	Interkostalraum
LVAD	Linksventrikuläres Herzunterstützungssystem
MK	Mitralklappe
MK-E	Mitralklappenersatz
MK-R	Mitralklappenrekonstruktion
PFO	Persistierendes Foramen ovale
PK	Pulmonalklappe
RCT	Randomisierte kontrollierte Studie
TAVI	Transkatheter-Aortenklappenimplantation
TK	Trikuspidalklappe, Thrombozytenkonzentrat
TK-R	Trikuspidalklappenrekonstruktion
VHF	Vorhofflimmern
VSD	Ventrikelseptumdefekt
WHST	Wundheilungsstörung

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: OP-Situs nach superiorer Ministernotomie (Quelle: Prof. Dr. A. Hoffmeier)	8
Abbildung 2: OP-Situs nach Anschluss an die Herz-Lungen-Maschine (Quelle: Prof. Dr. A. Hoffmeier)	8
Abbildung 3: OP-Situs nach erfolgtem Mitralklappenersatz (Quelle: Prof. Dr. A. Hoffmeier)	9
Abbildung 4: Verschiedene minimalinvasive Zugangswege. Die superiore Ministernotomie ist oben links dargestellt (Quelle: R. Salenger 2015 (34))	10
Abbildung 5: Klinikletalität nach Gruppen. Die orangene Linie zeigt den Wert der Gesamtpopulation an.	47
Abbildung 6: Rate an Erythrozytentransfusionen nach Gruppen. Die orangene Linie zeigt den Wert der Gesamtpopulation an.	47
Abbildung 7: Rethorakotomierate nach Gruppen. Die orangene Linie zeigt den Wert der Gesamtpopulation an.	47
Abbildung 8: Häufigkeit des Myokardinfarktes nach Gruppen. Die orangene Linie zeigt den Wert der Gesamtpopulation an.	48
Abbildung 9: Häufigkeit der akuten Nierenschädigung nach Gruppen. Die orangene Linie zeigt den Wert der Gesamtpopulation an.	48
Abbildung 10: Häufigkeit des Apoplex nach Gruppen. Die orangene Linie zeigt den Wert der Gesamtpopulation an.	48

Alle Abbildungen wurden vom Autor selbst erstellt, wenn nicht anders angegeben.

Abbildung 4 mit freundlicher Genehmigung von John Wiley and Sons.

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 (Teil 1): Ein- und Ausschlusskriterien der Gruppen	15
Tabelle 1 (Teil 2): Ein- und Ausschlusskriterien der Gruppen *Es wurden auch erworbene Atriumseptumdefekte in die Gruppe aufgenommen.	16
Tabelle 2: Anzahl der durchgeführten Eingriffe nach Kategorie	20
Tabelle 3: Anzahl der Patienten in den einzelnen Gruppen	20
Tabelle 4: Ergebnisse der gesamten Studiengruppe	22
Tabelle 5: Ergebnisse der Gruppe „Aortenklappe“. Markiert sind auffällige Abweichungen von der Gesamtpopulation. Grün = vorteilhaft, rot = nachteilhaft, blau = neutral	23
Tabelle 6: Ergebnisse der Gruppe „Mitralklappe“. Markiert sind auffällige Abweichungen von der Gesamtpopulation. Grün = vorteilhaft, rot = nachteilhaft, blau = neutral	25
Tabelle 7: Ergebnisse der Gruppe „Trikuspidalklappe / Pulmonalklappe“. Markiert sind auffällige Abweichungen von der Gesamtpopulation. Grün = vorteilhaft, rot = nachteilhaft, blau = neutral	27
Tabelle 8: Ergebnisse der Gruppe „Zwei Klappen“, Teil 1. Markiert sind auffällige Abweichungen von der Gesamtpopulation. Grün = vorteilhaft, rot = nachteilhaft, blau = neutral	29
Tabelle 9: Ergebnisse der Gruppe „Zwei Klappen“, Teil 2. Markiert sind auffällige Abweichungen von der Gesamtpopulation. Grün = vorteilhaft, rot = nachteilhaft, blau = neutral	30
Tabelle 10: Ergebnisse der Gruppe „Drei Klappen“. Markiert sind auffällige Abweichungen von der Gesamtpopulation. Grün = vorteilhaft, rot = nachteilhaft, blau = neutral	34
Tabelle 11: Ergebnisse der Gruppe „Aorta“. Markiert sind auffällige Abweichungen von der Gesamtpopulation. Grün = vorteilhaft, rot = nachteilhaft, blau = neutral	35
Tabelle 12: Ergebnisse der Gruppe „Bypass + Klappe“. Markiert sind auffällige Abweichungen von der Gesamtpopulation. Grün = vorteilhaft, rot = nachteilhaft, blau = neutral	38
Tabelle 13: Ergebnisse der Gruppe „Kongenital“. Markiert sind auffällige Abweichungen von der Gesamtpopulation. Grün = vorteilhaft, rot = nachteilhaft, blau = neutral	40
Tabelle 14: Ergebnisse der Gruppe „Tumor“. Markiert sind auffällige Abweichungen von der Gesamtpopulation. Grün = vorteilhaft, rot = nachteilhaft, blau = neutral	43
Tabelle 15: Ergebnisse der Gruppe „LVAD“. Markiert sind auffällige Abweichungen von der Gesamtpopulation. Grün = vorteilhaft, rot = nachteilhaft, blau = neutral	45

Alle Tabellen wurden vom Autor selbst erstellt.

9 Lebenslauf

10 Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Dr. Sven Martens für die Möglichkeit, an der Klinik für Herzchirurgie zu promovieren.

Herrn Prof. Dr. Andreas Hoffmeier danke ich, dass er mir dieses spannende Thema überlassen hat. Ich habe mich stets hervorragend betreut gefühlt.

Für das Zusammenstellen der Patientendaten danke ich Frau Marina Fugmann.

Mein besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mir das Studium und meinen bisherigen Lebensweg ermöglicht und mich bei allem unterstützt haben.