

AUS DEM LEHRSTUHL
FÜR HERZ-, THORAX- UND HERZNAHE GEFÄßCHIRURGIE
DIREKTOR PROF. DR. MED. CHRISTOF SCHMID
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

**Perikardiales Packing nach herzchirurgischen Eingriffen:
Eine retrospektive 11-Jahres-Analyse**

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Christopher Putz

AUS DEM LEHRSTUHL
FÜR HERZ-, THORAX- UND HERZNAHE GEFÄßCHIRURGIE
DIREKTOR PROF. DR. MED. CHRISTOF SCHMID
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

**Perikardiales Packing nach herzchirurgischen Eingriffen:
Eine retrospektive 11-Jahres-Analyse**

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Christopher Putz

Dekan:

Prof. Dr. Dirk Hellwig

Erstgutachter:

PD Dr. Zdeněk Provazník

Zweitgutachter:

Prof. Dr. Can Martin Sag

Tag der mündlichen Prüfung:

10.02.2026

INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis

1	<i>Einleitung</i>	7
1.1	Herzchirurgische Eingriffe – Ein Überblick	7
1.2	Kardiovaskuläre Risikofaktoren	7
1.2.1	Arterielle Hypertonie	7
1.2.2	Diabetes mellitus.....	8
1.2.3	Adipositas	8
1.2.4	Nikotinabusus	9
1.2.5	Chronisch obstruktive Lungenkrankheit (COPD)	9
1.2.6	Niereninsuffizienz.....	10
1.2.7	Leberzirrhose	10
1.3	Operationsarten	11
1.3.1	Koronararterienchirurgie.....	11
1.3.2	Aortenklappenersatz	12
1.3.3	Mitralklappenersatz.....	13
1.3.4	Aortenchirurgie	14
1.3.5	Herztransplantation.....	14
1.4	Thorax apertum	15
1.4.1	Allgemeines zum Thorax apertum.....	15
1.4.2	Durchführung des Open chest managements.....	17
1.5	Postoperative Komplikationen	17
1.5.1	Respiratorische Komplikationen.....	18
1.5.2	Kardiovaskuläre Komplikationen	20
1.5.3	Störung der Nierenfunktion	21
1.5.4	Wundheilungsstörungen	22
1.5.5	Andere Komplikationen.....	23
1.6	Ziele der Analyse	23
2	<i>Patienten und Methode</i>	25
2.1	Studiendesign	25
2.2	Datenerhebung	25
2.3	Statistische Auswertung	25
3	<i>Ergebnisse</i>	26
3.1	Definition und Beschreibung des Analysekollektivs	26

3.2	Regressionsanalyse	29
4	<i>Diskussion</i>	34
4.1	Diskussion.....	34
4.2	Limitationen	36
5	<i>Zusammenfassung</i>	38
6	<i>Anhang</i>	39
6.1	Tabellenverzeichnis	39
6.2	Abbildungsverzeichnis	39
7	<i>Literaturverzeichnis</i>	40
8	<i>Danksagung</i>	47

Abkürzungsverzeichnis

AKE	Aortenklappenersatz
AKI	Acute kidney injury
ARDS	Acute respiratory distress syndrome
BMI	Body mass index
CABG	Coronary artery bypass grafting
CKD	Chronic kidney disease
CNI	Chronische Niereninsuffizienz
COPD	Chronic obstructive pulmonary disease
DSC	Delayed sternal closure
ECLS	Extracorporeal life support
ECMO	Extracorporeal membrane oxygenation
EF	Ejektionsfraktion
GFR	Glomeruläre Filtrationsrate
HDL	High density lipoprotein
IABP	Intraaortic balloon pump
ICD	International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems
ICU	Intensive care unit
KHK	Koronare Herzkrankheit
KI	Konfidenzintervall
LAE	Lungenarterienembolie
LCOS	Low cardiac output syndrome
LDL	Low density lipoprotein
LIMA	Left internal mammary artery
LVEF	Linksventrikuläre Ejektionsfraktion
MKE	Mitralklappenersatz
OCM	Open chest management
OP	Operation
OR	Odds Ratio
pAVK	periphere Arterielle Verschlusskrankheit
RIFLE	Risk, injury, failure, sustained loss, end-stage kidney disease
SSI	Surgical site infection

TVT	Tiefe Venenthrombose
VAC	Vacuum assisted closure
VAP	Ventilator assoziierte Pneumonie

1 Einleitung

1 Einleitung

1.1 Herzchirurgische Eingriffe – Ein Überblick

Herzchirurgische Verfahren haben sich in den letzten Jahrzehnten erheblich weiterentwickelt und sind heute routinemäßige Verfahren zur Behandlung von Herzkrankheiten und -störungen. Trotz aller Neuerungen stellt die mediane Sternotomie nachwievor den Goldstandard dar. Mit Hilfe dieser chirurgischen Zugangstechnik verschafft man sich direkten Zugang zum Herzen, was eine Vielzahl von komplexen Eingriffen wie Bypassoperationen, Herzklappenreparaturen und Herztransplantationen ermöglicht. Diese Technik erfordert eine sorgfältige Planung, präzise Durchführung und eine kontinuierliche Überwachung während des gesamten Eingriffs, um optimale Ergebnisse und eine schnelle Genesung des Patienten zu gewährleisten.

In bestimmten Fällen ist es indiziert, dass der Thorax nach operativer Versorgung des Patienten offen verbleibt. Dieses Verfahren wird „open chest management“ (OCM) genannt. Mit dieser Technik ist es möglich entstandene Komplikationen besser kontrollieren zu können, sowie die Patienten bei gegebenen pulmonalen oder hämodynamischen Einschränkungen zu entlasten. Idealerweise wird der Brustkorb nach kurzer Zeit, meist innerhalb von 24 Stunden wieder verschlossen. Sollte sich der Verschluss aus bestimmten Gründen verzögern, spricht man von „delayed sternal closure“ (DSC).

In dieser Dissertation wird das DSC im Kontext herzchirurgischer Eingriffe eingehend untersucht. Dabei werden die verschiedenen Aspekte dieser Technik, einschließlich ihrer Entwicklungsgeschichte, ihrer aktuellen Anwendungen, perioperative Herausforderungen und Ergebnisse, sowie potenzielle zukünftige Entwicklungen und Verbesserungen diskutiert. Ein tiefgreifendes Verständnis des OCM und des DSC ist von entscheidender Bedeutung für alle Mitglieder des behandelnden medizinischen Teams, um die Sicherheit und Wirksamkeit herzchirurgischer Eingriffe weiter zu verbessern und die bestmöglichen Ergebnisse für die Patienten zu erzielen.

1.2 Kardiovaskuläre Risikofaktoren

1.2.1 Arterielle Hypertonie

Analysen zufolge betrug im Jahr 2000 die weltweite Prävalenz des Arteriellen Bluthochdrucks schätzungsweise 26,4% unter den Erwachsenen. Bis 2025 wird erwartet, dass die Prävalenz auf 29% weiter ansteigt, was zu einer zunehmenden Anzahl von Herz-Kreislauf-Erkrankungen

führt. Im Jahr 2013 waren Schlaganfall und Koronare Herzkrankheit weltweit die führenden Todesursachen (1). Durch die Folgen eines nicht diagnostizierten oder schlecht eingestellten Bluthochdrucks kann eine herzchirurgische Intervention erforderlich werden. Erhöhte Blutdruckwerte können zu einer dreifach erhöhten perioperativen Mortalität sowie zu einem reduzierten Langzeitüberleben führen (2,3).

1.2.2 Diabetes mellitus

Die demografische Entwicklung in Kombination mit risikoreichem Ernährungs- und Bewegungsverhalten begünstigt die steigende Zahl an Diabetes mellitus erkrankten Personen. Schätzungen zufolge waren im Jahr 2010 etwa 285 Millionen Menschen weltweit davon betroffen. Zwanzig Jahre später könnte diese Zahl bereits auf 489 Millionen ansteigen (4). Kardiovaskuläre Erkrankungen sind häufige Komplikationen des Diabetes mellitus aufgrund mikro- und makrovaskulärer Veränderungen. Die wachsende Verbreitung von Diabetes mellitus führt daher zu einem erhöhten Auftreten kardiovaskulärer Erkrankungen und folglich zu einem gesteigerten Bedarf an medikamentösen und operativen Eingriffen (5). Patienten mit Diabetes haben ein höheres Risiko für peri- und postoperative Komplikationen nach herzchirurgischen Eingriffen. Es wurde festgestellt, dass eine schlecht eingestellte Serumglukose das Risiko für Instabilitäten oder Infektionen des Brustbeins erhöht, was zu häufigeren operativen Revisionen führt. Darüber hinaus kann ein längerer Aufenthalt auf der Intensivstation aufgrund respiratorischer Insuffizienz und postoperativer Reintubation erforderlich sein. Diabetes stellt somit einen unabhängigen Risikofaktor für die postoperative Morbidität und Mortalität nach herzchirurgischen Eingriffen dar (6).

1.2.3 Adipositas

In den letzten Jahrzehnten ist die Anzahl übergewichtiger und adipöser Menschen weltweit stark angestiegen. Die Prävalenz dieser Probleme hat insbesondere nach dem Jahr 2000 deutlich schneller zugenommen als in den Jahren 1980 bis 1990 (7,8). Im Jahr 2015 lag die Prävalenz der Übergewichtigen bei circa 1,9 Milliarden. Davon waren etwa 609 Millionen adipös. Folgeschäden der Adipositas stellen dabei eine enorme finanzielle Belastung für die Gesundheitssysteme dar (9). Ein sogenannter Adipositas-Paradoxon-Effekt wurde beschrieben, bei dem Personen mit bestehenden kardiovaskulären Risikofaktoren trotz Übergewicht (Body-Mass-Index, BMI zwischen 25,0 und 29,9) oder Adipositas Grad I (BMI zwischen 30,0 und 34,9) eher vor neuen kardiovaskulären Ereignissen geschützt werden und ihre Überlebensrate

erhöht wird. Ab Adipositas Grad II (BMI zwischen 35,0 und 39,9) oder Grad III (BMI ≥ 40) steigt jedoch das Risiko für kardiovaskuläre Ereignisse stark an und die Überlebensrate sinkt (10). Studien haben auch gezeigt, dass adipöse Patienten nach chirurgischen Eingriffen ein signifikant erhöhtes Risiko für Haut- und Weichteilinfektionen haben. Insbesondere nach herzchirurgischen Eingriffen wurde ein erhöhtes Risiko für Wundinfektionen des Sternums, Mediastinitis oder Bakteriämie festgestellt. Bei adipösen Diabetikern wurde sogar eine bis zu 7,7-fach höhere Wahrscheinlichkeit für tiefe Wundinfektionen beobachtet (11).

1.2.4 Nikotinabusus

Im Jahr 2019 wurde die globale Prävalenz von aktiven Rauchern auf etwas über 1 Milliarde geschätzt und es wird erwartet, dass diese Zahl weiter steigen wird (12). Jährlich sterben etwa 6 Millionen Menschen weltweit an den Folgen des Rauchens. Ein Drittel dieser Todesfälle ist auf kardiovaskuläre Erkrankungen zurückzuführen, die eng mit dem Rauchen als einem bedeutenden Risikofaktor verbunden sind. Das Erkrankungsrisiko steigt dosisabhängig an, jedoch kann bereits der Konsum einer einzigen Zigarette pro Tag oder das Passivrauchen das Risiko deutlich erhöhen (13). Wenn ein starker Raucher mit dem Rauchen aufhört, kann sich sein Erkrankungsrisiko innerhalb von fünf Jahren signifikant verringern. Allerdings bleibt im Vergleich zu einem Nichtraucher ein erhöhtes Risiko etwa 25 Jahre lang bestehen (14). Rauch gilt als unabhängiger Risikofaktor für postoperative Komplikationen. Fortgesetzter Nikotinkonsum birgt ein deutlich erhöhtes Risiko für respiratorische Komplikationen wie Pneumonie, verlängerte Beatmungszeit oder Reintubation sowie für Wundinfektionen und Wundheilungsstörungen. Die Krankenhausaufenthaltsdauer ist bei Rauchern im Vergleich zu Nichtrauchern ebenfalls verlängert (15).

1.2.5 Chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)

In den letzten zwei Jahrzehnten hat die COPD als globales Gesundheitsproblem zunehmend Aufmerksamkeit in der Forschung erhalten. Schätzungen aus dem Jahr 2010 zeigen eine Prävalenz von 11,7% unter Erwachsenen ab dem 30. Lebensjahr, was weltweit etwa 384 Millionen Fällen entspricht. Aktuell rangiert die Erkrankung an vierter Stelle der weltweit führenden Todesursachen und wird voraussichtlich bis 2030 auf den dritten Platz vorrücken (16). In einer Studie von Schneider et al. wurde nachgewiesen, dass Patienten mit COPD höhere Inzidenzen für viele kardiovaskuläre Erkrankungen aufwiesen als die Vergleichsgruppe ohne COPD (17). Die Behandlung von Patienten mit COPD und gleichzeitig bestehenden

ischämischen Herzerkrankungen gestaltet sich zudem schwierig, da pharmakologische Konzepte wie die Gabe von Beta2-Agonisten bei Lungenerkrankungen oder die Gabe von Betablockern bei Herzerkrankungen teilweise im Widerspruch stehen (18). Des Weiteren erhöht eine COPD die 30-Tage-Mortalität nach herzchirurgischem Eingriff, die Wahrscheinlichkeit für postoperative pulmonale Komplikationen, die Dauer der Beatmung, sowie die stationäre Aufenthaltsdauer (19).

1.2.6 Niereninsuffizienz

Die Alterung und das Wachstum einer Bevölkerung führen aufgrund steigender Zahl von kardiovaskulären und stoffwechselbedingten Erkrankungen auch zu einer Zunahme der Chronischen Nierenerkrankung (CKD). Zwischen 1990 und 2016 ist die Prävalenz der CKD um 87% gestiegen und beträgt zu diesem Zeitpunkt etwa 276 Millionen Fälle. Diabetes mellitus und arterielle Hypertonie sind weltweit die beiden Hauptfaktoren für die Entwicklung einer CKD (20). Bei Patienten mit CKD treten kardiovaskuläre Erkrankungen häufiger und in stärkerem Ausmaß auf als bei Nierengesunden. Ab einem CKD-Grad 3a (glomeruläre Filtrationsrate $<60 \text{ ml/min/1,73 m}^2$) steigt die kardiovaskuläre Mortalität um das Doppelte an. So erhöht sich beispielsweise das Risiko für Schlaganfall, periphere arterielle Verschlusskrankheit (PAVK), koronare Herzkrankheit (KHK) oder Vorhofflimmern (21). Die postoperative Mortalität nach herzchirurgischen Eingriffen steigt ebenfalls mit zunehmender renaler Dysfunktion. Insbesondere die Kombination aus CKD und niedriger linksventrikulärer Ejektionsfraktion scheint das Ergebnis dieser Patienten nach Eingriffen signifikant zu beeinträchtigen (22).

1.2.7 Leberzirrhose

Chronische Lebererkrankungen wie die Leberzirrhose sind weltweit für etwa 1,2 Millionen Todesfälle pro Jahr verantwortlich. Eine genaue globale Prävalenz ist schwer abzuschätzen, da in vielen Teilen der Welt keine verlässlichen Daten verfügbar sind (23). Patienten mit Leberzirrhose haben ein erhöhtes Risiko bei herzchirurgischen Eingriffen, bei denen Hämostase und Hämodynamik eine besondere Rolle spielen. Die Überlebensraten verschlechtern sich mit zunehmendem Schweregrad der Erkrankung (nach CHILD-Klassifikation A, B, C). Arif et al. zeigten in ihrer Studie, dass in der Gruppe mit höherer Mortalität eine gesteigerte Volumengabe und ein höherer Katecholaminbedarf erforderlich waren, um einen ausreichenden Kreislauf

aufrechtzuerhalten. Insgesamt haben Patienten mit Leberzirrhose nach herzchirurgischen Eingriffen eine ungünstigere Prognose (24).

1.3 Operationsarten

Hier werden herzchirurgische Eingriffe, welche in dieser Studie eine Rolle spielen, kurz beschrieben. Dabei sollen Indikationen, Durchführung, Nachsorge und Outcome dargestellt werden. Viele Operationen sind häufig Kombinationseingriffe, in denen mehrere Pathologien in einem Operationsvorgang behandelt werden. Dies reduziert die Mortalität, da sogenannte Re-Thorakotomien, also ein erneutes Öffnen des Sternums zu einem späteren Zeitpunkt, die Mortalität und Morbidität signifikant erhöhen (25,26).

1.3.1 Koronararterienchirurgie

Die Geschichte der koronaren Bypass-Operation, auch bekannt als Koronararterien-Bypass-Transplantation (Coronary artery bypass graft, CABG), begann in den 1960er Jahren. Der erste erfolgreiche Eingriff dieser Art wurde 1967 von Dr. René Favaloro an der Cleveland Clinic in Ohio durchgeführt. Die Operation entwickelte sich rasch zu einer Standardbehandlung für Patienten mit schwerer Koronarer Herzkrankheit (KHK), insbesondere bei solchen, bei denen andere Therapien wie Medikamente oder weniger invasive Verfahren nicht ausreichend waren (27).

Die Hauptindikation für eine koronare Bypass-Operation ist die KHK, bei der die Koronararterien durch atherosklerotische Plaqueablagerungen verengt oder blockiert sind. Dies führt zu einer reduzierten antegraden Blutzufuhr zum Herzmuskel und kann bei partiellem Verschluss zu Angina pectoris und bei komplettem Verschluss zu einem Herzinfarkt mit konsekutiven Nekrosen des Herzmuskelgewebes führen (28). CABG wird typischerweise bei Patienten empfohlen, die eine schwere Verengung in mehreren Hauptkoronararterien haben, insbesondere wenn die linke Hauptkoronararterie betroffen ist, oder bei Patienten mit beeinträchtigter linksventrikulärer Funktion.

Durch Fortschritte in der Myokardprotektion und OP-Technik konnte die Mortalität gesenkt werden. Die Mortalitätsrate dieser Operation liegt in spezialisierten Zentren bei elektiven Eingriffen bei etwa 2%. Im Vergleich dazu wurde bei Notfalleingriffen in Studien eine erhöhte Mortalität von etwa 4,7% beschrieben (29,30). Die Risiken können jedoch je nach Gesundheitszustand des Patienten variieren. Faktoren wie fortgeschrittenes Alter, begleitende

Erkrankungen wie Diabetes, COPD, pAVK und chronische Niereninsuffizienz können das Risiko erhöhen (31).

Bei Boeken et al. wurden 70% aller Patienten mit OCM vorher einer Bypass-Operation unterzogen im Vergleich zu 40% in unserer Kohorte (32). Insgesamt hat die koronare Bypass-Operation vielen Patienten eine signifikante Verlängerung und Verbesserung der Lebensqualität ermöglicht. Sie bleibt eine wichtige Behandlungsoption in der modernen Herzchirurgie.

1.3.2 Aortenklappenersatz

Der Aortenklappenersatz ist ein chirurgischer Eingriff, bei dem eine erkrankte oder beschädigte Aortenklappe durch eine Prothese ersetzt wird. Diese Operation ist notwendig, wenn die Aortenklappe nicht mehr richtig öffnet oder schließt, was den Blutfluss aus dem Herzen in die Peripherie beeinträchtigt und zu ernsthaften gesundheitlichen Problemen führen kann.

Die Hauptindikationen für einen Aortenklappenersatz sind Aortenklappenstenose und Aortenklappeninsuffizienz. Bei der Aortenklappenstenose ist die Klappe verengt, was den Blutfluss aus dem linken Ventrikel in die Aorta behindert. Bei der Aortenklappeninsuffizienz schließt die Klappe nicht richtig, was zu einem Rückfluss von Blut in den linken Ventrikel führt. Beide Zustände können zu Symptomen wie Atemnot, Brustschmerzen, Schwindel und in schweren Fällen zu Herzversagen führen (33,34).

Die Mortalitätsrate bei Aortenklappenersatzoperationen variiert je nach Patientengruppe und Operationsmethode. Bei konventionellen chirurgischen Eingriffen liegt die Mortalitätsrate im Bereich zwischen 2,4 - 6,5%, abhängig vom allgemeinen Gesundheitszustand des Patienten und dem Vorhandensein anderer Risikofaktoren. Minimal-invasive Verfahren, wie der Transkatheter-Aortenklappenersatz (TAVI), haben in der Regel eine niedrigere Mortalitätsrate, insbesondere bei Hochrisikopatienten (3,4% vs. 6,5%) (35,36).

Das Risikoprofil für Patienten, die sich einem Aortenklappenersatz unterziehen, umfasst Faktoren wie Alter, Herz-Kreislauf-Erkrankungen wie Bluthochdruck, Vorhofflimmern oder eine eingeschränkte linksventrikuläre Pumpfunktion. Zudem ist die Komplikationsrate bei Notfalloperationen gegenüber elektiven Eingriffen erhöht (37).

Trotz der Risiken bietet der Aortenklappenersatz vielen Patienten eine deutlich verbesserte Lebensqualität und Prognose. Nach erfolgreicher Operation berichten Patienten häufig von einer Linderung der Symptome und einer Rückkehr zu normalen Aktivitäten. Fortschritte in der Chirurgie und die Entwicklung neuer Prothesen haben dazu beigetragen, die Erfolgsraten zu

erhöhen und die Erholungszeiten zu verkürzen (36). Der Aortenklappenersatz bleibt eine lebensrettende Maßnahme und ein wichtiger Bestandteil der Herzchirurgie.

1.3.3 Mitralklappenersatz

Der Mitralklappenersatz ist ein chirurgischer Eingriff, bei dem eine erkrankte oder beschädigte Mitralklappe des Herzens durch eine mechanische oder biologische Prothese ersetzt wird. Diese Operation wird durchgeführt, um die Herzfunktion und Lebensqualität des Patienten zu verbessern, die durch Mitralklappenfehler kompromittiert werden.

Die Hauptindikation für einen Mitralklappenersatz ist eine schwere Mitralklappeninsuffizienz oder -stenose unterschiedlicher Genese. Bei der Mitralklappeninsuffizienz schließt die Klappe nicht vollständig, was zu einem Rückfluss von Blut in den linken Vorhof führt. Bei der Mitralklappenstenose ist die Klappe verengt, was den Blutfluss vom linken Vorhof in den linken Ventrikel behindert. Beide Zustände können zu Symptomen wie Atemnot, Müdigkeit, Herzrhythmusstörungen und Herzversagen führen.

Die Mortalitätsrate bei Mitralklappenersatzoperationen wird vom Patientenalter, bestehende Kardiomyopathien und anderen Komorbiditäten beeinflusst. Im Allgemeinen liegt die Mortalitätsrate zwischen 4 - 7%. Bei weniger invasiven Operationsverfahren wurde von geringeren Mortalitätsraten berichtet. Fortschritte in der chirurgischen Technik und perioperativen Versorgung haben dazu beigetragen, die Mortalitätsraten in den letzten Jahrzehnten zu senken (38).

Das Risikoprofil für Patienten, die sich einem Mitralklappenersatz unterziehen, umfasst Faktoren wie Alter, Begleiterkrankungen (z.B. Diabetes mellitus, chronische Niereninsuffizienz), frühere Herzoperationen und die Funktion des linken Ventrikels. Patienten mit schlechter linksventrikulärer Funktion oder anderen schweren gesundheitlichen Problemen haben ein höheres Risiko für Komplikationen.

Komplikationen nach einem Mitralklappenersatz können Infektionen, Blutungen, Herzrhythmusstörungen und ein perivalvuläres Leck umfassen, aber vor allen Dingen eine Thromboembolie. Mechanische Klappen erfordern eine lebenslange Antikoagulation, um Blutgerinnsel zu verhindern, was das Risiko von Blutungen erhöht. Biologische Klappen haben eine begrenzte Lebensdauer und können degenerieren, was möglicherweise eine erneute Operation erforderlich macht (39).

Trotz der potenziellen Risiken und Komplikationen bietet der Mitralklappenersatz vielen Patienten erhebliche Vorteile. Nach erfolgreicher Operation berichten die meisten Patienten

von einer deutlichen Verbesserung der Lebensqualität, einer Reduktion der Symptome und einer besseren Herzfunktion. Die Wahl zwischen mechanischen und biologischen Prothesen ermöglicht es, die Behandlung an die individuellen Bedürfnisse der Patienten anzupassen. Der Mitralklappenersatz bleibt eine wichtige und oft lebensrettende Intervention in der modernen Herzchirurgie.

1.3.4 Aortenchirurgie

Die Aortenchirurgie umfasst verschiedene Eingriffe zur Behandlung von Erkrankungen der Hauptschlagader. Herznahe Gefäßchirurgie betrifft die Bereiche der Aortenwurzel und die Aorta ascendens bis zur Aorta descendens. Eingriffe an der proximalen Aorta, wie der Ersatz der Aortenwurzel bzw. der Aorta ascendens, werden durchgeführt, um eine Dissektion oder Ruptur zu vermeiden oder zu behandeln. Skoglund et al. beschrieben eine Mortalitätsrate von 2,2% bei elektiven Eingriffen an der proximalen Aorta. Bei Notfalleingriffen, wie einer Operation bei einer Typ-A-Dissektion, wird die Mortalitätsrate mit 8,9% angegeben. Das Paraplegie-Risiko liegt bei 6 - 8%. Risikofaktoren für eine erhöhte Mortalität umfassen Organischämien, postoperativen ECMO-Support oder eine Reexploration des Brustkorbs (40,41).

Operationen an der Aorta descendens umfassen beispielsweise die Reparatur eines thorakoabdominellen Aortenaneurysmas. Die Mortalitätsrate bei diesen Eingriffen liegt bei 7,5%, während das Risiko für Paraplegie bzw. Paraparese bei 2,9% bzw. 2,4% angegeben wird. Prädiktive Faktoren für ein schlechtes Outcome sind das Alter der Patienten, das Vorliegen von Lungen- und Nierenerkrankungen sowie Notfalleingriffe.

Thorakoabdominelle Aortenerkrankungen sind selten, aber lebensbedrohlich und erfordern eine fachübergreifende Zusammenarbeit von Experten. Trotz der erheblichen Herausforderungen, die umfangreiche distale Aortenreparaturen mit sich bringen, sind die Ergebnisse nach sowohl offenen als auch endovaskulären Eingriffen in spezialisierten Zentren ausgezeichnet. Patienten mit degenerativen thorakoabdominellen Aortenaneurysmen und chronischen Dissektionen sollten engmaschig überwacht und bei Bedarf für elektive Reparaturen evaluiert werden (42).

1.3.5 Herztransplantation

Die Herztransplantation ist weiterhin der Goldstandard für die Therapie von Patienten mit terminaler Herzinsuffizienz, bei denen andere Behandlungsoptionen ausgeschöpft sind. In Deutschland werden jährlich etwa 300 bis 350 Herztransplantationen durchgeführt. Diese

Operationen finden in hochspezialisierten Zentren statt, die über die nötige Expertise und Infrastruktur verfügen. Nach wie vor ist Deutschland stark abhängig von Spenderorganen aus dem Ausland. Davon stammen viele Organe aus Ländern mit einer Widerspruchslösung, wohingegen in Deutschland selbst die Widerspruchslösung noch nicht eingeführt werden konnte.

Die Hauptindikation für eine Herztransplantation ist die terminale Herzinsuffizienz unterschiedlicher Genese, die nicht mehr auf medikamentöse oder interventionelle Therapien anspricht.

Wie bei jedem großen chirurgischen Eingriff gibt es auch bei Herztransplantationen Risiken und potenzielle Komplikationen. Zu den häufigsten postoperativen Komplikationen gehören akute Abstoßungsreaktionen, Infektionen, Nierenfunktionsstörungen und thromboembolische Ereignisse. Verantwortliche Faktoren für ein verringertes Outcome waren, ähnlich zu unserer Studie, der Bedarf an Nierenersatztherapie, Infektionen und kreislaufunterstützende Therapien wie IABP oder ECMO (43).

Trotz der Risiken haben sich die Ergebnisse von Herztransplantationen in den letzten Jahrzehnten deutlich verbessert. Die 10-Jahres-Überlebensrate nach Transplantation beträgt etwa 60%. Fortschritte in der präoperativen Selektion und der postoperativen Immunsuppression haben wesentlich zu diesen verbesserten Outcomes beigetragen. Ein wichtiger Aspekt der Nachsorge ist die regelmäßige Überwachung auf Abstoßungsreaktionen und Infektionen, oft durch Biopsien und immunsuppressive Therapieanpassungen.

Herztransplantationen bieten vielen Patienten mit terminaler Herzinsuffizienz eine signifikante Verbesserung der Lebensqualität und der Lebenserwartung und ist linksventrikulären Unterstützungssystemen in dieser Hinsicht überlegen. Die kontinuierliche Weiterentwicklung in der Transplantationsmedizin und die interdisziplinäre Zusammenarbeit tragen dazu bei, dass immer mehr Patienten von dieser lebensrettenden Therapie profitieren können (44).

1.4 Thorax apertum

1.4.1 Allgemeines zum Thorax apertum

Riahi et al. haben 1975 als Erste das postoperativ offen belassene Sternum als mögliche therapeutische Option beschrieben, um das kompromittierte Herz von äußerem Druck, der durch einen Thoraxverschluss entsteht, zu entlasten (45). Seitdem wird diese Technik bei verschiedensten Indikationen angewandt und die Studienlage verbessert sich zunehmend. Die Prävalenz des offenen Thorax nach herzchirurgischen Operationen liegt bei etwa 1,5% bei

Einleitung

Erwachsenen und 4,5% bei Kindern. Die Inzidenz kam bei mehreren Untersuchungen auf einen Wert von etwa 4,2% (25).

Für das offen belassene Sternum gibt es vielfältige Indikationen. Eine der häufigsten Indikationen ist dabei eine verminderte Auswurfraction (sog. Low cardiac output, LCO) intra- und postoperativ. Der dadurch verringerte Herzindex (Quotient aus Herzzeitvolumen und Körperoberfläche) kann durch ein offenes Sternum merklich angehoben werden. Eine weitere häufige Indikation ist ein hämodynamischer Einbruch bei dem Versuch, das Sternum zu verschließen. Ebenso erhöht sich der Druck auf die Atemwege und die pulmonalen Gefäße, was in eine Oxygenierungsstörung münden kann. Tritt nach Operation eine diffuse Blutung auf, deren Ursprung chirurgisch nicht gestillt werden kann, wird der Thorax mit Bauchtüchern gepackt und offengelassen. Innerhalb von 24 Stunden wird der Situs reevaluiert und gegebenenfalls neu gepackt oder bei Bluttrockenheit verschlossen.

Andere Indikationen sind Arrhythmien, Platzmangel bei kardialen Ödem oder eine zentrale ECMO-Kanülierung (25,32). Postoperativ werden die Patienten auf der Intensivstation (intensive care unit, ICU) weiterbehandelt. Die Analgosedierung und die maschinelle Beatmung werden fortgeführt. Vorrangiges Ziel ist es, die Hämodynamische Stabilität zu verbessern und den Bedarf an medikamentöser Kreislaufunterstützung zu reduzieren.

Die Gerinnung wird sorgfältig überwacht, um mögliche Koagulopathien rechtzeitig zu korrigieren. Volumenmanagement ist ebenfalls essenziell, da bei einer negativen Flüssigkeitsbilanz einem Myokard- oder Gewebeödem vorgebeugt wird. Kann einer Volumenüberladung medikamentös nicht entgegengesteuert werden, wird eine Hämodialyse installiert. Der offene Thorax erhöht das Risiko auf Wundinfektionen, wodurch standardmäßig eine Prophylaxe mit einem Breitbandantibiotikum durchgeführt wird. Treten Komplikationen wie Perikardtamponaden auf, kann bereits auf der ICU schnell reagiert werden, ohne dass eine erneute Sternotomie durchgeführt werden muss.

Ist der Patient hämodynamisch und respiratorisch stabil, ist die Gerinnung und die Flüssigkeitsbilanz ausreichend gut eingestellt und die Wunde keimfrei, wird der Patient in den Operationssaal verbracht und dort ein konventioneller Verschluss des Sternums und der Haut durchgeführt (32,46). In einer Studie von Boeken et al. wird die Gesamtmortalität bei Erwachsenen die mit OCM behandelt worden sind mit 27,8% angegeben (32).

Andere Studien, die alle Altersgruppen einschließen geben einen mittleren Wert von 15-25% Gesamtsterblichkeit an (25). Die Mortalität scheint dabei von der Indikation für das offene Sternum abzuhängen. So wurde bei LCO mit 36% eine doppelt so hohe Mortalität wie bei Tamponaden nach Sternumverschluss festgestellt (32). Mussten Patienten, welche nach einem

Einleitung

chirurgischen Eingriff ein bereits verschlossenes Brustbein hatten, postoperativ erneut eröffnet und mit DSC behandelt werden, konnte im Gegensatz zu Patienten, die direkt beim Ersteingriff offengelassen wurden, eine höhere Mortalität gezeigt werden. Dies vermittelt die Wichtigkeit des Zeitpunkts an dem die Entscheidung zu einem offenen Sternum getroffen wird (25).

1.4.2 Durchführung des Open chest managements



Abbildung 1: Open Chest Management auf der herzchirurgischen Intensivstation. *Quelle: Eigene Aufnahme*

1.5 Postoperative Komplikationen

Patienten nach herzchirurgischen Eingriffen haben ein hohes Risiko, postoperative Komplikationen zu entwickeln (47). Zudem birgt laut einigen Studien ein offen gelassenes Sternum ein höheres Risiko auf Wundinfektionen als ein primär verschlossenes Sternum (25). Im Folgenden werden die nennenswerten Komplikationen kurz dargestellt.

1.5.1 Respiratorische Komplikationen

Einige der führenden Morbiditäten nach chirurgischen Eingriffen sind pulmonale Komplikationen. Je nach Pathologie treten Komplikationen mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit von 5-25% auf (47). Pleuraergüsse und Atelektasen sind mit einem Anteil von 63% die häufigsten innerklinischen Komplikationen nach herzchirurgischen Eingriffen (48). Ursächlich hierfür sind intraoperative lungennahe Manipulationen, die beispielsweise beim Betrachten des Herzens von posterior, bei der Kanülierung herznaher Gefäße oder bei der für bestimmte Operationen notwendigen Einlungenventilation entstehen. Postoperativ tragen vor allem eine schnelle und flache Atmung, vermindertes Abhusten, sowie eine Volumenüberladung mit konsekutiv erhöhter interstitieller Flüssigkeit und Pleuraergüsse dazu bei (48).

Im Krankenhaus erworbene Pneumonien zählen zu den zweithäufigsten nosokomialen Infektionen und gehören zu den führenden Todesursachen unter den krankenhausessoziierten Infektionen (49). Patienten, welche über 48 Stunden maschinell beatmet werden, können eine sogenannte Ventilatorassoziierte Pneumonie (VAP) entwickeln. Wird eine prolongierte maschinelle Beatmung nötig, steigt das Erkrankungsrisiko zusätzlich an. Die Prävalenz der VAP beträgt dann 17,9% bis 53%. Auslöser sind dabei häufig gramnegative Bakterien. Neuere Studien zeigen jedoch, dass früh aufgetretene VAP eher durch grampositive Bakterien ausgelöst werden. Besonders hervorzuheben sind dabei Erreger wie *Staphylokokkus aureus* und *Pseudomonas aeruginosa* (48). Begünstigt wird eine VAP unter anderem durch Risikofaktoren wie Herzinsuffizienz, COPD, Niereninsuffizienz, Notfalloperationen, Länge der mechanischen Beatmungszeit oder postoperative Reintubation (50).

Eine weitere intra- und postoperative Komplikation nach herzchirurgischen Eingriffen stellt der Pneumothorax dar. Laut einer Studie von Urschel et al. gehört der Pneumothorax mit einer Gesamtinzidenz von etwa 1,4% zu den eher selteneren Komplikationen (51). Sollte sich dem Pneumothorax noch eine Spannungskomponente (sog. Spannungspneumothorax) hinzufügen, kann ein lebensbedrohliches Krankheitsbild entstehen. Operative Eingriffe am Thorax bergen aufgrund chirurgischer Manipulation das Risiko für einen Pneumothorax. Weitere Ursachen sind intensivmedizinische Maßnahmen wie die Anlage eines zentralvenösen Katheters oder die mechanische Beatmung mit Überdruck (52).

Das acute respiratory distress syndrome (ARDS) ist eine schwerwiegende Lungenfunktionsstörung, die als Reaktion auf Operationen oder auf intensivmedizinische Maßnahmen auftreten kann. Schon 1967 wurde es von Ashbaugh et al. als eine der führenden Ursachen für postoperatives Lungenversagen nach herzchirurgischen Eingriffen erkannt (53).

Einleitung

Trotz adäquater Behandlung sind die Folgen oft fatal, denn das ARDS geht mit Mortalitätsraten von 40% in der allgemeinen Bevölkerung und von 80% unter den herzchirurgischen Patienten einher. Die Inzidenz bei diesen Patienten wird in verschiedenen Studien zwischen 0,4% und 20% berechnet und ist vor allem auch von der Art der Operation abhängig. So bergen die koronare Bypasschirurgie und die Aortenchirurgie mitunter die höchsten Risiken. Neben herzchirurgischen Eingriffen als eigener Risikofaktor gelten Risikofaktoren wie eine niedrige LVEF (<40%), postoperatives LCOS, fortgesetztes Rauchen, COPD, massive Bluttransfusionen und das Patientenalter als relevant. Das ARDS beeinflusst grundlegend die stationäre Aufenthaltsdauer, die bleibende Morbidität und das Outcome der Patienten (54).

Nicht nur nach herzchirurgischen, sondern nach sämtlichen chirurgischen Eingriffen ist eine Lungenarterienembolie (LAE) eine gefürchtete Komplikation. Nach Herzoperationen wird von einer Inzidenz von 0,3% bis 9,5% berichtet. In der Studie von Josa et al. ist dabei die Inzidenz nach CABG deutlich höher als nach Klappenoperationen. Die Mortalität liegt bei 18,7%. Direkt tödlich verlaufende LAE treten mit einer Inzidenz von 0,5% auf (48,55). Verantwortlich für eine LAE ist in den meisten Fällen eine tiefe Beinvenenthrombose (TVT), welche gefördert wird durch eine postoperative Hyperkoagulabilität, den verminderten venösen Rückfluss aus den Beinen aufgrund der Allgemeinanästhesie sowie der Immobilisation des Patienten nach bestimmten Eingriffen. Weitere Risikofaktoren sind eine positive Anamnese einer früheren TVT oder LAE, Adipositas, Hyperlipidämie, Myokardinfarkt, Vorhofflimmern, Blutgruppe A und eine Heparin-induzierte Thrombozytopenie. Wider Erwarten, wurde in Studien das Risiko einer TVT durch Geschlecht, Nikotinabusus, pAVK oder Diabetes nicht signifikant erhöht (56). Eine Dysfunktion des Zwerchfells aufgrund einer Reizung oder Schädigung des N. phrenicus ist eine Komplikation, die vor allem bei thoraxchirurgischen Eingriffen auftritt. Dies kann durch eine mechanische Schädigung bei chirurgischer Manipulation während des Eingriffs oder durch die Zuführung einer Kältelösung in das Perikard hervorgerufen werden. Besonders gefährdet ist aufgrund der Lage des Herzens dabei der linke N. phrenicus.

Bei sogenannten LIMA-Bypass-Operationen, in denen die linke A. thoracica interna zur Überbrückung gewählt und freipräpariert wird, kann es durch chirurgische Intervention aufgrund der räumlichen Nähe zum linken Nerven zu Läsionen kommen. Möchte man einen kardioplegischen Effekt durch kalte Spüllösung erreichen, wird das Herz umspült, wodurch aufgrund der Anatomie ebenso der linke N. phrenicus häufiger betroffen ist (57). Elektrophysiologisch nachweisbare Läsionen des N. phrenicus finden sich in etwa 32% der Fälle, welche jedoch klinisch unauffällig verlaufen. Schädigungen, welche mit einer klinisch oder radiologisch nachweisbaren Dysfunktion des Zwerchfells einhergehen, treten in ungefähr

2,1% der Fälle auf. Die Inzidenz nimmt jedoch weiterhin ab, da mittlerweile nicht mehr die Herzoberfläche direkt, sondern über einen antegrad vorgeschobenen Katheter über die Koronarostien oder retrograd über den Sinus coronarius gekühlt wird. Bei prolongiertem Weaning ist jedoch nach Ausschluss anderer Ursachen immer eine Schädigung des N. phrenicus in Betracht zu ziehen (48).

1.5.2 Kardiovaskuläre Komplikationen

Postoperative kardiale Komplikationen sind nach herzchirurgischen Eingriffen nicht selten. So stellt das LCOS, also eine akute postoperative Herzinsuffizienz, mit einer Inzidenz von 10% eine der häufigeren Komplikationen dar (58). Ausgelöst wird es hauptsächlich durch Reperfusion bei vorausgegangener operationsbedingter Ischämie (42). Dabei kommt es an den herzeigenen Gefäßen zu Zellreaktionen, welche in einem Mangel an intrazellulärem ATP oder sogar in Apoptose münden können. Viele andere intraoperative Faktoren können das Auftreten eines LCOS begünstigen, dazu zählen die aortale Abklemmzeit, die kardiopulmonale Bypasszeit, andauernde Arrhythmien oder längere komplexe Eingriffe (60). Eine präoperativ erniedrigte Ejektionsfraktion (LVEF <35%) wurde ebenfalls als wichtiger Risikofaktor beschrieben (61).

Es ist nicht ungewöhnlich, dass nach herzchirurgischen Operationen ein Perikarderguss auftritt. Dieser verläuft häufig asymptomatisch und bedarf keiner Intervention. Es kann jedoch als Komplikation eine Herzbeuteltamponade auftreten, bei der es aufgrund der hohen Flüssigkeitsansammlung im Perikardbeutel zu einer Einschränkung der diastolischen Füllung und folglich der systolischen Pumpleistung kommt. Dies ist der Fall wenn der intraperikardiale Druck den intrakardialen Druck übersteigt. Da die rechte Herzseite schwächer ausgeprägt ist, ist diese meist als Erstes betroffen (59). Perikardergüsse treten postoperativ mit einer Inzidenz von über 50% auf, wobei es je nach Operation bei nur 0,2% bis 8,4% zur Tamponade mit kardialer Einschränkung kommt (62). Da durch die kompromittierte Herzleistung ein Herz-Kreislauf-Stillstand eintreten kann, ist dies ein sehr bedrohliches Krankheitsbild mit einer Mortalitätsrate von etwa 30% (63).

Postoperative Blutungen können je nach Ausmaß und Lokalisation zu lebensbedrohlichen Ereignissen nach chirurgischen Eingriffen werden. Um Blutungen chirurgisch kontrollieren zu können, ist eine Re-Thorakotomie, also ein erneutes Öffnen des Brustkorbs vonnöten. Eine Re-Thorakotomie ist allerdings mit einer 3- bis 4-fach höheren Mortalität, sowie einem erhöhten Risiko an postoperativen Nierenversagen, Arrhythmien, prolongiertem Weaning von der maschinellen Beatmung und verlängertem Intensivaufenthalt vergesellschaftet (64,65).

Blutungen werden häufig durch angeborene (genetische Defekte) oder erworbene (antithrombotische Therapie) Veränderungen im Gerinnungssystem begünstigt. Zudem hängt die Blutungswahrscheinlichkeit von der chirurgischen Technik, sowie den anatomischen Gegebenheiten ab. Das Auftreten einer schweren Blutung wird auf 2%-10% der Fälle geschätzt, variiert jedoch stark aufgrund der unterschiedlichen Definitionen von schweren Blutungen in der Literatur. Dyke et al. hatten in ihrer Studie bei Patienten mit schweren Blutungen eine Mortalitätsrate von 22,3% (64,66).

Andere postoperative Komplikationen, welche häufiger auftreten können, sind Myokardinfarkte und Arrhythmien. Myokardinfarkte treten dabei mit einer Inzidenz von 7% bis 15% auf und gehen mit einem verringerten Langzeitüberleben einher (67). Durch manuelle Reizung, Entzündungsreaktionen, Reperfusionsschäden oder Medikamente sind intra- und postoperative Rhythmusstörungen keine Seltenheit. Vorhofflimmern mit 10% bis 50% wird als die häufigste Rhythmusstörung beschrieben. Ventrikuläre Tachykardie ist mit 2% schon deutlich seltener anzutreffen. Auch bradykarde Rhythmusstörungen können auftreten, gehäuft nach Klappeneingriffen. Die Mortalität bei diesen Patienten ist erhöht, ebenso die Aufenthaltsdauer auf der Intensivstation sowie das Risiko kardialer Dekompensation oder Schlaganfall (68).

1.5.3 Störung der Nierenfunktion

Eine akute Nierenschädigung (AKI) nach herzchirurgischem Eingriff tritt mit einer Inzidenz von etwa 30% auf. Diese hohe Zahl kann man unter anderem auf gemeinsame Risikofaktoren mit der koronaren Herzkrankheit zurückführen, wodurch Herzpatienten häufiger dazu neigen, eine AKI zu entwickeln. Zu den gemeinsamen Risikofaktoren gehören beispielsweise das Patientenalter, arterielle Hypertonie, Hyperlipidämie, Diabetes mellitus oder pAVK (69). Zusätzliche Faktoren, welche zu einer AKI führen können sind eine präoperative Anämie, Hämodilution, perioperative Bluttransfusionen oder der postoperative Einsatz von Katecholaminen (70). In 1% bis 5% der Fälle wird ein Nierenersatzverfahren zur Behandlung eingesetzt. Eine frühzeitige Therapie mit Nierenersatzverfahren konnte in einer Studie mit einer verringerten Mortalität und weniger Zeit am Beatmungsgerät assoziiert werden (69). Ein Werkzeug, um den Schweregrad einer AKI nach herzchirurgischer Operation einzuschätzen, ist die RIFLE-Klassifikation (Risk, injury, failure, loss of kidney-function, end-stage renal failure). Mit dieser wird anhand des Serumkreatinins der Schweregrad bestimmt. In Studien konnte ein Zusammenhang zwischen einer schlechten RIFLE-Klassifikation und dem Kurzzeitüberleben nach chirurgischem Eingriff hergestellt werden (71). Die Langzeitmortalität

war bei Patienten mit einer AKI etwa 21,4%, wobei Patienten ohne AKI nur eine Mortalität von 10,6% aufwiesen. Die RIFLE-Klassifikation wurde mittlerweile von der gebräuchlicheren KDIGO-Klassifikation (kidney disease: improving global outcome) abgelöst. Auch hier spielt das Serumkreatinin eine wichtige Rolle. Obwohl die Nierenfunktion nicht allein über diesen Wert beurteilt werden sollte, stellt es trotzdem einen wichtigen und günstigen Laborparameter für die Risikoabschätzung einer AKI dar, da eine Erhöhung des Serumkreatinins mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer AKI einhergeht (54).

1.5.4 Wundheilungsstörungen

Gefürchtete Komplikationen nach herzchirurgischen Eingriffen sind Infektionen im Operationsgebiet, sogenannte SSI (surgical site infections). Hier unterscheidet man oberflächliche von tiefen Infektionen. Oberflächliche Infektionen betreffen die Dermis und Subkutis ohne Beteiligung des Sternums. Tiefe Infektionen gehen mit einer Sternumosteitis oder einer Mediastinitis einher. Die Inzidenz variiert zwischen 1% bis 3% (72,73). Häufigste Ursache ist eine perioperative Kontamination mit Krankheitserregern. Primär verantwortlich sind Bakterien wie *Staphylokokkus aureus* und Koagulase-negative Streptokokken. Betrachtet man die Studie von Jonkers et al. machen Infektionen mit *S. aureus* etwa 26% und Infektionen mit Koagulase-negativen Streptokokken nur 10% aller Infektionen aus (74). Studien von Gårdlund et al. und Tegnell et al. weisen jedoch Koagulase-negative Streptokokken als führenden Erreger nach, bei letzteren sogar in 42% bis 64% der Fälle (75,76). Diese Erreger stammen sowohl von der endogenen Flora der Patienten als auch von der exogenen Flora aus der Umgebung. Es wurden in Studien einige Risikofaktoren identifiziert, welche eine SSI begünstigen. Hierzu zählen patientenbezogene Risikofaktoren wie etwa Alter, Geschlecht, Adipositas, Diabetes mellitus, COPD und behandlungsbezogene Faktoren wie Notfall- oder Elektiveingriffe, Art und Länge des Eingriffs, Notwendigkeit einer operativen Revision und die anschließende Wundversorgung (77). Wundinfektionen führen zu weiteren Komplikationen wie Fieber, Sternumdehiszenz oder Sepsis. Ein Anstieg der Mortalität von 10% auf 40% konnte beobachtet werden. Ebenfalls folgen ökonomische und organisatorische Konsequenzen, da bei diesen Patienten mit einer verlängerten stationären Liegedauer und erhöhten Kosten gerechnet werden muss (72,77).

1.5.5 Andere Komplikationen

Komplikationen nach chirurgischen Eingriffen sind vielfältig. Ist die Neurologie des Patienten betroffen, kann dies schwerwiegende Auswirkungen haben. Das häufigste Erkrankungsbild ist der Schlaganfall mit einer Inzidenz von 1% bis 3%. Risikofaktoren, besonders nach einem herzchirurgischen Eingriff, sind neu aufgetretenes Vorhofflimmern oder eine Kalzifizierung der aufsteigenden Aorta. Für Patienten mit einem Schlaganfall kann die Mortalität auf über 20% ansteigen. Auf der ICU ebenfalls häufig zu beobachten ist das postoperative Delir. Mit einer Inzidenz von 3% bis 30% tritt es als neurologische Komplikation häufig auf und beeinflusst das Outcome des Patienten (47). Risikofaktoren für ein Delir sind, insbesondere nach herzchirurgischen Eingriffen, Vorhofflimmern, postoperatives LCOS, LVEF < 30%, Operationszeit, Notfalleingriff, aber auch Diabetes mellitus, pAVK oder Alter ≥ 65 Jahre. Präventive Maßnahmen bieten sich an, da ein Delir mit einem verlängerten Klinikaufenthalt, sowie einer erhöhten Morbidität und Mortalität einhergeht (78).

Eher seltener und auch schwieriger zu diagnostizieren sind gastroenterologische Komplikationen nach herzchirurgischen Eingriffen. Patienten haben oft atypische Symptome, können die Beschwerden nicht richtig beschreiben oder können auf eine körperliche Untersuchung aufgrund ihrer Sedierung nicht adäquat reagieren. Als Ursache für gehäufte gastrointestinale Beschwerden wird eine verlängerte kardiopulmonale Bypass-Zeit, welche zu einer Minderversorgung im Splanchnikus-Stromgebiet führt, diskutiert. Hohes Alter (> 80 Jahre), aktiver Nikotinkonsum, Herzinsuffizienz, postoperatives Vorhofflimmern oder Revisionsoperationen stellen weitere Risikofaktoren dar (79). Obwohl gastrointestinale Komplikationen selten sind, sind sie mit einer erhöhten Mortalität vergesellschaftet. Zu den häufigsten Komplikationen gehören unter anderem obere und untere gastrointestinale Blutungen, Pankreatitis, Darmischämie oder Ulzera (80).

1.6 Ziele der Analyse

Diese Dissertation widmet sich der differenzierten Analyse eines klinisch hochrelevanten Aspekts der Herzchirurgie: dem offenen Thorax nach einem herzchirurgischen Eingriff. Bei Patienten, bei denen das Sternum aufgrund intraoperativer Komplikationen nicht direkt nach der Operation verschlossen werden kann, verbleibt der Brustkorb vorübergehend offen, bis eine Besserung der klinischen Symptomatik eintritt. In dieser sensiblen Phase spielen zahlreiche Faktoren eine Rolle, die das weitere Vorgehen und das Behandlungsergebnis maßgeblich beeinflussen.

Einleitung

Ziel dieser Studie ist es, ein tieferes Verständnis dafür zu entwickeln, welche Faktoren den postoperativen Verlauf und die Mortalität dieser Patienten beeinflussen. Dabei werden demographische Daten, Vorerkrankungen und OP-Indikationen detailliert analysiert, um deren Auswirkungen auf postoperative Komplikationen, die Notwendigkeit von Re-Operationen und den Einsatz maschineller Unterstützungssysteme zu verstehen. Im Zentrum steht die Frage, ob prädiktive Faktoren identifiziert werden können, die bei bestimmten Patientengruppen auf ein erhöhtes intra- und postoperatives Risiko hinweisen.

Mit den Erkenntnissen dieser Arbeit sollen konkrete Maßnahmen abgeleitet werden, die es ermöglichen, bereits im Vorfeld Patienten mit erhöhtem Risiko besser zu erkennen. Dies würde eine gezieltere Anamnese, eine präzisere Anpassung der therapeutischen Strategien sowie eine Verbesserung der präventiven Maßnahmen ermöglichen.

Die Ergebnisse dieser Dissertation sollen Impulse dahingegen setzen das postoperative Management dieser besonders gefährdeten Patientengruppe zu optimieren. Damit bietet die Arbeit nicht nur wertvolle Erkenntnisse für die klinische Praxis, sondern könnte einen Beitrag zur Reduktion der Mortalität und zur Verbesserung des Outcomes bei Patienten mit offenem Thorax nach herzchirurgischen Eingriffen leisten.

2 Patienten und Methode

2.1 Studiendesign

In der vorliegenden Studie wurde ein Kollektiv von 230 Patienten untersucht, die in einem Zeitraum von Januar 2010 bis November 2021 nach einem herzchirurgischen Eingriff mit einem offen belassenen Sternum auf der herzchirurgischen Intensivstation der Universitätsklinik Regensburg behandelt worden sind.

Einziges Einschlusskriterium war dabei das Vorliegen des ICD-Codes M96.80 (Elektiv offen belassenes Sternum nach thoraxchirurgischem Eingriff). Die Durchführung dieser Studie wurde von der Ethikkommission der Universität Regensburg genehmigt (02.02.2022 mit dem Zeichen 22-2804-104).

2.2 Datenerhebung

Alle in Frage kommenden Patienten wurden zunächst von der Abteilung Patientenmanagement aus der Datenbank der Universitätsklinik in einer Tabelle aufgelistet. Mit Hilfe der Krankenhaussoftware *SAP* wurden aus digital archivierten Unterlagen Informationen gesammelt wie: demographische Daten und Vorerkrankungen aus internen und externen Arztbriefen, Operationsarten und -zeiten aus Operationsberichten, prä- und postoperative Laborparameter aus hauseigenen und hausfremden Laborbefunden, sowie die prä- und postoperative Notwendigkeit von Dialyse oder ECMO, das Auftreten von Wundheilungsstörungen oder das Überleben bis zur Krankenhausentlassung.

Informationen über medikamentöse Behandlungen mit Antibiosen (Antibiotikabedarf über die prä- und postoperative Prophylaxe hinaus) oder Vasopressoren (Noradrenalin, Adrenalin und Vasopressin) wurden über das Programm *Metavision* gesammelt.

2.3 Statistische Auswertung

Die erhobenen Daten wurden anonymisiert und in Tabellenform mit dem Programm SPSS Statistics Version 28.0.0.0 (IBM corp., Armonk, New York, USA) erfasst und im Anschluss mit dem selbigen statistisch ausgewertet.

3 Ergebnisse

3.1 Definition und Beschreibung des Analysekollektivs

Im Untersuchungszeitraum wurden von allen (n=28583) herz-thoraxchirurgischen Eingriffen an der Universitätsklinik Regensburg 0,8% (n=230) mit offenem Sternum behandelt.

Das mittlere Patientenalter des untersuchten Kollektivs war 62,3 Jahre (31 bis 87 Jahre). Die Gruppe der weiblichen Patienten war mit 66,8 Jahren im Mittel um ca. 6 Jahre älter als die Gruppe der männlichen Patienten mit 60,9 Jahren. Von den 230 Patienten sind 75,7% männlich (n=174) und 24,3% weiblich (n=56).

Einige kardiovaskuläre Risikofaktoren konnten bei wenig fehlenden Datensätzen bestimmt werden. Eine arterielle Hypertonie war bei 208 untersuchten Patienten mit ca. 69,7% am häufigsten zu finden. Etwa 30% von 220 Patienten waren adipös (BMI >30kg/m²) und ca. 20% von allen 230 Patienten waren an Diabetes mellitus erkrankt. Ungefähr 30% waren aktive Raucher.

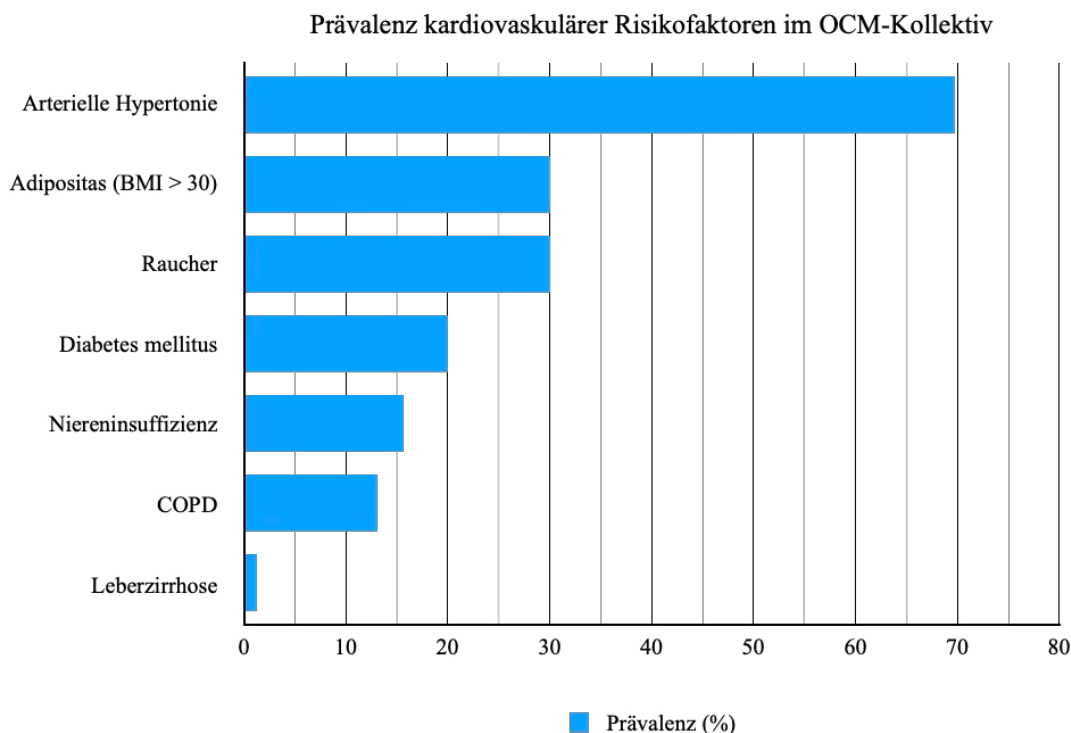


Abbildung 2: Die häufigsten Risikofaktoren bei Patienten, die mit OCM behandelt worden sind. OCM = Open Chest Management.

Von 205 Patienten konnte die präoperative Pumpfunktion bestimmt werden. 45,9 % der Patienten hatten eine normale präoperative Pumpfunktion, während 32,2 % eine hochgradig

eingeschränkte Pumpfunktion aufwiesen. Die häufigsten herzchirurgischen Eingriffe waren Teil der Aortenchirurgie in Kombination mit einem Aortenklappenersatz (AKE) und/oder einer koronaren Bypass-Operation (CABG), was 29,5 % (n=68) der Fälle ausmachte. An zweiter Stelle standen isolierte CABG-Operationen mit 22,6 % (n=52) der Fälle.

Eine detailliertere Auflistung der einzelnen Eingriffe folgt in Tabelle 2. Aufgrund von Komplikationen im Rahmen dieser Eingriffe musste eine offene OCM durchgeführt werden. In 65,7 % der Fälle (n=151) wurde die Entscheidung, das Sternum offen zu lassen, bereits während der Operation getroffen. In 34,3 % der Fälle (n=79) war nach initialem Verschluss des Sternums eine Notfallrevision erforderlich, gefolgt von einem DSC. Bei allen 230 Patienten konnten Indikationen für eine OCM erhoben werden. Die häufigsten Indikationen für eine OCM waren Blutungskomplikationen wie diffuse Blutungen oder Perikardtamponaden, die bei 66,5 % der Patienten (n=153) auftraten, sowie ein Low Cardiac Output Syndrome (LCOS) mit hämodynamischer Instabilität, das bei 20 % der Patienten (n=46) diagnostiziert wurde. 13,5 % der Patienten (n=31) hatten andere Gründe für eine OCM, wie Schwellungen oder Infektionen, die der Übersichtlichkeit halber zusammengefasst wurden.

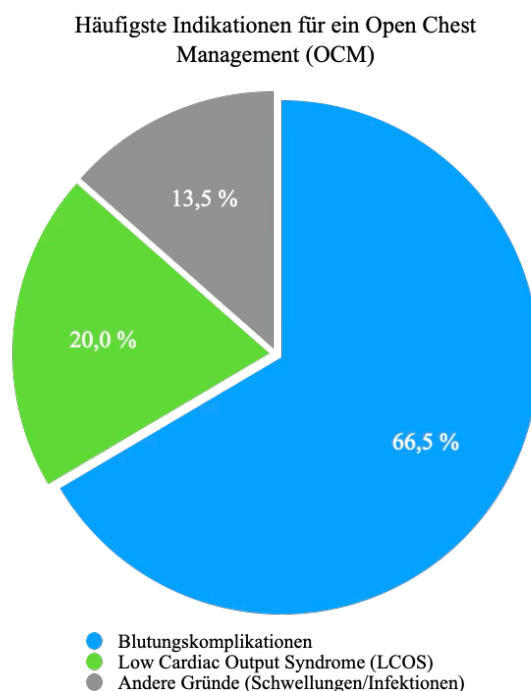


Abbildung 3: Die häufigsten Indikationen zur Behandlung mit OCM. OCM = Open Chest Management.

Um einen Zusammenhang zwischen der Mortalität und der Liegedauer mit offenem Brustkorb zu untersuchen, wurden die Patienten in Gruppen eingeteilt. Dabei wurde festgestellt, dass bei

Ergebnisse

47,4 % der Patienten (n=109) der Brustkorb innerhalb von 48 Stunden wieder verschlossen wurde, während bei 52,6 % (n=121) der Verschluss erst nach mehr als 48 Stunden erfolgte. Zudem hatten die Patienten mit einem verzögerten Verschluss des Sternums (≥ 48 Stunden) ein höheres Risiko, im Krankenhaus zu versterben, als Patienten mit frühzeitigem Verschluss (Mortalität: 58,7 %, n=71 vs. 39,4 %, n=43; $p=0,004$). Der Median der Liegedauer mit offenem Brustkorb betrug 46 Stunden (IQR=34; Q3=69, Q1=35). 58,3 % der Patienten (n=134) mussten intra- oder postoperativ mit einer extrakorporalen Lebenserhaltung (ECLS) versorgt werden. Bei 11,9 % der Patienten (n=27) wurde bereits präoperativ eine ECLS angeschlossen.

18,7 % der Patienten (n=43) konnten nach erfolgreichem Weaning von der Beatmungsmaschine innerhalb von 48 Stunden extubiert werden. 46,1 % der Patienten (n=106) hatten ein prolongiertes Weaning (>48 Stunden) mit oder ohne Tracheotomie, während 35,2 % (n=81) ohne Weaningversuch auf der Intensivstation verstarben.

Wundabstriche aus dem Operationsgebiet waren bei 27 Personen (11,7 %) positiv, ohne zu unterscheiden, ob es sich um eine Kolonisation oder um eine Infektion handelte. Bei 24 Personen (10,4 %) lag eine behandlungsbedürftige Wundinfektion vor, von denen 5 (2,2 %) konservativ und 19 (8,2 %) operativ, mit oder ohne VAC-System, therapiert wurden. Zusätzlich zur standardmäßig applizierten perioperativen antibiotischen Prophylaxe benötigten 86,1 % der Patienten (n=198) die Gabe weiterer Antibiotika aufgrund klinischer und laborchemischer Entzündungszeichen. 37 Patienten (16,1 %) konnten auf der Intensivstation ohne oder nur mit niedrigdosierter Katecholamintherapie (Noradrenalin $< 1,0$ mg/h; Adrenalin $< 0,5$ mg/h) und ohne Vasopressin geführt werden. 193 Patienten (83,9 %) mussten mit einer Hochdosis-Katecholamintherapie (Noradrenalin $> 1,0$ mg/h; Adrenalin $> 0,5$ mg/h) mit oder ohne Vasopressin unterstützt werden. In der Gruppe der Patienten, die postoperativ kein oder nur niedrig dosiertes Noradrenalin benötigten, konnten 80 % (n=44) lebend entlassen werden, während in der Gruppe mit höherem Noradrenalinbedarf nur etwa die Hälfte (41,1 %, n=72) lebend entlassen wurden.

Postoperativ entwickelten 156 Patienten (67,8 %) ein akutes Nierenversagen, von denen 132 (57,4 %) hämodialysiert wurden. Zudem mussten 134 Patienten (58,3 %) postoperativ mit einem ECMO-System versorgt werden.

Insgesamt sind in der untersuchten Kohorte von 230 Patienten 49,6 % (n=114) im Krankenhaus verstorben.

3.2 Regressionsanalyse

Insgesamt wurden 41 Variablen und deren Einfluss auf die Krankenhausmortalität durch univariate binäre logistische Regression ausgewertet. Diverse Vorerkrankungen, wie Adipositas, arterielle Hypertonie, Diabetes mellitus, COPD und Niereninsuffizienz, sowie der Nikotinkonsum wurden erhoben, lieferten jedoch keine signifikanten Ergebnisse hinsichtlich erhöhter Mortalität. Bei 14 der 41 Variablen war das Ergebnis signifikant ($p < 0,05$). Weibliche Patienten hatten ein höheres Risiko, im Krankenhaus zu versterben als männliche Patienten ($p=0,012$). In der univariaten Regressionsanalyse zeigte sich bei Patienten mit einer Ejektionsfraktion (EF) ≤ 35 % tendenziell eine höhere Sterblichkeit, jedoch lag das Ergebnis außerhalb der definierten Signifikanzgrenze ($p=0,055$). Folgende Ergebnisse waren in der univariaten Analyse signifikant: Patienten, die bereits präoperativ mit einem ECMO-System versorgt waren ($p=0,008$) hatten eine erhöhte Mortalität. Bestimmte Indikationen für ein OCM, wie das LCOS ($p<0,001$), sowie die Dauer bis zum Verschluss des Sternums ($p=0,004$) waren ebenfalls mit einer erhöhten Mortalität verbunden. Der Bedarf an allen untersuchten vasoaktiven Substanzen (Noradrenalin, Adrenalin, Vasopressin: $p<0,001$) ging mit einer erhöhten Sterblichkeit einher.

Alle untersuchten Werte wurden in präoperative, operative und postoperative Risikofaktoren eingeteilt und sind in den Tabellen 1 bis 3 ersichtlich. Acht signifikante Variablen aus der univariaten Analyse sowie drei weitere Variablen aus der Datenerhebung wurden anschließend mit einer multivariaten Regression analysiert.

Ergebnisse

Tabelle 1. Prädiktive Faktoren für Mortalität – Univariate Analyse präoperativer Variablen

Prädiktoren	Ergebnisse				
	<i>Verstorben</i>	<i>Überlebt</i>	<i>Odds Ratio</i>	<i>95% KI</i>	<i>p-Wert</i>
Alter $\geq$ 65	55	53	0.955	0.855 – 1.032	.244
Alter < 65	59	63	0.992	0.949 – 1.036	.705
Frauen	36	20	2.215	1.188 – 4.130	.012
Adipositas	35	32	1.230	0.692 – 2.187	.48
Arterielle Hypertonie	65	80	0.894	0.494 – 1.617	.71
Diabetes	23	22	1.080	0.563 – 2.072	.817
Raucher	31	34	1.046	0.582 – 1.878	.881
COPD	11	19	0.618	0.279 – 1.373	.238
CNI	15	21	0.782	0.379 – 1.616	.507
EF < 35%	38	28	1.787	0.988 – 3.231	.055
ECMO präoperativ	20	7	3.391	1.372 – 8.380	.008

KI = Konfidenzintervall; COPD = Chronic obstructive pulmonary disease; CNI = Chronische Niereninsuffizienz; EF = Ejektionsfraktion; ECMO = Extracorporal membrane oxygenation.

Ergebnisse

Tabelle 2. Prädiktive Faktoren für Mortalität – Univariate Analyse intraoperativer Variablen

Prädiktoren	Ergebnisse				
	<i>Verstorben</i>	<i>Überlebt</i>	<i>Odds Ratio</i>	<i>95% KI</i>	<i>p-Wert</i>
CABG	29	23	1.380	0.741 – 2.568	.31
CABG + AKE	8	10	0.800	0.304 – 2.106	.651
CABG + MKE	5	3	1.728	0.403 – 7.405	.461
CABG + Aortenchirurgie	5	5	1.018	0.287 – 3.617	.978
CABG + AKE + Aortenchirurgie	1	3	0.333	0.034 – 3.253	.345
AKE	14	10	1.484	0.630 – 3.494	.366
MKE	7	4	1.832	0.521 – 6.437	.345
AKE + MKE	2	5	0.396	0.075 – 2.086	.275
AKE + Aortenchirurgie	12	19	0.601	0.277 – 1.303	.197
Aortenchirurgie	9	14	0.624	0.259 – 1.506	.295
Herztransplantation	4	7	0.566	0.161 – 1.990	.375
Sonstige Operationen	18	13	1.486	0.691 – 3.195	.311
Indikation: DiffuseBlutung /Tamponade	63	90	0.357	0.201 – 0.632	< .001
Indikation: LCOS	34	12	3.638	1.793 – 7.565	< .001
Andere Indikationen	17	14	1.277	0.597 – 2.730	.528
Entscheidung für OCM intraoperativ oder postoperativ	34	45	0.671	0.388 – 1.160	.153

CABG = Coronary Artery Bypass Graft; AKE = Aortenklappenersatz; MKE = Mitralklappenersatz; LCOS = Low Cardiac Output Syndrome; OCM = Open Chest Management.

Ergebnisse

Tabelle 3. Prädiktive Faktoren für Mortalität – Univariate Analyse postoperativer Variablen

Prädiktoren	Ergebnisse				
	<i>Verstorben</i>	<i>Überlebt</i>	<i>Odds Ratio</i>	<i>95% KI</i>	<i>p-Wert</i>
Mehrfach offen	1	1	1.018	0.063 – 16.469	.990
Offenzeit >48h	71	50	2.180	1.286 – 3.694	.004
Zusätzlicher Antibiotikabedarf	91	107	0.333	0.147 – 0.755	.009
Positiver Wundabstrich	11	16	0.667	0.295 – 1.509	.331
Prolongiertes Beatmungswaning	5	38	0.094	0.035 – 0.250	< .001
Tracheotomie	28	35	0.753	0.421 – 1.349	.341
Noradrenalin (≥1,0mg/h)	103	72	5.722	2.768 – 11.828	< .001
Suprarenin (≥0,5mg/h)	70	44	2.603	1.530 – 4.431	< .001
Vasopressin	63	31	3.387	1.949 – 5.886	< .001
Postoperativ dialysepflichtig	86	46	4.674	2.654 – 8.231	< .001
Reintubation	16	31	0.448	0.229 – 0.875	.019
Postoperative ECMO-Anlage	91	43	6.717	3.714 – 12.149	< .001
Akutes Nierenversagen ohne Dialyse	8	16	0.472	0.193 – 1.150	.099
Operative Wundrevisionen	1	11	0.084	0.011 – 0.663	.019

ECMO = Extracorporeal membrane oxygenation.

Die multivariate Regressionsanalyse ergab vier signifikante ($p < 0,05$) unabhängige Risikofaktoren für eine erhöhte intrahospitale Sterblichkeit. Bei Patienten, welche einen erhöhten Noradrenalinbedarf ($>1,0\text{mg/h}$) hatten, war das Risiko noch im Krankenhaus zu versterben signifikant erhöht ($\text{OR}=4,297$; 95% CI: 1,694-10,900, $p=0,002$). Ebenso war es bei Patienten, die postoperativ ein dialysepflichtiges Nierenversagen entwickelten ($\text{OR}=2,385$; 95% CI: 1,089-5,224, $p=0,03$).

Das Low cardiac output syndrome (LCOS), die zweithäufigste Indikation für ein OCM war ein signifikanter Risikofaktor ($\text{OR}=4,050$; 95% CI: 1,601-10,241, $p=0,003$), genauso wie der postoperative Bedarf einer ECMO ($\text{OR}=4,180$; 95% CI: 1,965-8,892, $p<0,001$).

Ergebnisse

Eine erneute Reintubation war ebenfalls eine relevante Variable, diese war jedoch vom p-Wert knapp oberhalb der als signifikant definierten Grenze (OR=0,432, 95% CI: 0,184-1,014 , p=0,054).

Tabelle 4. Prädiktive Faktoren für Mortalität – Multivariate Analyse signifikanter Variablen

Prädiktoren	Ergebnisse				
	<i>Verstorben</i>	<i>Überlebt</i>	<i>Odds Ratio</i>	<i>95% KI</i>	<i>p-Wert</i>
EF <35%	38	28	1.066	0.511 – 2.223	.865
Offener Brustkorb in h	n/a	n/a	1.004	0.999 – 1.010	.141
Offenzeit >48h	71	50	0.892	0.396 – 2.007	.782
Präoperative GFR	n/a	n/a	0.994	0.979 – 1.009	.429
Postoperative GFR	n/a	n/a	1.006	0.986 – 1.027	.536
Noradrenalin	103	72	4.297	1.694 – 10.900	.002
Suprarenin	70	44	1.155	0.559 – 2.385	.698
Postoperative Dialysepflicht	86	46	2.385	1.089 – 5.224	.03
Reintubation	16	31	0.432	0.184 – 1.014	.054
LCOS	34	12	4.050	1.601 – 10.241	.003
Postoperativer ECMO-Bedarf	91	43	4.180	1.965 – 8.892	< .001

EF = Ejektionsfraktion; n/a = Daten hier nicht anwendbar; GFR = Glomeruläre Filtrationsrate; LCOS = Low Cardiac Output Syndrome; ECMO = Extracorporal membrane oxygenation.

4 Diskussion

4.1 Diskussion

Im Jahr 1975 beschrieben Riahi et al. das Problem eines komprimierten Herzens nach kardiochirurgischen Eingriffen und stellten einen Lösungsansatz zur Dekompression des Brustkorbs vor (45). Zu jener Zeit wurde der Verschluss des Sternums als obligatorisch angesehen, um Komplikationen wie Mediastinitis oder Osteomyelitis zu vermeiden. Die Dekompression des Herzens, um ein ausreichendes Herzzeitvolumen zu erreichen, entwickelte sich später zu einem offenen Verfahren. Dabei wird der Brustkorb steril und reversibel abgedeckt und das Brustbein zu einem späteren Zeitpunkt endgültig verschlossen (verzögerter Sternumverschluss). Dieses Verfahren ist nun eine etablierte Methode, um verschiedenen Komplikationen nach herzchirurgischen Eingriffen zu begegnen.

In dieser retrospektiven Studie sollten prädiktive Faktoren sowie das Outcome von Patienten untersucht werden, die diese Art von Therapie benötigten. Über einen Zeitraum von 11 Jahren wurde ein Patientenkollektiv ausgewählt, bei dem ein offener Thorax nach einem herzchirurgischen Eingriff erforderlich war. Dieses Kollektiv wurde anschließend auf bestimmte Parameter wie Vorerkrankungen und Komplikationen untersucht, um mögliche Zusammenhänge zwischen diesen Parametern und dem Bedarf für einen offenen Thorax aufzuzeigen.

Von allen untersuchten Variablen wurden 41 in dieser Studie deskriptiv beschrieben und statistisch ausgewertet. Insgesamt wurden an der Universitätsklinik Regensburg 28583 Eingriffe in der Abteilung für Herz-, Thorax- und herznahe Gefäßchirurgie durchgeführt. Die Prävalenz des OCM lag in unserer herzchirurgischen Abteilung bei 0,8% innerhalb des Untersuchungszeitraums. Im Vergleich zu einer Studie von Boeken et al., in der eine Prävalenz von 3,5 % ermittelt wurde, ist die Prävalenz in der vorliegenden Untersuchung niedriger.

Es wurden deutlich mehr Männer (n=176) als Frauen (n=56) eingeschlossen. Die Sterblichkeitsrate im Krankenhaus war bei den Frauen um etwa 20% höher (64,3%) als bei den Männern (44,8%). Eine höhere Sterblichkeit von Frauen nach herzchirurgischen Eingriffen wurde bereits in einer Metastudie von Dixon et al. 2021 beschrieben und bestätigte sich auch in unserer Studie (64). Die erhobenen Vorerkrankungen wirkten sich nicht signifikant auf die Krankenhaussterblichkeit aus.

Benötigten Patienten bereits präoperativ eine ECMO, war die Kliniksterblichkeit in der univariaten Analyse ebenfalls erhöht. Dies ist wahrscheinlich auf die erhöhte Blutungsneigung durch veränderte Gerinnungswerte während der ECMO-Therapie zurückzuführen (65). Eine

CABG-Operation als häufiger Routineeingriff geht mit einer geringen Wahrscheinlichkeit für ein OCM einher. Daher wurden weitere Operationen wie Kombinationseingriffe oder Herztransplantationen mit der alleinigen CABG-Operation verglichen und analysiert. Von den hier untersuchten Eingriffen ließ sich kein Unterschied in der Mortalität feststellen, was mit den Ergebnissen ähnlicher Studien übereinstimmt. Es wurde jedoch festgestellt, dass vor allem Re-Operationen und Notfalleingriffe im Vergleich zu elektiven Eingriffen mit einer höheren Inzidenz für ein OCM vergesellschaftet waren (28).

Die Entscheidung, ob ein OCM durchgeführt wird, fiel in den meisten Fällen bereits während oder zum Ende der Operation. Der Zeitpunkt für ein OCM als Therapieoption beeinflusste in unserer Studie nicht die Krankenhaussterblichkeit. Signifikant war jedoch die Indikation für ein OCM. In der univariaten Analyse waren Blutungskomplikationen und hämodynamische Instabilität verantwortlich für eine höhere Mortalität. Die Mortalitätsraten für das LCOS waren im Vergleich zu früheren Arbeiten (28,66) mit 73,9% etwa doppelt so hoch, und für Blutungskomplikationen mit 41,2% ebenfalls erhöht. Vergleichbare Daten wurden auch an universitären Zentren erhoben, weshalb die Schwere der Krankheitsbilder als vergleichbar angesehen werden kann. Der Grund für die höhere Mortalität liegt wahrscheinlich in der Auswahl des Patientenkollektivs. Die Gesamtmortalität in unserem Kollektiv war im ausgewählten Zeitraum mit 49,6% wesentlich höher als in zuvor beschriebenen Studien.

Signifikant höher war die Sterblichkeitsrate bei Patienten, die über 48 Stunden mit einem offenen Thorax therapiert werden mussten. In dieser Gruppe lag die Sterblichkeit bei 58,7%, verglichen mit 39,4% in der Gruppe, die weniger als 48 Stunden offen war. Gleichzeitig war der zusätzliche Antibiotikabedarf in der ersten Gruppe um etwa 14% höher. Wundinfektionen traten bei 10,4% (n=24) der Patienten auf. 80% aller konservativen Wundbehandlungen entfielen auf die Gruppe, die über 48 Stunden OCM benötigte. Ebenso waren 71,4% aller Patienten, die eine VAC-Therapie erhielten, in dieser Gruppe zu finden. Somit kann eine längere Liegedauer mit offenem Sternum mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für zusätzlichen Antibiotikabedarf assoziiert werden. Musste die Antibiotikatherapie eskaliert werden, war die Sterblichkeitsrate bei diesen Patienten signifikant erhöht. Interessanterweise gibt es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Liegedauer und einer erhöhten Rate an behandlungspflichtigen Wundinfektionen.

Ein prolongiertes Weaning von der maschinellen Beatmung, das länger als zwei Tage dauerte, sowie Patienten, die einer Tracheotomie bedurften, wiesen eine erhöhte Mortalität auf. Mussten Patienten während dieses Vorgangs wegen respiratorischer Insuffizienz erneut intubiert werden, stellte dies ebenfalls einen unabhängigen Risikofaktor für eine erhöhte Sterblichkeit

im Krankenhaus dar. Während sich viele Studien mit beatmungsassoziierten Komplikationen nach herzchirurgischen Eingriffen im Allgemeinen beschäftigen, gibt es kaum Untersuchungen, die das Beatmungswaning explizit bei OCM beleuchten. In diesem Bereich sollte in Zukunft noch genauer geforscht werden.

Ein hoher Katecholaminbedarf und dessen Auswirkung auf das Outcome der Patienten wurden bereits durch Boeken et al. beschrieben und bestätigt sich auch in unserer Studie (28). Patienten, die postoperativ hohe Dosen an kreislaufunterstützenden Medikamenten (Adrenalin, Noradrenalin, Vasopressin) benötigten, hatten ein erhöhtes Risiko, im Krankenhaus zu versterben. Es wäre interessant, bestimmte Kombinationen von Medikamenten und deren Einfluss auf die Sterblichkeit weiter zu untersuchen. Levy et al. verglichen beispielsweise bei Patienten im Schock eine alleinige Epinephringabe mit der Gabe einer Kombination von Dobutamin und Noradrenalin. Dabei stellten sie fest, dass der hämodynamische Effekt in etwa gleich war, in der Gruppe mit Epinephrin als Monotherapie jedoch ein Anstieg des Laktatspiegels und vermehrt Herzrhythmusstörungen auftraten (67).

Zur Unterstützung der Lungen- und Herz-Kreislauffunktion musste bei 58,3% der Patienten ein ECMO-System etabliert werden. Die Krankenhaussterblichkeit war bei diesen Patienten signifikant erhöht. Dies ist wahrscheinlich auf den ohnehin kardiopulmonal instabilen Zustand der Patienten und die aufwendige sowie komplikationsreiche Anwendung eines ECMO-Verfahrens zurückzuführen. Viele Studien beschäftigen sich mit dem Outcome von Patienten, die nach einem herzchirurgischen Eingriff eine ECMO benötigten, und beschreiben ebenfalls eine erhöhte Morbidität und Mortalität (68–70).

Die Nierenfunktion hatte einen großen Einfluss auf das Outcome der Patienten. Sowohl in univariaten als auch in multivariaten Regressionsanalysen wiesen postoperativ dialysepflichtige Patienten ein signifikant erhöhtes Risiko auf, im Krankenhaus zu versterben. Aufgrund der Konstellation aus Risikofaktoren des Patientenkollektivs sowie herzchirurgischen Operationstechniken wie der extrakorporalen Zirkulation sind akute Nierenschädigungen mit Dialysepflicht bei einer Prävalenz von 57,4% häufig. Daher ist es wichtig, eine akute Nierenschädigung früh zu erkennen und adäquat zu behandeln, da dadurch das Outcome der Patienten stark verbessert werden kann.

4.2 Limitationen

Wie jede wissenschaftliche Untersuchung unterliegt auch die vorliegende Studie bestimmten Limitationen, die bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden sollten. Aufgrund

des monozentrischen Studiendesigns konnten über einen Zeitraum von elf Jahren 230 Fälle ausgewertet werden. Zwar erlaubt dieser Umfang eine aussagekräftige Analyse, jedoch sind generalisierbare Aussagen nur eingeschränkt möglich.

Der retrospektive Charakter der Studie stellt sicher, dass auf umfangreiche klinische Routinedaten zurückgegriffen werden konnte. Gleichzeitig ist damit verbunden, dass zusätzliche spezifische Fragestellungen nur im Rahmen der vorhandenen Dokumentation beantwortet werden können. Eine Nachbeobachtung über den stationären Aufenthalt hinaus war nicht Teil des Studiendesigns, sodass Aussagen zur poststationären Behandlungseffektivität oder zur Lebensqualität der Patienten nicht getroffen werden können.

Die Untersuchung konzentrierte sich auf die im Krankenhaus dokumentierte Mortalität. Todesfälle nach Entlassung sowie das Langzeitüberleben nach OCM wurden nicht systematisch erfasst und bleiben daher außerhalb des Betrachtungsrahmens. Auch wurde der Tod als Studienendpunkt nicht weiter nach Todesursachen differenziert, da diese im Kontext der untersuchten Fragestellung nicht ausschlaggebend waren.

Zusätzliche kardiovaskuläre Risikofaktoren wie z. B. koronare Herzkrankheit, frühere kardiale Eingriffe, Schlaganfälle oder pAVK, aber auch Laborparameter wie Gesamtcholesterin-, Triglycerid-, HDL- oder LDL-Werte wurden nicht miteinbezogen. Diese Entscheidung erfolgte im Sinne einer fokussierten Analyse und vor dem Hintergrund des erheblichen Aufwands retrospektiver Datenerhebung in diesen Bereichen. Ebenso wurde bewusst auf eine Differenzierung zwischen elektiven und notfallmäßigen Eingriffen verzichtet, obwohl dieser Aspekt in der Literatur teils relevante Unterschiede hinsichtlich der OCM-Inzidenz zeigt (28,66).

Insgesamt ermöglichen die getroffenen methodischen Entscheidungen eine klare und praxisnahe Analyse innerhalb der gegebenen Rahmenbedingungen – liefern dabei aber auch Anknüpfungspunkte für zukünftige, ggf. prospektiv angelegte Studien.

5 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Patientenkollektiv von 230 Personen untersucht. Eingeschlossen wurden alle Patienten der herzchirurgischen Abteilung, die in einem Zeitraum von Januar 2010 bis November 2021 mit dem ICD-Code M96.80 stationär behandelt wurden. Der ICD-Code M96.80 steht für ein elektiv offen belassenes Sternum (delayed sternal closure, DSC) nach thoraxchirurgischem Eingriff. DSC ist ein etabliertes Verfahren zur Therapie von Komplikationen nach herzchirurgischen Eingriffen. Die häufigsten Indikationen für ein DSC waren Blutungskomplikationen (n=153; 66,5%), LCOS (n=46; 20%) und andere Gründe wie beispielsweise Schwellungen oder Infektionen (n=31; 13,5%). Patienten, welche Operationen an der Aorta in Kombination mit einem Klappenersatz oder einem koronaren Bypass benötigten, mussten sich am häufigsten einem DSC unterziehen. Bestimmte Vorerkrankungen, die innerhalb des Patientenkollektivs zu einer signifikant erhöhten Krankenhaussterblichkeit führen, konnten in unserer Studie nicht detektiert werden. Vor allem postoperative Komplikationen führten allerdings zu einer erhöhten Mortalität. War bei Patienten mit hämodynamischer Instabilität ein höherer Katecholaminbedarf oder sogar die Implantation eines ECMO-Systems notwendig, führten beide Therapieoptionen zu einer signifikant erhöhten Sterblichkeit. Ebenso war dies bei neu aufgetretener Dialysepflichtigkeit der Fall. Auch wenn das Ergebnis nicht signifikant war, kann bei einer erneuten Intubation nach stattgefundenem Weaning von einem negativen Einfluss auf das Outcome ausgegangen werden.

Ausschlaggebend für die Morbidität und Mortalität war die Liegedauer der Patienten mit offenem Brustkorb. Mussten Patienten über 48 Stunden mit offenem Brustkorb behandelt werden, traten vermehrt Komplikationen auf und eine höhere Krankenhaussterblichkeit war zu verzeichnen, weshalb stets ein schneller Verschluss des Sternums angestrebt werden sollte.

Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass ‚open chest management‘ und ‚delayed sternal closure‘ komplizierte Verfahren sind, die eine große herzchirurgische und intensivmedizinische Sorgfalt erfordern. Es ist wichtig Hämodynamik, Nierenfunktion, antiinfektive Therapie und Beatmungsentwöhnung engmaschig zu überwachen, um das Outcome der Patienten zu verbessern. Trotz möglicher Komplikationen sind diese Verfahren in bestimmten Fällen die einzige Möglichkeit um postoperativen Problemen wie ein kompromittiertes Herz oder unkontrollierbare Blutungen zu bewältigen und bieten somit eine lebensrettende Option für diese kritischen Situationen.

6 Anhang

6.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Prädiktive Faktoren – Univariate Analyse präoperativer Variablen	30
Tabelle 2. Prädiktive Faktoren – Univariate Analyse intraoperativer Variablen.....	31
Tabelle 3. Prädiktive Faktoren – Univariate Analyse postoperativer Variablen.....	32
Tabelle 4. Prädiktive Faktoren – Multivariate Analyse signifikanter Variablen	33

6.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Open Chest Management auf der herzchirurgischen Intensivstation. <i>Quelle: Eigene Aufnahme</i>	17
Abbildung 2: Die häufigsten Risikofaktoren bei Patienten, die mit OCM behandelt worden sind. OCM = Open Chest Management.	26
Abbildung 3: Die häufigsten Indikationen zur Behandlung mit OCM. OCM = Open Chest Management.	27

7 Literaturverzeichnis

1. Mills KT, Bundy JD, Kelly TN, Reed JE, Kearney PM, Reynolds K, u. a. Global Disparities of Hypertension Prevalence and Control: A Systematic Analysis of Population-Based Studies From 90 Countries. *Circulation*. 9. August 2016;134(6):441–50.
2. Lapage KG, Wouters PF. The patient with hypertension undergoing surgery. *Curr Opin Anaesthesiol*. Juni 2016;29(3):397–402.
3. Kearney PM, Whelton M, Reynolds K, Muntner P, Whelton PK, He J. Global burden of hypertension: analysis of worldwide data. 2005;365:7.
4. Shaw JE, Sicree RA, Zimmet PZ. Global estimates of the prevalence of diabetes for 2010 and 2030. *Diabetes Res Clin Pract*. Januar 2010;87(1):4–14.
5. Matheus AS de M, Tannus LRM, Cobas RA, Palma CCS, Negrato CA, Gomes M de B. Impact of Diabetes on Cardiovascular Disease: An Update. *Int J Hypertens*. 2013;2013:1–15.
6. s-2003-37280.pdf.
7. Seidell JC, Halberstadt J. The Global Burden of Obesity and the Challenges of Prevention. *Ann Nutr Metab*. 2015;66(Suppl. 2):7–12.
8. Stevens GA, Singh GM, Lu Y, Danaei G, Lin JK, Finucane MM, u. a. National, regional, and global trends in adult overweight and obesity prevalences. *Popul Health Metr*. Dezember 2012;10(1):22.
9. Chooi YC, Ding C, Magkos F. The epidemiology of obesity. *Metabolism*. März 2019;92:6–10.
10. Ortega FB, Lavie CJ, Blair SN. Obesity and Cardiovascular Disease. :19.
11. Huttunen R, Syrjänen J. Obesity and the risk and outcome of infection. *Int J Obes*. März 2013;37(3):333–40.
12. Spatial, temporal, and demographic patterns in prevalence of smoking tobacco use and attributable disease burden in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis from the Global Burden of Disease Study 2019 | Elsevier Enhanced Reader [Internet]. [zitiert 29. August 2022]. Verfügbar unter: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0140673621011697?token=F1DFB92A8CEAB6676FCC40454DB7DC431D3FE4FC3AAB2DB28B43AB8012F56E2F78EAB5C93C884B3BE287FAA71B74B4DB&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220829144625>
13. Kondo T, Nakano Y, Adachi S, Murohara T. Effects of Tobacco Smoking on Cardiovascular Disease. *Circ J*. 25. September 2019;83(10):1980–5.
14. Duncan MS, Freiberg MS, Greevy RA, Kundu S, Vasan RS, Tindle HA. Association of

Smoking Cessation With Subsequent Risk of Cardiovascular Disease. *JAMA*. 20. August 2019;322(7):642.

15. Hawn MT, Houston TK, Campagna EJ, Graham LA, Singh J, Bishop M, u. a. The Attributable Risk of Smoking on Surgical Complications. *Ann Surg*. Dezember 2011;254(6):914–20.

16. Adeloye D, Chua S, Lee C, Basquill C, Papan A, Theodoratou E, u. a. Global and regional estimates of COPD prevalence: Systematic review and meta-analysis. *J Glob Health*. Dezember 2015;5(2):020415.

17. Schneider C, Bothner U, Jick SS, Meier CR. Chronic obstructive pulmonary disease and the risk of cardiovascular diseases. *Eur J Epidemiol*. April 2010;25(4):253–60.

18. André S, Conde B, Fragoso E, Boléo-Tomé JP, Areias V, Cardoso J. COPD and Cardiovascular Disease. *Pulmonology*. Mai 2019;25(3):168–76.

19. Ried M, Unger P, Puehler T, Haneya A, Schmid C, Diez C. Mild-to-Moderate COPD as a Risk Factor for Increased 30-Day Mortality in Cardiac Surgery. *Thorac Cardiovasc Surg*. Oktober 2010;58(07):387–91.

20. Xie Y, Bowe B, Mokdad AH, Xian H, Yan Y, Li T, u. a. Analysis of the Global Burden of Disease study highlights the global, regional, and national trends of chronic kidney disease epidemiology from 1990 to 2016. *Kidney Int*. September 2018;94(3):567–81.

21. Gansevoort RT, Correa-Rotter R, Hemmelgarn BR, Jafar TH, Heerspink HJL, Mann JF, u. a. Chronic kidney disease and cardiovascular risk: epidemiology, mechanisms, and prevention. *The Lancet*. Juli 2013;382(9889):339–52.

22. Fernando M, Paterson HS, Byth K, Robinson BM, Wolfenden H, Gracey D, u. a. Outcomes of cardiac surgery in chronic kidney disease. *J Thorac Cardiovasc Surg*. November 2014;148(5):2167–73.

23. Moon AM, Singal AG, Tapper EB. Contemporary Epidemiology of Chronic Liver Disease and Cirrhosis. *Clin Gastroenterol Hepatol*. November 2020;18(12):2650–66.

24. Arif R, Seppelt P, Schwill S, Kojic D, Ghodsizad A, Ruhparwar A, u. a. Predictive Risk Factors for Patients With Cirrhosis Undergoing Heart Surgery. *Ann Thorac Surg*. Dezember 2012;94(6):1947–52.

25. reza Sarzaem, M. (2011). Analysis of different aspects of delayed sternal closure in pediatrics and adults: a review. *Multidisciplinary Cardiovascular Annals*, 3(2). [Internet]. [zitiert 6. September 2022]. Verfügbar unter: <https://brieflands.com/articles/mca-8746.pdf>

26. Park CB, Suri RM, Burkhart HM, Greason KL, Dearani JA, Schaff HV, u. a. Identifying patients at particular risk of injury during repeat sternotomy: Analysis of 2555 cardiac

reoperations. *J Thorac Cardiovasc Surg.* November 2010;140(5):1028–35.

27. Hawkes AL, Nowak M, Bidstrup B, Speare R. Outcomes of coronary artery bypass graft surgery. *Vasc Health Risk Manag.* Dezember 2006;2(4):477–84.

28. Preeshagul I, Gharbaran R, Jeong KH, Abdel-Razek A, Lee LY, Elman E, u. a. Potential biomarkers for predicting outcomes in CABG cardiothoracic surgeries. *J Cardiothorac Surg.* Dezember 2013;8(1):176.

29. Sonny A, Joseph L. Improving CABG Mortality Further. *J Am Coll Cardiol.* Juli 2021;78(2):123–5.

30. Kurki TS, Kataja M, Reich DL. Emergency and elective coronary artery bypass grafting: comparisons of risk profiles, postoperative outcomes, and resource requirements. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* Oktober 2003;17(5):594–7.

31. Scrutinio D, Giannuzzi P. Comorbidity in patients undergoing coronary artery bypass graft surgery: impact on outcome and implications for cardiac rehabilitation. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil.* August 2008;15(4):379–85.

32. Boeken U, Assmann A, Mehdiani A, Akhyari P, Lichtenberg A. Open chest management after cardiac operations: outcome and timing of delayed sternal closure. *Thorac Surg.* 2011;5.

33. Boodhwani M, El Khoury G. Aortic Valve Repair: Indications and Outcomes. *Curr Cardiol Rep.* Juni 2014;16(6):490.

34. Stout KK, Otto CM. Indications for Aortic Valve Replacement in Aortic Stenosis. *J Intensive Care Med.* Januar 2007;22(1):14–25.

35. Smith CR, Svensson LG, Makkar RR, Thourani VH, Herrmann HC, Pocock SJ. Transcatheter versus Surgical Aortic-Valve Replacement in High-Risk Patients. *N Engl J Med.* 2011;

36. Holzhey D, Mohr FW, Walther T, Möllmann H, Beckmann A, Kötting J, u. a. Current Results of Surgical Aortic Valve Replacement: Insights From the German Aortic Valve Registry. *Ann Thorac Surg.* Februar 2016;101(2):658–66.

37. Tjang YS, Van Hees Y, Körfer R, Grobbee DE, Van Der Heijden GJMG. Predictors of mortality after aortic valve replacement. *Eur J Cardiothorac Surg.* September 2007;32(3):469–74.

38. Van Der Merwe J, Casselman F. Mitral Valve Replacement—Current and Future Perspectives. *Open J Cardiovasc Surg.* 1. Januar 2017;9:117906521771902.

39. Hammermeister K, Sethi GK, Henderson WG, Grover FL, Oprian C, Rahimtoola SH. Outcomes 15 years after valve replacement with a mechanical versus a bioprosthetic valve:

final report of the Veterans Affairs randomized trial. *J Am Coll Cardiol.* Oktober 2000;36(4):1152–8.

40. Skoglund Larsson L, Ljungberg J, Johansson L, Carlberg B, Söderberg S, Brunström M. Survival after surgery of the ascending aorta: a matched cohort study. *Eur J Cardiothorac Surg.* 3. August 2022;62(3):ezac161.
41. Yamasaki M, Yoshino H, Kuniyama T, Akutsu K, Shimokawa T, Ogino H, u. a. Risk analysis for early mortality in emergency acute type A aortic dissection surgery: experience of Tokyo Acute Aortic Super-network. *Eur J Cardiothorac Surg.* 22. Oktober 2021;60(4):957–64.
42. Ouzounian M, Tadros RO, Svensson LG, Lyden SP, Oderich GS, Coselli JS. Thoracoabdominal Aortic Disease and Repair. *J Am Coll Cardiol.* August 2022;80(8):845–56.
43. Sunavsky J, Fujita B, Ensminger S, Börgermann J, Morshuis M, Fuchs U, u. a. Predictors of failure after high urgent listing for a heart transplant†. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 1. Dezember 2018;27(6):950–7.
44. Deutscher Herzbericht 2022.
45. Riahi M, Tomatis LA, Schlosser RJ, Bertolozzi E, Johnston DW. Cardiac Compression due to Closure of the Median Sternotomy in Open Heart Surgery. *Chest.* Januar 1975;67(1):113–4.
46. Bakaeen FG, Haddad O, Ibrahim M, Pasadyn SR, Germano E, Mok S, u. a. Advances in managing the noninfected open chest after cardiac surgery: Negative-pressure wound therapy. *J Thorac Cardiovasc Surg.* Mai 2019;157(5):1891-1903.e9.
47. Ball L, Costantino F, Pelosi P. Postoperative complications of patients undergoing cardiac surgery. 2016;22(4):7.
48. Weissman C. Pulmonary Complications After Cardiac Surgery. :27.
49. Lode H, Raffenberg M, Erbes R, Geerdes-Fenge H, Mauch H. Nosocomial pneumonia: epidemiology, pathogenesis, diagnosis, treatment and prevention: *Curr Opin Infect Dis.* August 2000;13(4):377–84.
50. He S, Chen B, Li W, Yan J, Chen L, Wang X, u. a. Ventilator-associated pneumonia after cardiac surgery: A meta-analysis and systematic review. *J Thorac Cardiovasc Surg.* Dezember 2014;148(6):3148-3155.e5.
51. Urschel JD, Parrott JC, Horan TA, Unruh HW. Pneumothorax complicating cardiac surgery. *J Cardiovasc Surg (Torino).* August 1992;33(4):492–5.
52. Douglas JM, Spaniol S. Prevention of postoperative pneumothorax in patients undergoing cardiac surgery. *Am J Surg.* Mai 2002;183(5):551–3.
53. Ashbaugh DavidG, Boyd Bigelow D, Petty ThomasL, Levine BernardE. ACUTE

RESPIRATORY DISTRESS IN ADULTS. Orig Publ Vol 2 Issue 7511. 12. August 1967;290(7511):319–23.

54. Rong LQ, Di Franco A, Gaudino M. Acute respiratory distress syndrome after cardiac surgery. *J Thorac Dis.* Oktober 2016;8(10):E1177–86.
55. Josa M, Siouffi SY, Silverman AB, Barsamian EM, Khuri SF, Sharma GVRK. Pulmonary embolism after cardiac surgery. *J Am Coll Cardiol.* März 1993;21(4):990–6.
56. Shammass NW. Pulmonary embolus after coronary artery bypass surgery: A review of the literature. *Clin Cardiol.* September 2000;23(9):637–44.
57. Aguirre VJ, Sinha P, Zimmet A, Lee GA, Kwa L, Rosenfeldt F. Phrenic Nerve Injury During Cardiac Surgery: Mechanisms, Management and Prevention. *Heart Lung Circ.* November 2013;22(11):895–902.
58. Lante W, Markewitz A. Therapie des Low-cardiac-output-Syndroms nach herzchirurgischen Operationen. *Z Für Herz-Thorax- Gefäßchirurgie.* Juni 2011;25(3):159–67.
59. Carmona P, Mateo E, Casanovas I, Peña JJ, Llagunes J, Aguar F, u. a. Management of Cardiac Tamponade After Cardiac Surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* April 2012;26(2):302–11.
60. Bautista-Hernandez V, Karamanlidis G, D. McCully J, J. del Nido P. Cellular and Molecular Mechanisms of Low Cardiac Output Syndrome after Pediatric Cardiac Surgery. *Curr Vasc Pharmacol.* 26. November 2015;14(1):5–13.
61. Sanfilippo F, Knight JB, Scolletta S, Santonocito C, Pastore F, Lorini FL, u. a. Levosimendan for patients with severely reduced left ventricular systolic function and/or low cardiac output syndrome undergoing cardiac surgery: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care.* Dezember 2017;21(1):252.
62. Price S. ?Tamponade? following cardiac surgery: terminology and echocardiography may both mislead. *Eur J Cardiothorac Surg.* Dezember 2004;26(6):1156–60.
63. Ellenbroek DFJ, van Kessel L, Compagner W, Brouwer T, Bouwman RA, van Straten BAHM, u. a. Diagnostic performance of echocardiography to predict cardiac tamponade after cardiac surgery. *Eur J Cardiothorac Surg.* 15. Juni 2022;62(1):ezab468.
64. Dyke C, Aronson S, Dietrich W, Hofmann A, Karkouti K, Levi M, u. a. Universal definition of perioperative bleeding in adult cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg.* Mai 2014;147(5):1458-1463.e1.
65. Despotis G, Avidan M, Eby C. Prediction and management of bleeding in cardiac surgery. *J Thromb Haemost.* Juli 2009;7:111–7.
66. Petrou A, Tzimas P, Siminelakis S. Massive bleeding in cardiac surgery. Definitions,

predictors and challenges. Hippokratia. 2016;20(3):179–86.

67. Podgoreanu MV, White WD, Morris RW, Mathew JP, Stafford-Smith M, Welsby IJ, u. a. Inflammatory Gene Polymorphisms and Risk of Postoperative Myocardial Infarction After Cardiac Surgery. *Circulation* [Internet]. 4. Juli 2006 [zitiert 30. September 2022];114(1_supplement). Verfügbar unter: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/CIRCULATIONAHA.105.001032>
68. Passannante AN. Prevention of atrial fibrillation after cardiac surgery. *Curr Opin Anaesthesiol*. Februar 2011;24(1):58–63.
69. O’Neal JB, Shaw AD, Billings FT. Acute kidney injury following cardiac surgery: current understanding and future directions. *Crit Care*. Dezember 2016;20(1):187.
70. Lopez-Delgado JC, Esteve F, Torrado H, Rodríguez-Castro D, Carrio ML, Farrero E, u. a. Influence of acute kidney injury on short- and long-term outcomes in patients undergoing cardiac surgery: risk factors and prognostic value of a modified RIFLE classification. *Crit Care*. 2013;17(6):R293.
71. Kuitunen A, Vento A, Suojaranta-Ylinen R, Pettilä V. Acute Renal Failure After Cardiac Surgery: Evaluation of the RIFLE Classification. *Ann Thorac Surg*. Februar 2006;81(2):542–6.
72. Söderquist B. Surgical site infections in cardiac surgery: microbiology. *APMIS*. September 2007;115(9):1008–11.
73. Lemaignan A, Birgand G, Ghodhbane W, Alkhoder S, Lolom I, Belorgey S, u. a. Sternal wound infection after cardiac surgery: incidence and risk factors according to clinical presentation. *Clin Microbiol Infect*. Juli 2015;21(7):674.e11-674.e18.
74. Jonkers D. Prevalence of 90-days postoperative wound infections after cardiac surgery. *Eur J Cardiothorac Surg*. Januar 2003;23(1):97–102.
75. Ga B. Postoperative mediastinitis in cardiac surgery — microbiology and pathogenesisq. *Thorac Surg*. 2002;
76. Tegnell A, Arén C, Öhman L. Coagulase-negative staphylococci and sternal infections after cardiac operation. *Ann Thorac Surg*. 2000;69(4):1104–9.
77. Lepelletier D, Bourigault C, Roussel JC, Lasserre C, Leclère B, Corvec S, u. a. Epidemiology and prevention of surgical site infections after cardiac surgery. *Médecine Mal Infect*. Oktober 2013;43(10):403–9.
78. Koster S, Hensens AG, Schuurmans MJ, van der Palen J. Risk Factors of Delirium after Cardiac Surgery: A Systematic Review. *Eur J Cardiovasc Nurs*. Dezember 2011;10(4):197–204.

Literaturverzeichnis

79. Andersson B, Nilsson J, Brandt J, Höglund P, Andersson R. Gastrointestinal complications after cardiac surgery. Br J Surg. 26. Februar 2005;92(3):326–33.
80. Rodriguez R, Robich MP, Plate JF, Trooskin SZ, Sellke FW. Gastrointestinal Complications following Cardiac Surgery: A Comprehensive Review. J Card Surg. März 2010;25(2):188–97.

8 Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde an der Klinik und Poliklinik für Herz-, Thorax- und herznahe Gefäßchirurgie am Universitätsklinikum Regensburg unter der Leitung von Prof. Dr. Christof Schmid gefertigt.

Mein besonderer Dank gilt PD Dr. Zdeněk Provazník für seine fortwährende Unterstützung und hervorragende Betreuung während des gesamten Entstehungsprozesses dieser Dissertation. Durch wertvolle Denkanstöße sowie seine fachliche und persönliche Begleitung hat er maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Ebenso danke ich Prof. Dr. Bernhard Flörchinger für die Überlassung des Dissertationsthemas, seinen professionellen Rat und seine stete Motivation.

Meiner Familie und meinen Freunden gilt mein herzlicher Dank. Besonders hervorheben möchte ich meinen Bruder, der mir auf meinem gesamten Lebensweg in allen Belangen mit Rat und Tat zur Seite stand. Es bedeutet mir viel, ihn an meiner Seite zu wissen.

Zum Schluss möchte ich mich bei der Person bedanken, die mich vom ersten Tag meines Studiums an durch alle Höhen und Tiefen begleitet hat – die jeden Schritt mit mir gegangen ist und mir auch während der Entstehung dieser Dissertation stets Mut und Zuversicht gegeben hat. Ohne meine Frau wäre ich heute nicht da, wo ich bin.

Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet. Insbesondere habe ich nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeit erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation steht. Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Thyrnau, 11.02.2026

Christopher Putz