

Aus dem
Akademischen Lehrkrankenhaus
Klinikum Stuttgart
Herzzentrum Klinikum Stuttgart

**Evaluation verschiedener Techniken zur
Reimplantation der supraaortalen Gefäße
während der Frozen-Elephant-Trunk-Prozedur**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen**

**vorgelegt von
Mladek, Sarah
2025**

Dekan: Professor Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter: Professor Dr. C. Schlensak

2. Berichterstatter: Professor Dr. S. Beckert

Tag der Disputation: 26.11.2025

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	7
1 Einleitung	8
1.1 Anatomie der Aorta	8
1.2 Pathologien der Aorta	9
1.2.1 Aortendissektion	9
1.2.2 Aortenaneurysma	11
1.2.3 Risikofaktoren thorakaler Aortenpathologien	12
1.2.4 Klinisches Bild und Komplikationen	12
1.3 Therapie	13
1.3.1 Historischer Exkurs	13
1.3.2 Allgemein	15
1.3.3 Typ-A-Aortendissektion	15
1.3.4 Typ-B-Aortendissektion	16
1.3.5 Aortenaneurysma	17
1.3.6 Frozen-Elephant-Trunk-Technik	17
1.3.7 Management der supraaortalen Gefäße	18
1.4 Zielsetzung	20
2 Material und Methoden	21
2.1 Patientenkollektiv	21
2.2 Datenerhebung	21
2.3 Follow-up	23
2.4 Operationstechnik	23
2.5 Diagnostik	26
2.6 Statistische Auswertung	26
3 Ergebnisse	28
3.1 Präoperative Patientendaten	28

3.2	Intraoperative Patientendaten	33
3.3	Postoperative Patientendaten	38
3.4	Überlebenswahrscheinlichkeiten	41
3.4.1	Risikofaktoren für Mortalität	46
3.5	Lebensqualität	51
3.6	Postoperative neurologische Defizite	52
3.6.1	Einfluss perioperativer Faktoren	52
3.6.2	Risikofaktoren für permanenten und transienten Apoplex	56
4	Diskussion	58
4.1	Allgemein	58
4.1.1	Überlebenswahrscheinlichkeiten	58
4.1.2	Risikofaktor Mortalität	60
4.2	Neurologisches Outcome	60
4.2.1	Risikofaktor Apoplex	61
4.3	Reimplantationstechniken	62
4.3.1	Inseltechnik komplett	62
4.3.2	Inseltechnik partiell	64
4.3.3	Komplexe Transposition	65
4.4	Kanülierungsart	67
4.5	Studienlimitationen	68
4.6	Fazit	68
5	Zusammenfassung	71
6	Literaturverzeichnis	73
7	Erklärung zum Eigenanteil	81
8	Danksagung	82

Abkürzungsverzeichnis

Aa.....	<i>Arteriae</i>
ACI.....	<i>A. carotis interna</i>
AK.....	<i>Aortenklappe</i>
AKE.....	<i>Aortenklappenersatz</i>
AKI.....	<i>Aortenklappeninsuffizienz</i>
cCT.....	<i>kraniale Computertomographie</i>
com.....	<i>communis</i>
COPD.....	<i>chronisch obstruktive Lungenerkrankung</i>
CPR.....	<i>kardiopulmonale Reanimation</i>
CT.....	<i>Computertomographie</i>
dex.....	<i>dextra</i>
ECMO.....	<i>Extrakorporale Membranoxygenierung</i>
EF.....	<i>Ejektionsfraktion</i>
EKG.....	<i>Elektrokardiogramm</i>
EVAR.....	<i>endovaskuläre Aortenreparatur</i>
FET.....	<i>Frozen-Elephant-Trunk</i>
FEVAR.....	<i>fenestrierte endovaskuläre Aortenreparatur</i>
GFR.....	<i>glomeruläre Filtrationsrate</i>
HLM.....	<i>Herz-Lungen-Maschine</i>
KHK.....	<i>koronare Herzkrankheit</i>
LSA.....	<i>left subclavian artery/ A. subclavia sinistra</i>
NIRS.....	<i>Nahinfrarotspektroskopie</i>
NYHA.....	<i>New York Heart Association</i>
pAVK.....	<i>periphere arterielle Verschlusskrankheit</i>
perm.....	<i>permanent</i>
RF.....	<i>Risikofaktoren</i>
RV.....	<i>rechter Ventrikel</i>
TEE.....	<i>transösophageale Echokardiographie</i>
TEVAR.....	<i>thorakale endovaskuläre Aortenreparatur</i>
trans.....	<i>transient</i>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Techniken zur Reimplantation der supraaortalen Gefäße während der Frozen-Elephant-Trunk-Prozedur.....	25
Abbildung 2: Überlebenswahrscheinlichkeit aller Patienten.....	41
Abbildung 3: Überlebenswahrscheinlichkeiten der Patienten pro Altersgruppe.....	42
Abbildung 4: Überlebenswahrscheinlichkeit der Patienten in Abhängigkeit von der Reimplantationstechnik der supraaortalen Gefäße	43
Abbildung 5: Überlebenswahrscheinlichkeit der Patienten in Abhängigkeit von der Aortenpathologie	44
Abbildung 6: Überlebenswahrscheinlichkeit der Patienten in Abhängigkeit von der Kanülierungsstelle	45
Abbildung 7: Überlebenswahrscheinlichkeit der Patienten in Abhängigkeit vom Geschlecht	46
Abbildung 8: Überlebenswahrscheinlichkeit der Patienten mit und ohne zerebrale Malperfusion.....	47
Abbildung 9: Überlebenswahrscheinlichkeit der Patienten in Abhängigkeit von der Dauer der Abklemmzeit.....	47
Abbildung 10: Überlebenswahrscheinlichkeit der Patienten in Abhängigkeit von der Dauer der antegraden Hirnperfusion	48
Abbildung 11: Überlebenswahrscheinlichkeit der Patienten in Abhängigkeit von der Dauer der distalen Ischämie	48
Abbildung 12: Überlebenswahrscheinlichkeit der Patienten in Abhängigkeit von der Lokalisation der distalen Anastomose.....	49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: präoperative Patientencharakteristika	29
Tabelle 2: präoperative kardiovaskuläre Charakteristika	31
Tabelle 3: präoperative neurologische Charakteristika	32
Tabelle 4: Aortenpathologien	33
Tabelle 5: Operationscharakteristika	35
Tabelle 6: Reimplantationstechniken supraaortaler Gefäße	36
Tabelle 7: Kanülierungstechnik	37
Tabelle 8: postoperative Ergebnisse und Komplikationen	39
Tabelle 9: Follow-up Daten	40
Tabelle 10: Einflussfaktoren auf die Mortalität	50
Tabelle 11: Einfluss verschiedener Kanülierungsarten, Aortenpathologien und Reimplantationstechniken auf die Lebensqualität	51
Tabelle 12: Einfluss der Reimplantationstechniken auf die postoperative Neurologie..	52
Tabelle 13: Vergleich präoperativer und postoperativer neurologischer Defizite	53
Tabelle 14: Einfluss der Kanülierungsstelle auf die postoperative Neurologie	54
Tabelle 15: Einfluss der Dauer der antegraden Hirnperfusion auf die postoperative Neurologie	54
Tabelle 16: Einfluss der Lokalisation der distalen Anastomose auf die postoperative Neurologie	55
Tabelle 17: Einfluss der Dauer der distalen Ischämie auf die postoperative Neurologie	55
Tabelle 18: Einflussfaktoren auf einen Apoplex	56

1 Einleitung

1.1 Anatomie der Aorta

Die Aorta ist das größte Gefäß des menschlichen Körpers und transportiert das oxygenierte Blut vom Herzen in die Peripherie. Die Aorta wird unterteilt in die Aorta ascendens, den Arcus aortae und die Aorta descendens, welche sich in einen thorakalen und einen abdominalen Teil gliedert.

Die 5-6 cm lange Aorta ascendens entspringt aus der linken Herzkammer und erstreckt sich bis zum Abgang des Truncus brachiocephalicus. In diesem Abschnitt verlassen die Arteriae coronariae dextra und sinistra die Aorta ascendens im Sinus aortae.

Der nach links und dorsal gebogen verlaufende Arcus aortae gibt an seiner Konvexseite die supraaortalen Gefäße, den Truncus brachiocephalicus, die A. carotis communis sinistra und die A. subclavia sinistra (left subclavian artery: LSA) ab. Diese sind besonders wichtig für die arterielle Versorgung des Kopfes und der Arme. Der Aortenbogen wird hinsichtlich einer Stentbehandlung in 4 Landezonen nach Ishimaru eingeteilt. Dabei befindet sich die Zone 0 an der Aorta ascendens bis zur distalen Gefäßwand des Truncus brachiocephalicus, die Zone 1 erstreckt sich anschließend bis zur distalen Gefäßwand der A. carotis communis sinistra. Weiter bis zur distalen Wand der A. subclavia sinistra schließt sich die Zone 2 an. Die Zone 3 erstreckt sich bis zum Aortenisthmus, dem Übergang des Aortenbogens in die Aorta descendens, und die weitere distale Aorta wird als Zone 4 definiert. (Mitchell et al., 2002)

Der sich nach dem Aortenbogen anschließende Teil der Aorta wird als Aorta descendens bezeichnet und setzt sich aus einem im Brustraum verlaufenden thorakalen Teil und ab dem Durchtritt durch das Zwerchfell abdominalen Teil zusammen. Aus der thorakalen Aorta entspringen zahlreiche kleine viszerale Äste zur Versorgung der umliegenden Strukturen. Der Durchmesser der thorakalen Aorta beträgt ca. 3 cm, wobei er je nach Gewicht, Körpergröße, Alter, Geschlecht und der Messlokalisation variieren kann.

Die dreischichtige Aorta besteht aus einer innenliegenden Endothelschicht, der Intima, daran schließt sich die Media und die Externa an. Die Media besteht je nach Lokalisation aus Muskelgewebe und elastischen Fasern. Diese sorgen herznah mit ihrer

Windkesselfunktion für einen kontinuierlichen Blutfluss. Nach außen hin wird die Aorta von der Externa begrenzt und mit dieser in der Umgebung verankert.

1.2 Pathologien der Aorta

1.2.1 Aortendissektion

Ätiologie und Pathogenese

Eine Aortendissektion beschreibt im Allgemeinen einen Einriss der Intima der Aorta, welcher zu einer intramuralen Einblutung und nachfolgender Aufspaltung der Wandschichten führen kann. Dabei wird die Degeneration der Media in der Aorta als Grundlage zur Entstehung einer Dissektion angesehen (Wheat, 1980).

Zwei verschiedene Mechanismen können dabei zur Entstehung einer Dissektion führen. Häufig kommt es zu einem Intima Einriss, welcher als „Entry“ einen Blutfluss in die degenerierte Media erlaubt. Der dabei entstehende blutgefüllte Hohlraum, welcher über die Dissektionsmembran von dem wahren Lumen der Aorta abgetrennt ist, wird als falsches Lumen bezeichnet. Dieses kann sich weiter nach proximal und distal ausbreiten und über einen zweiten Einriss in der Intima, dem „Reentry“, wieder in das wahre Lumen der Aorta münden. Eine Ausbreitung der Dissektion kann auch zu einer Beteiligung der abgehenden Gefäße führen und damit zerebrale, mesenteriale und kardiale Ischämien hervorrufen (Patel and Arora, 2008).

Ein alternativer Entstehungsmechanismus basiert auf dem Vorhandensein von Aortenulcera und Wandhämatomen der Media. Diese entstehen durch eine primäre Ruptur der Vasa vasorum und können sich in Folge nach proximal und distal ausbreiten. Charakteristisch für diesen Entstehungsmechanismus ist das Fehlen eines Intima Einrisses (Patel and Arora, 2008).

Inzidenz und Mortalität

Mit einer Inzidenz von geschätzt 6 pro 100.000 Personen pro Jahr zählen die Aortendissektionen zu einer der häufigsten akuten Aortenpathologien. Die Häufigkeit ist mit dem Patientenalter steigend und häufiger dem männlichen Geschlecht mit einem mittleren Alter von 63 Jahren zuzuordnen (Eggebrecht and European Society, 2014). Die akute Aortendissektion zählt zu einem der dringlichsten Notfälle in der

Herzchirurgie. Aufgrund der hohen Mortalitätsraten unbehandelter Dissektionen von 1 – 2 % pro Stunde ist eine schnelle Diagnostik und Therapie notwendig (Wheat, 1987, Roberts, 1981, Vecht et al., 1980, Chavanon et al., 2011, Harris et al., 2011).

Klassifikation

Thorakale Aortendissektionen lassen sich anhand ihrer Lokalisation, Ausdehnung und ihrer Zeitdauer seit Symptombeginn klassifizieren.

Die zwei anatomischen Klassifikationssysteme nach DeBakey und Stanford teilen die Dissektionen anhand der betroffenen Aortenabschnitte ein und spielen hinsichtlich der Klinik und Therapie eine wichtige Rolle. DeBakey unterteilt Dissektionen anhand der Lokalisation ihres Intimaeinrisses und ihrer Ausdehnung in drei Typen (DeBakey et al., 1982).

Die auch in der vorliegenden Dissertationsschrift angewandte heute gebräuchlichere Klassifikation nach Stanford unterteilt Dissektionen in einen Typ A und einen Typ B. Zu einer Typ-A-Dissektion zählen alle Dissektionen, welche, unabhängig von der distalen Ausdehnung oder dem initialen Entry, die Aorta ascendens einschließen. Typ-B-Dissektionen sind alle Dissektionen zuzuordnen, die distal des Abgangs der A. subclavia sinistra zu liegen kommen und die Aorta descendens betreffen (Daily et al., 1970). Ein weiterer Non-A-/Non-B-Typ wurde 1994 durch von Segesser et al. vorgestellt und beinhaltet Dissektionen, die den Aortenbogen betreffen, unabhängig davon, ob das primäre Entry im Aortenbogen direkt oder der Aorta descendens liegt (von Segesser et al., 1994).

Eine akute Aortendissektion liegt vor, sofern die Diagnose innerhalb von 14 Tagen nach Symptombeginn gestellt wird. Eine subakute Phase im Zeitraum zwischen 15 und 90 Tagen schließt sich an. Ein Überleben der Patienten über diesen Zeitraum hinaus wird als chronische Aortendissektion definiert (Hiratzka et al., 2010, Lombardi et al., 2020). Eine Unterteilung in akute und chronische Dissektionen ist hinsichtlich der deutlich erhöhten Mortalität einer akuten Dissektion innerhalb der ersten zwei Wochen nach Symptombeginn von großer Bedeutung (Hirst et al., 1958).

1.2.2 Aortenaneurysma

Ätiologie und Pathogenese

Ein Aneurysma beschreibt eine permanente, lokale Dilatation aller drei Wandschichten einer Arterie auf einen um mindestens 50% vergrößerten als normalerweise zu erwartenden Durchmesser (Kortmann, 2007).

Die Größenzunahme des Durchmessers eines Aneurysmas beträgt dabei durchschnittlich etwa 1 mm pro Jahr (Elefteriades and Farkas, 2010, Coady et al., 1999). Der zunehmende Aortendurchmesser hat einen entscheidenden Einfluss auf das Risiko für lebensbedrohliche aortale Komplikationen, wie einer akuten Aortendissektion oder Ruptur der Aorta. Ab einem Durchmesser der thorakalen Aorta descendens von über 60 mm steigt das Risiko einer Aortenruptur oder Aortendissektion auf 6,9% pro Jahr (Davies et al., 2002).

Das Aortenaneurysma entsteht vorwiegend aufgrund atherosklerotisch-degenerativ veränderter Gefäßwände. Diese führen zu veränderten Blutflüssen und Kräfteverteilungen in der Aorta, sodass eine Aussackung der Gefäßwand entstehen kann (Kotelis et al., 2012). Wie durch das Laplace-Gesetz beschrieben, führen vergrößerte Durchmesser zu einer proportional erhöhten Spannung auf die Aortenwand, was zu einer immer größer werdenden Aussackung führt. Weitere pathologische Faktoren zur Entstehung eines Aortenaneurysmas können hereditärer, inflammatorischer und infektiöser Art sein (Kotelis et al., 2012).

Inzidenz und Mortalität

Das thorakale Aortenaneurysma ist die häufigste Pathologie der thorakalen Aorta und zeigt eine steigende Inzidenz von 10,4 Fällen pro 100.000 Einwohner pro Jahr. Im Jahr 2018 waren über 10.000 Tote in Amerika auf Aortenaneurysmata zurückzuführen (Kotelis et al., 2012, Senser et al., 2021).

Patienten mit einem Aortenaneurysma zeigen in 95% der Fälle einen asymptomatischen Verlauf bis zum Zeitpunkt einer Ruptur oder Dissektion. Dadurch können plötzlich sehr gefürchtete und schwerwiegende Komplikationen, wie eine Aortenruptur oder eine akute Aortendissektion, auftreten (Kotelis et al., 2012, Senser et al., 2021).

Klassifikation

Das Aortenaneurysma kann sich anhand des betroffenen Abschnitts der Aorta in ein Aorta-ascendens-Aneurysma, ein Bogenaneurysma oder ein Aneurysma der Aorta descendens unterteilen.

Weiter kann eine Untergliederung in die folgenden drei Formen unternommen werden. Ein Aneurysma verum beschreibt eine Aussackung aller drei Wandschichten der Aorta. Besteht ein perivasales Hämatom, das in Verbindung mit dem Gefäßlumen steht, handelt es sich dabei um ein Aneurysma spurium. Das Aneurysma dissecans ist eine durch einen Riss in der Intima und darauffolgender intramuraler Einblutung verursachte Aufspaltung der Gefäßwandschichten (Kortmann, 2007).

1.2.3 Risikofaktoren thorakaler Aortenpathologien

Es gibt verschiedene Faktoren, welche das Risiko, an einer Aortendissektion oder einem thorakalen Aortenaneurysma zu erkranken, erhöhen. Zu diesen gehören die arterielle Hypertonie als eine der häufigsten Risikofaktoren mit einer Prävalenz von 65 – 75% aller Betroffener (Eggebrecht and European Society, 2014). Weiter zu nennen sind eine bikuspidale Aortenklappe, familiäre Häufungen von aortalen Erkrankungen und genetische Bindegewebserkrankungen wie das Marfan-Syndrom, das Ehlers-Danlos-Syndrom und das Loeys-Dietz-Syndrom. Außerdem erhöhen vorausgegangene Herzoperationen, Nikotinabusus und Drogenmissbrauch das Risiko (Eggebrecht and European Society, 2014).

1.2.4 Klinisches Bild und Komplikationen

Je nach Pathologie präsentieren sich die Patienten mit unterschiedlichen klinischen Symptomen. Patienten mit einer akuten Dissektion berichten häufig über stärkste, reißende bis messerstichartige Brustschmerzen, teilweise mit Ausstrahlung in den Rücken oder bei eher distaler Dissektion mit Ausstrahlung in das Abdomen (Sievers and Schmidtke, 2011). In einer Studie der International Registry of Acute Aortic Dissection zeigten sich außerdem bei der initialen Vorstellung in 31,6% der Fälle Aortenklappeninsuffizienzen und in 15,1% der Fälle Pulsdefizite als weitere Symptome, sowie häufig eine Hypotension (Hagan et al., 2000).

Neurologische Symptome können durch Okklusion der supraaortalen Gefäße oder aufgrund der durch die Hypotension bedingten zerebralen Minderperfusion entstehen.

Zu diesen Symptomen zählen unter anderem Synkopen, Hemiparesen, Komata, Krampfanfälle, Aphasien oder ein Neglect (Gaul et al., 2007).

Als weitere Komplikationen können ein Perikarderguss, Pleuraerguss oder ein Hämatomediastinum durch gedeckte Rupturphänomene entstehen. Weiter kann eine Aortendissektion je nach Ausbreitung jedes Organsystem betreffen und dort zu einer verminderten Perfusion führen. Infolge dessen können koronare, spinale, viszerale, renale und Extremitäten-Malperfusionen auftreten (Czerny et al., 2015).

Eine asymptomatische Klinik lässt sich häufiger bei Aortenaneurysmata vorfinden. Diese werden oftmals als Zufallsbefund im Rahmen von Screening-Untersuchungen diagnostiziert (Elefteriades and Farkas, 2010). Etwa 5 – 10 % der Patienten mit Aortenaneurysmata zeigen Symptome auf. Zu diesen gehören je nach Lokalisation des Aneurysmas retrosternale oder interskapuläre Schmerzen. Durch die Kompression benachbarter Strukturen (Trachea, Bronchien, V. cava oder N. laryngeus recurrens) kann es zu einem Stridor, chronischem Husten, einer oberen Einflusstauung oder Heiserkeit kommen (Elefteriades, 2008).

1.3 Therapie

1.3.1 Historischer Exkurs

Aortenaneurysmata und Aortendissektionen stellen sich als sehr komplexe Krankheitsbilder dar, die ausgeprägte und spezialisierte Therapieansätze erfordern. Vor Einführung diverser herzchirurgischer Techniken bestand daher für die genannten Erkrankungen eine sehr hohe Mortalität. 1958 berichtete Hirst über Mortalitätsraten von 21% innerhalb der ersten 24 Stunden und 93% innerhalb eines Jahres bei Patienten mit Aortendissektion ohne adäquate Therapie (Hirst et al., 1958).

Erst mit der Einführung operativer Methoden konnten die Mortalitätsraten vermindert werden. So wurde ein großer Fortschritt in der Aorten Chirurgie durch DeBakey, Cooley und Creech erzielt, welche 1955 erstmals erfolgreich eine Aortendissektion operativ versorgten (Creech et al., 1956). Mit Einführung der extrakorporalen Zirkulation gelang es Cooley und DeBakey 1957 den tubulären Teil der Aorta ascendens zu ersetzen

(Cooley et al., 1957). Weitere Meilensteine in der Aorten Chirurgie waren die Erkenntnis über das operative Vorgehen bei Kreislaufstillstand und tiefer Hypothermie bis auf 15 °C (Borst et al., 1964).

Aufgrund von langen Perfusionszeiten und möglichen Blutgerinnungsstörungen bei tiefer Hypothermie wurde im weiteren Verlauf zur intraoperativen Neuroprotektion eine moderate Hypothermie (25-28 °C) vorgeschlagen, welche auch in der modernen Aorten Chirurgie Anwendung findet (Bachet and Guilmet, 2002). Weiter wurden Verfahren wie die antegrade Hirnperfusion eingeführt, die mit einer Verkürzung der zerebralen Ischämiezeiten zu einem guten intraoperativen Schutz des Gehirns und klinischen Erfolgen führten (Kazui et al., 1989). Eine Messung der zerebralen Sauerstoffsättigung mithilfe der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) zur intraoperativen Überwachung hat sich außerdem etabliert (Orihashi et al., 2004). Dadurch konnte unverzüglich auf eine verminderte zerebrale Durchblutung reagiert werden und damit zu einer verminderten Schlaganfallsrate beitragen (Urbanski et al., 2013).

Die Einführung von Rohrprothesen aus Dacron zählt zu weiteren Fortschritten in der Aorten Chirurgie. Diese wurden bereits erstmals 1955 von DeBakey und Cooley implantiert und finden auch heute meist als mit Kollagen vorbehandelte, gewebte Dacrondoppellourprothesen Anwendung (Creech et al., 1956). Diese können als einfache tubuläre Gefäßprothesen oder als Prothesen mit vorgefertigten Seitenästen zum erleichterten Anschluss der supraaortalen Gefäße verwendet werden (Spielvogel et al., 2003).

Als Dacronprothese wurde die konventionelle Elephant-Trunk-Technik erstmals 1983 für die Therapie ausgedehnter Aortenaneurysmata mit Beteiligung des Aortenbogens und der proximalen Aorta descendens vorgestellt und seitdem weltweit angewandt (Borst et al., 1983). Die Elephant-Trunk-Methode beinhaltet zwei Operationen. Die erste umfasst den Ersatz des Aortenbogens mittels einer Elefantenrüsselprothese. In einer zweiten Operation wird über eine laterale Thorakotomie eine thorakale Prothese mit dem distalen Anteil der Elephant-Trunk-Prothese anastomosiert und somit das Aneurysma der Aorta descendens ausgeschaltet (Miyamoto, 2014).

Nachdem bei der Elephant-Trunk-Methode höhere Mortalitätsraten beschrieben wurden und nur 50,4 % aller Patienten eine zweite Operation erhalten haben, kam es durch Neuerungen von Crawford und Svensson mit Einführung des Frozen-Elephant-Trunks

(FET) zu einer einzeitigen Operation (Jakob et al., 2020, Miyamoto, 2014). Diese wurde im Oktober 1994 erstmals von Masaaki Kato durchgeführt. Ein Bericht über die Anwendung dieser Methode an 10 Patienten erschien im November 1996 von Kato et al. (Kato et al., 1996). Seit 2001 wird diese Operation nun auch in Europa durchgeführt (Karck et al., 2003). Mittels dieser endovaskulären Stentprothese werden die Vorteile der konventionellen und endovaskulären Aorten Chirurgie kombiniert. Dies führte zu guten Ergebnissen und der internationalen Anwendung dieser OP-Methode (Czerny et al., 2019, Pichlmaier et al., 2007).

1.3.2 Allgemein

Das therapeutische Ziel der zuvor beschriebenen aortalen Erkrankungen besteht darin, schwerwiegende Komplikationen wie Rupturen und die Kompression intrathorakaler Organe zu vermeiden (Karck and Kallenbach, 2010). Bei einer schon stattgefundenen Ruptur der Aorta oder einer akuten Typ-A-Dissektion muss eine notfallmäßige Operation zur Verhinderung einer hochgradigen Aorteninsuffizienz oder Perikardtamponade erfolgen, während bei chronische Erkrankungen der proximalen Aorta im Allgemeinen ab einem Durchmesser von über 5,5 cm elektiv chirurgisch therapiert wird (Eggebrecht and European Society, 2014).

Als Therapiemöglichkeiten stehen heutzutage neben offenen Operationen auch minimalinvasive Verfahren mithilfe endoluminaler Aortenprothesen zur Verfügung. Als Kombination beider Verfahren ist die Frozen-Elephant-Trunk-Prozedur mittels ihrer Hybridprothese zu nennen (Jakob et al., 2020).

1.3.3 Typ-A-Aortendissektion

Die 2021 veröffentlichten Leitlinien der deutschen Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie empfehlen, dass jede Typ-A-Dissektion aufgrund der hohen Mortalität umgehend über eine mediane Sternotomie operiert werden sollte (DGTHG, 2021). Eine alleinige konservative Therapie ist hier aufgrund hoher Sterblichkeitsraten von bis zu 50% in den ersten 48 h nicht ausreichend (Eggebrecht and European Society, 2014). Ausgenommen der allgemeinen Empfehlung einer Operation sind Patienten mit geringer Lebenserwartung, welche bereits schwere und ausgeprägte neurologische

Schäden oder erhebliche Grunderkrankungen aufweisen (Trimarchi et al., 2005). Dabei sind neurologische Schäden im Allgemeinen keine Kontraindikation einer operativen Therapie. Häufig profitieren Patienten mit neurologischen Symptomen von einer operativen Therapie und es kommt postoperativ zu einer Normalisierung der Gehirnfunktion (Berretta et al., 2016). Patienten mit schweren viszeralen Malperfusionssymptomen können möglicherweise zuerst von einer Reperfusion mithilfe von Katheter-Verfahren Vorteile erlangen (Berretta et al., 2018). Das primäre Ziel einer Operation liegt in dem chirurgischen Verschluss des primären Entrys der Dissektion. Hierfür werden meist Gefäßprothesen im betroffenen Segment eingesetzt. Je nach Ausdehnung der Dissektion kann hierbei ein alleiniger suprakoronarer Ersatz oder zusätzlich ein proximaler, partieller oder totaler Aortenbogensersatz durchgeführt werden (Hiratzka et al., 2010). Weitere Verfahren wie eine von Yacoub oder David beschriebene klappenerhaltende Rekonstruktion oder der Einsatz eines klappentragendes Conduits können bei Aortenklappeninsuffizienzen zusätzlich angewandt werden (Yacoub and Cohn, 2004, David et al., 2002, Conzelmann et al., 2011). Breitet sich die Dissektion weiter nach distal bis in die Aorta descendens aus, kann ein Eingriff mithilfe der Frozen-Elephant-Trunk Technik hilfreich sein (Erbel et al., 2001, Kazui et al., 1989).

Der standardisierte Zugangsweg für die operative Versorgung erfolgt über eine mediane Sternotomie und dem darauffolgenden Anschluss der Herz-Lungen-Maschine (HLM) zur extrakorporalen Zirkulation. Eine optimale Hirnprotektion wird mithilfe antegrader Hirnperfusion in moderater Hypothermie angestrebt (Bachet and Guilmet, 2002).

1.3.4 Typ-B-Aortendissektion

Die Deutsche Gesellschaft für Gefäßchirurgie und Gefäßmedizin empfiehlt in ihren 2021 überarbeiteten Leitlinien für alle Patienten mit einer Typ-B-Dissektion eine Behandlung in einem Aortenzentrum. Zusätzlich sollen alle Patienten eine medikamentöse Therapie zur hämodynamischen Stabilisierung und Schmerzstillung sowie eine Überwachung der Vitalfunktionen erhalten. Eine alleinige konservative Therapie kann dabei für Patienten mit einer unkomplizierten Typ-B-Dissektion angewandt werden. Patienten mit einer unkomplizierten Dissektion und zusätzlich

einem Aortendurchmesser > 40 mm sollten allerdings eine endovaskuläre Behandlung im subakuten Stadium (15 bis 90 Tage nach initialem Ereignis) erhalten (DGG, 2021). Zu den komplizierten Typ-B-Dissektionen zählen solche, die bereits Zeichen einer Ruptur oder Malperfusion aufweisen oder bei Hochrisikopatienten auftreten. Neben der medikamentösen Therapie sollen diese Patienten eine invasive Therapie, in Form einer thorakalen endovaskulären Aortenreparatur (TEVAR), erhalten. Offene Verfahren wie die Frozen-Elephant-Trunk-Technik können im Einzelfall sinnvoll sein (DGG, 2021).

1.3.5 Aortenaneurysma

Da das Risiko einer akuten Dissektion oder Ruptur ab einem Durchmesser der Aorta ascendens über 60 mm und der thorakalen Aorta descendens über 70 mm stark ansteigt, wird frühzeitig eine prophylaktische Operation von der europäischen Gesellschaft für Kardiologie empfohlen (Eggebrecht and European Society, 2014). Bei Patienten ohne Bindegewebserkrankungen wird bei einem Aneurysma der Aorta ascendens oder des Aortenbogens mit einem Durchmesser von über 55 mm eine Operation empfohlen (DGTHG, 2022). Beim Vorliegen eines Marfan-Syndroms oder Risikofaktoren (Größenzunahme > 3 mm/Jahr oder familiär stattgefundene Rupturen/Dissektionen) wird die Operation bereits ab einem Durchmesser von über 50 mm bzw. 45 mm befürwortet (Eggebrecht and European Society, 2014).

1.3.6 Frozen-Elephant-Trunk-Technik

Die FET-Technik beinhaltet eine Hybridprothese, welche aus einer klassischen Gefäßprothese und einem Stentgraft für die descendierende Aorta besteht. Diese wird angewandt, um gleichzeitig proximale und distale Aortenpathologien des Aortenbogens und der Aorta descendens operativ zu versorgen. Mit dem distalen gestenteten Anteil der Prothese wird außerdem eine Landezone für spätere Zweiteingriffe angeboten (Dohle et al., 2017). In einer 2020 veröffentlichten Metaanalyse zeigten sich nach der FET-Prozedur eine hospitalere Mortalität von 10,2% sowie postoperative Raten permanenter neurologischer Defizite und Rückenmarksverletzungen von 7,7% und 6,5% (Tian et al., 2020). Auch im Vergleich zu herkömmlichen OP-Methoden wie dem totalen Aortenbogensersatz oder einem Teilbogensersatz konnten mit der Verwendung der

FET-Prozedur reduzierte Mortalitätsraten (8,9% statt 33% oder 17%) nachgewiesen werden (Wisniewski et al., 2024).

Hinsichtlich der Reinterventionsraten fanden sich verschiedene Ergebnisse in der Literatur. So zeigte sich, dass ein gutes Remodelingverhalten und eine Thrombosierung des falschen Lumens der Dissektion nach der Implantation einer FET-Prothese einen positiven Einfluss auf die Reinterventionsrate nahm (Tian et al., 2020). Eine Thrombosierung des falschen Lumens der Dissektion nach Implantation einer FET-Prothese zeigte sich in verschiedenen Studien in bis zu 90% der Fälle (Goebel et al., 2018, Pacini et al., 2011, Di Bartolomeo et al., 2015). Auch die Länge des implantierten Stentgrafts während der FET-Prozedur hatte einen Einfluss auf die Reinterventionsrate. Die höchsten Reinterventionsraten wurden nach der Implantation kurzer Stentgrafts (100mm) nachgewiesen (Liebrich et al., 2021).

Die FET-Technik kann bei akuten und chronischen Typ-A-, Typ-B- oder Non-A-/Non-B-Aortendissektionen angewandt werden. Vor allem akute Typ-A-Dissektionen mit distalen Entrys, die häufig mit viszeralen und renalen Malperfusionen assoziiert sind, oder Typ-B-Dissektionen mit unzureichender Landungszone für eine TEVAR, dilatiertem Aortenbogen oder einem steilen Aortenbogenwinkel können von dieser Hybridprothese profitieren. Weitere Indikationen für eine FET-Prothese sind ein penetrierendes atherosklerotisches Ulkus, ein intramurales Hämatom sowie alle thorakalen Aortenaneurysmata, welche ohne die FET-Technik ein zweizeitiges Vorgehen benötigen würden (Shrestha et al., 2015a).

1.3.7 Management der supraaortalen Gefäße

Mit der Frozen-Elephant-Trunk Prothese wird der Aortenbogen ersetzt, welcher die Ursprünge der supraaortalen Gefäße enthält. Daher müssen diese Gefäße während der Operation in die Prothese reimplantiert werden. Dazu fanden bisher verschiedene Verfahren Anwendung. Zu Beginn des Einsatzes der FET-Technik wurden die supraaortalen Gefäße oft als gemeinsame Insel reimplantiert (Jakob and Tsagakis, 2013). Auch heutzutage ist die komplette Inseltechnik immer noch ein angewandtes Verfahren, da es zu einer kürzeren antegraden Hirnperfusionszeit und generellen OP-Zeit führen kann (Dohle et al., 2023). Nach Einführung der Proximalisierung der distalen Anastomose der Prothese von Zone 3 in Zone 2 kam die partielle Inseltechnik

zur Anwendung. In dieser wurden der Truncus brachiocephalicus und die A. carotis communis sinistra gemeinsam als Insel implantiert und die A. subclavia sinistra über einen extraanatomischen Bypass, sogenanntes „Rerouting“, angeschlossen (Tsagakis et al., 2021). Als weitere Möglichkeit bietet sich die Reimplantation der Gefäße jeweils einzeln mithilfe einer Prothese oder über extraanatomische Bypässe an (Shrestha et al., 2017, Czerny et al., 2007, Czerny et al., 2017). Die separate Implantation der Gefäße kann vorteilhaft bei einer Beteiligung der supraaortalen Gefäße an der Dissektion, bei Bindegewebserkrankungen wie dem Marfan-Syndrom oder bei atherosklerotischen Aneurysmata sein (Shrestha et al., 2014). Eine Dissektion der supraaortalen Gefäße führt häufig zu einer zerebralen Malperfusion und ist somit eine gefürchtete Ursache einer schlechteren Prognose und eines unerwünschten neurologischen Outcomes (Abe, Terada et al. 2012, Urbanski, Irimie et al. 2015). Daher ist das Ziel im Management der supraaortalen Gefäße während der FET-Prozedur, eine Versorgung des Gehirns und der oberen Extremität mit Blut zu gewährleisten und somit eine zerebrale Malperfusion zu verhindern. Hierzu beschrieben Abe, Terada et al., dass ein Carotisbypass bei ausgewählten Patientengruppen sinnvoll sein und zu einer geringeren postoperativen Rate an verschlossenen Carotiden beitragen kann (Abe, Terada et al. 2012). Luehr et al. berichteten außerdem über ein reduziertes Risiko von neurologischen Komplikationen bei Patienten mit präoperativen neurologischen Ausfällen nach der Durchführung eines extraanatomischen Carotisbypasses. Dieser ermöglichte während der Operation bereits eine frühe zerebrale Perfusion und somit gute neurologische Ergebnisse (Luehr et al., 2016).

In der folgenden Dissertationsschrift sollen die verschiedenen Techniken zur Reimplantation der supraaortalen Gefäße gemeinsam als komplette Insel, als partielle Insel mithilfe eines extraanatomischen Subclaviabypasses oder als komplexe Transposition in Verbindung mit verschiedenen extraanatomischen Bypässen und Gefäßinterponaten evaluiert werden.

1.4 Zielsetzung

Im Verlauf der letzten Jahrzehnte hat sich die Therapie aortaler Erkrankungen stark weiterentwickelt und bietet mit der Frozen-Elephant-Trunk-Methode einen neuen Therapieansatz, welcher die Vorteile offener und endovaskulärer Verfahren verbindet. Seit Einführung der Methode im Jahr 1994 wurden verschiedene Prothesen mit unterschiedlichen Stentgraftlängen und Anastomosezonen, Unterschiede im Management der arteriellen Kanülierung und verschiedene Verfahren zur Reimplantation der supraaortalen Gefäße angewandt (Czerny et al., 2019). Das Ziel der folgenden Arbeit war die Evaluation verschiedener Techniken zur Reimplantation der supraaortalen Gefäße während der Frozen-Elephant-Trunk-Prozedur. Als Techniken kamen hierbei die komplette Inseltechnik, die partielle Inseltechnik mit Rerouting der LSA und eine komplexe Transposition der Gefäße zum Einsatz.

In der vorliegenden Arbeit wurden Überlebenswahrscheinlichkeiten und das neurologische Outcome von Patienten in Bezug auf die Reimplantationstechnik, die Kanülierungsart und die Aortenpathologie dargestellt.

Zusätzlich wurden Risikofaktoren für die Mortalität und das Erlangen eines Apoplex ausgewertet. Eine weitere Frage beschäftigte sich mit perioperativen Prädiktoren für das Auftreten postoperativer neurologischer Defizite.

Des Weiteren wurde eine Analyse der postoperativen Lebensqualität der Patienten in Abhängigkeit von der Reimplantationstechnik, der Aortenpathologie oder der Kanülierungsart durchgeführt.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit die Bezeichnung „Patienten“ geschlechtsneutral verwendet. Dies schließt ausdrücklich alle Geschlechter gleichermaßen mit ein.

2 Material und Methoden

2.1 Patientenkollektiv

Diese Arbeit beruht auf Daten eines Patientenkollektivs der Sana Herzchirurgie Stuttgart (inzwischen Klinik für Herzchirurgie, Herzzentrum Klinikum Stuttgart), welches 305 Patienten umfasst. Die durchgeführte Studie wurde von der Ethikkommission Tübingen mit dem Kennzeichen 588/2015R genehmigt. Das Studiendesign umfasst Patienten, welche im Zeitraum vom 16.03.2009 bis 21.03.2022 mittels der Frozen-Elephant-Trunk-Technik versorgt wurden. Da sich die Arbeit besonders mit der Evaluation der verschiedenen Reimplantationstechniken der supraaortalen Gefäße beschäftigt, wurde das Patientenkollektiv hinsichtlich dieser Techniken in drei verschiedene Gruppen unterteilt: Patienten, bei denen eine komplette Inseltechnik (n = 152), eine partielle Inseltechnik (n = 52) oder eine komplexe Transposition (n = 101) der supraaortalen Gefäße durchgeführt wurde. Die vorliegende Arbeit zur Frozen-Elephant-Trunk-Prozedur baut auf der 2022 veröffentlichten Dissertation zum Thema „Die Frozen-Elephant-Trunk-Technik zur chirurgischen Versorgung unterschiedlicher Pathologien der thorakalen Aorta: Eine Analyse des postoperativen Remodelings der Aorta“ von Schlereth auf (Schlereth, 2022). Da beide Studien auf dem Patientenkollektiv derselben Klinik und Operationsmethode basieren, ergaben sich methodische und inhaltliche Parallelen, insbesondere in der Einleitung, der Darstellung des aktuellen Forschungsstandes und der Methodik dieser Studie. Die vorliegende Arbeit erweitert jedoch den Ansatz der genannten Dissertation durch ein größeres Patientenkollektiv, umfassendere Patientendaten und andere Fragestellungen.

2.2 Datenerhebung

Die Daten wurden in präoperative, intraoperative und postoperative Daten eingeteilt und alle in einer Excel-Datenbank gesammelt. Dabei wurden die präoperativen Daten retrospektiv mithilfe der elektronischen Patientenakten erhoben. Besonders relevant waren hierbei das Alter, mögliche Vorerkrankungen (periphere arterielle Verschlusskrankheit (pAVK), Hypertonus,

chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD), Diabetes, koronare Herzkrankheit (KHK), Bindegewebserkrankungen), das Vorhandensein neurologischer Defizite (Synkope, Hemiplegie, Aphasie, Neglect, epileptischer Anfall, Querschnitt) sowie die Klassifikation der Dissektion (Typ A, Typ B, Non-A-/Non-B-Typ nach Stanford) und Aortenpathologie (akute Dissektion, chronische Dissektion und Aortenaneurysma). Die intraoperativen Daten wurden mithilfe von OP-Berichten und Anästhesie- und Herz-Lungen-Maschinen (HLM)-Protokollen erfasst. Hier waren vor allem die angewandte Reimplantationstechnik der supraaortalen Gefäße (komplette, partielle Inseltechnik oder komplexe Transposition mit extra-anatomischen Bypässen oder Interponaten der A. carotis interna (ACI), A. subclavia sinistra (left subclavian artery/LSA) oder A. vertebralis) relevant. Außerdem wurden viele weitere intraoperative Daten wie die Kanülierungsart, verschiedene Zeitdauern (Bypasszeit, Abklemmzeit, Zeit der antegraden Hirnperfusion), Informationen zur verwendeten Prothese (Stentlänge, Stentgröße), weitere intraoperativ angewandte Verfahren (Koronararterien-Bypass, Aortenwurzelersatz, Resuspension nach Yacoub, David-Operation, Aortenklappenersatz (AKE)) und die intraoperative Mortalität erfasst.

Postoperative Daten konnten mithilfe von in elektronischen Patientenakten gespeicherten Entlassbriefen und Untersuchungsergebnissen erhoben werden. Dabei wurden Daten in den Kategorien postoperative Komplikationen (Tracheotomie, Rethorakotomie, rechtsventrikuläres Versagen, Reoperation und Endokarditis der Aortenklappe (AK)), frühe postoperative Ergebnisse (30-Tage-Mortalität, Apoplex permanent (perm.) und transient (trans.), Querschnitt, Dialyse permanent und transient, Rekurrensparese und Viszeralischämie) und Follow-up Ergebnisse erhoben.

Eine Reoperation wurde hierbei als jede Form einer notwendigen operativen Revision definiert. Der Begriff Rethorakotomie beinhaltet dagegen ausschließlich Fälle, deren Reoperation über eine erneute Thorakotomie zur Blutstillung oder Hämatomausräumung aus dem Perikard erfolgen musste.

Ein Apoplex galt als permanent, sobald neurologische Defizite über den Zeitpunkt der Entlassung hinaus bestanden. Ein transienter Apoplex wurde als reversibles neurologisches Defizit definiert, bei dem sich die neurologischen Symptome während des Klinikaufenthaltes vollständig zurückbildeten. Eine vergleichbare Klassifikation wurde auch für den Parameter Dialyse angewandt. Eine Dialyse galt als permanent,

sobald diese auch nach der Entlassung notwendig war. Eine transiente Dialyse lag vor, wenn diese während des Klinikaufenthaltes beendet werden konnte.

Eine Zuordnung zur Kategorie der präoperativen neurologischen Defizite erfolgte, wenn mindestens eines der folgenden Symptome oder Befunde vorlag: Synkope, Hemiplegie, Aphasie, Neglect, epileptischer Anfall, Querschnitt, Koma, zerebrale Malperfusion oder Nachweis eines Apoplex in der präoperativen kranialen Computertomographie (cCT). Postoperative neurologische Defizite wurden definiert als das Vorliegen eines transienten oder permanenten Apoplex mit entsprechender Hemiparese-Symptomatik oder eines Querschnittsyndroms.

2.3 Follow-up

Die Ermittlung der Follow-up-Daten wurde telefonisch durchgeführt. Dabei wurde vor allem die Überlebenszeit und das neurologische Outcome in Form von permanenten oder transienten neurologischen Defiziten erfragt. Zusätzlich wurde die Lebensqualität der Patienten, anhand der Einteilung dieser in die Kategorien Berufstätigkeit, Berentung oder Arbeitslosigkeit, erhoben. Bei Patienten, die telefonisch nicht erreicht werden konnten, wurde außerdem über das Einwohnermeldeamt die neue Adresse oder ein Sterbedatum ermittelt.

Mit dem Tod, dem letzten Klinikbesuch oder dem letzten telefonischen Kontakt endete der jeweilige Beobachtungszeitraum der Patienten.

2.4 Operationstechnik

Zuerst erfolgte in den meisten Fällen die Kanülierung der A. axillaris dextra. Alternativ erfolgte eine Kanülierung über die A. carotis communis dextra, Aorta ascendens oder die A. femoralis dextra. Als Zugangsweg zum Herzen wurde eine mediane Sternotomie durchgeführt und venös eine Two-Stage-Kanüle in den rechten Vorhof eingeschleust. Daraufhin wurde die Herz-Lungen-Maschine angeschlossen, die extrakorporale Zirkulation aufgenommen und die Hypothermie mit einer Ziel-Körperkerntemperatur von 15 °C bis 30 °C eingeleitet. Im Anschluss wurde die Aorta ascendens und der Aortenbogen mit den supraaortalen Gefäßen dargestellt. Nach dem Abklemmen der Aorta ascendens erfolgte die ante- und retrograde Gabe der Kardioplegielösung.

Daraufhin wurde der betroffene Aortenabschnitt inspiziert und reseziert. Zudem erfolgte die Evaluation, ob eine rekonstruktive Behandlung der Aortenklappe oder ein Klappenersatz erforderlich war. Nach Erreichen der angestrebten Körperkerntemperatur wurde der distale Kreislaufstillstand unter Etablierung der uni- oder bilateralen Kopfperfusion eingeleitet. Hierfür wurde die Aortenklemme gelöst, der Truncus brachiocephalicus geklemmt und je nach CT-Befund eine zweite Perfusionskanüle in die A. carotis communis sinistra eingebracht. Die Identifikation des wahren Lumens des dissezierten Aortenabschnitts wurde mithilfe eines zu Operationsbeginn über die A. femoralis communis dextra in Seldinger-Technik eingelegten Pigtail-Katheters durchgeführt. Das Einbringen der Hybridprothese erfolgte über einen Führungsdraht, der über den zuvor platzierten Pigtail-Katheter eingelegt wurde.

Komplette Inseltechnik:

Die distale Anastomose der Prothese erfolgte in der Zone 3 nach Ishimaru. Dabei konnten die supraaortalen Gefäße gemeinsam als „komplette Insel“ in die FET-Prothese eingenäht werden (vgl. Abbildung 1A). Dies erfolgte über die Anastomose einer Gewebeinsel des Aortenbogens, welche die supraaortalen Gefäße trug, und der FET-Prothese. Während des distalen Kreislaufstillstandes und der damit verbundenen viszeralen Ischämie erfolgte die Körperkühlung auf Körpertemperaturen zwischen 15 und 22 °C.

Partielle Inseltechnik:

Nach Proximalisierung der distalen Anastomose in Zone 2 kam es zur Reimplantation der supraaortalen Gefäße als „partielle Insel“ (vgl. Abbildung 1B). Dabei wurden der Truncus brachiocephalicus und die linke A. carotis communis wie zuvor beschrieben gemeinsam als Insel reimplantiert. Die linke A. subclavia wurde am Aortenbogen verschlossen und durch einen extraanatomischen Bypass (sogenanntes „Rerouting“) an den Dacron-Anteil der Hybridprothese angeschlossen. Verwendet wurde hierfür eine Dacron-Prothese, die proximal an die Prothese genäht und nach Tunnelung durch den 2. Interkostalraum an die linke A. subclavia angeschlossen wurde. Alternativ konnte über ein Interponat zwischen der FET-Prothese und der nativen A. subclavia eine Verbindung hergestellt werden. Die Anwendung der beschriebenen Technik begann im

Jahr 2016, zusätzlich kam es währenddessen zum Einsatz einer distalen Perfusion. Diese erfolgte über einen Blasenkatheter, der in den Stentteil der eingesetzten Prothese eingeführt wurde und diesen okkludierte. Aufgrund der distalen Perfusion verkürzte sich die viszerale Ischämiezeit, weshalb die Kühlung der Körpertemperatur auf eine moderate Hypothermie (22 – 30 °C) umgestellt werden konnte, um so eine gute Versorgung der Bauchorgane sicherzustellen.

Komplexe Transposition:

Wurde in der präoperativen Bildgebung oder während der intraoperativen Inspektion der Aorta festgestellt, dass die supraaortalen Gefäße an der Dissektion beteiligt waren und diese nicht als komplette oder partielle Insel anastomosiert werden konnten, wurden diese über Dacronprothesen als Interponat reimplantiert (vgl. Abbildung 3C). Dabei wurde individuell entschieden, welche Gefäße von welcher Art der Transposition profitieren.

Ähnlich wie beim Vorgehen zur partiellen Inseltechnik wurde auch bei diesem Verfahren während einer moderaten Hypothermie eine distale Perfusion durchgeführt, um eine Versorgung der Bauchorgane sicherzustellen.

Im Anschluss kam es bei allen Verfahren zur Wiedererwärmungsphase, zum Abgehen von der Herz-Lungen-Maschine und zum Verschluss des Operations situs. Postoperativ wurden die Patienten auf der Intensivstation überwacht.

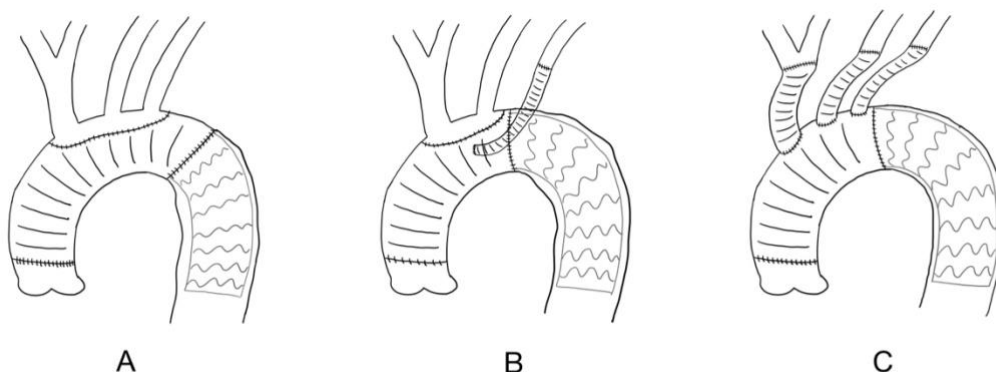


Abbildung 1: Techniken zur Reimplantation der supraaortalen Gefäße während der Frozen-Elephant-Trunk-Prozedur
komplette Inseltechnik (A), partielle Inseltechnik (B), komplexe Transposition (C) (Zeichnungen Sarah Mladek)

2.5 Diagnostik

In der präoperativen Diagnostik fand mit großer Relevanz die Computertomographie (CT) Anwendung. Diese ermöglichte die genaue Diagnosestellung und die Planung des operativen Vorgehens. Zusätzlich wurde eine transthorakale Echokardiographie durchgeführt um mögliche Klappenvitien, einen Perikarderguss und, anhand der linksventrikulären Ejektionsfraktion (EF), die Pumpfunktion des Herzens zu beurteilen. Weitere diagnostische Verfahren wie ein Röntgen-Thorax, eine Spirometrie, eine Labordiagnostik oder ein EKG fanden je nach Dringlichkeit des Eingriffes und der Morbidität der Patienten Anwendung.

Zum intraoperativen Monitoring gehörte eine invasive arterielle Druckmessung über die linke A. radialis und A. femoralis. Weiter wurde mittels einer transösophagealen Echokardiographie (TEE) die Herzfunktion, der Klappenstatus und der Blutfluss in den verschiedenen Lumina der Aorta descendens beurteilt. Um regionale Hirndurchblutungsstörungen während des Eingriffes zu erkennen und möglichst schnell darauf zu reagieren, fand die NIRS Anwendung.

In der postoperativen Phase wurde bei den meisten Patienten eine erneute kontrastmittelgestützte CT-Untersuchung der gesamten Aorta und ihrer abgehenden Gefäße durchgeführt.

2.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mithilfe von IBM SPSS Statistics (Version 29.0.2.0).

Kategorielle Variablen werden in den Tabellen mit der Anzahl (n) in Prozent (%) angegeben. Dabei bezieht sich die Anzahl zunächst auf das Gesamtkollektiv und darauffolgend auf die jeweilige Untergruppe der Reimplantationstechnik der supraaortalen Gefäße (komplette Inseltechnik, partielle Inseltechnik und komplexe Transposition). Um kategoriale Variablen zu vergleichen, wurden Kreuztabellen sowie der Chi-Quadrat-Test und der exakte Test nach Fisher angewandt.

Metrische Variablen wurden bei Vorliegen einer Normalverteilung als Mittelwert mit Standardabweichung oder bei nicht normalverteilten Variablen als Median mit Interquartilabstand angegeben. Zur Ermittlung eines Zusammenhangs wurde bei

Normalverteilung die Anova-Varianzanalyse oder bei nicht-normalverteilten Daten der Kruskal-Wallis-Test durchgeführt.

Die Überlebenszeitanalysen wurden mithilfe von Kaplan-Meier-Kurven graphisch dargestellt. Dabei sind Patienten rechtszensiert, bei denen das untersuchte Ereignis bis zum Ende des Follow-ups nicht eingetreten ist. Der Log-Rank-Test wurde angewandt, um Unterschiede zwischen den Gruppen aufzuzeigen.

Unter Verwendung von Kaplan-Meier-Kurven und dem Log-Rank-Test konnten auch die Risikofaktoren für Mortalität identifiziert werden. Mögliche Einflussfaktoren auf das Erlangen eines Apoplex wurden durch den Einsatz von Kreuztabellen ermittelt und der Zusammenhang mittels Chi-Quadrat-Test überprüft.

Als statistisch signifikant wurden Werte mit $p < 0,05$ angenommen.

3 Ergebnisse

3.1 Präoperative Patientendaten

In Tabelle 1 sind präoperative Patientencharakteristika der 305 untersuchten Patienten anhand der Reimplantationstechnik der supraaortalen Gefäße aufgelistet.

Das gesamte Patientenkollektiv wies ein mittleres Alter von $60,64 \pm 13,32$ Jahren auf und konnte häufiger dem männlichen Geschlecht (62%) zugeordnet werden.

Präoperative Komorbiditäten wie eine periphere arterielle Verschlusskrankheit, ein Hypertonus, eine koronare Herzkrankheit, eine chronisch obstruktive Lungenerkrankung und Diabetes mellitus traten in bis zu 92% der Fälle auf. Hierbei ist zu erwähnen, dass insbesondere Patienten mit einer kompletten Inseltechnik signifikant häufiger an einer Hypertonie, einer COPD oder einem Diabetes mellitus litten.

Außerdem wurden präoperative Faktoren wie ein kardiogener Schock ($n = 27$), ein Perikarderguss ($n = 128$), eine Katecholamingabe ($n = 49$) oder eine Intubation ($n = 35$) dokumentiert.

Tabelle 1: präoperative Patientencharakteristika

	Gesamt	Inseltechnik komplett	Inseltechnik partiell	Komplexe Transposition	p- Wert
Anzahl	305	152 (49,8%)	52 (17,0%)	101 (33,1%)	
Alter (Jahre) bei OP	60,64 ± 13,32	62,83 ± 12,90	58,67 ± 13,70	58,35 ± 13,32	0,02
Geschlecht					
männlich	190 (62%)	89 (59%)	38 (73%)	63 (62%)	0,18
weiblich	115 (38%)	63 (41%)	14 (27%)	38 (38%)	0,18
pAVK	29 (10%)	20 (13%)	3 (6%)	6 (6%)	0,10
Hypertonus	281 (92%)	147 (97%)	45 (87%)	89 (88%)	0,01
COPD	63 (21%)	49 (32%)	3 (6%)	11 (11%)	< 0,01
Diabetes	44 (14%)	32 (21%)	6 (12%)	6 (6%)	< 0,01
Perikarderguss	128 (42%)	49 (32%)	24 (46%)	55 (54%)	< 0,01
Intubation	35 (12%)	20 (13%)	3 (6%)	12 (12%)	0,35
Katecholamine	49 (16%)	23 (15%)	3 (6%)	23 (23%)	0,02
kardiogener Schock	27 (9%)	13 (9%)	1 (2%)	13 (13%)	0,08
KHK	59 (19%)	35 (23%)	8 (15%)	16 (16%)	0,27
Kreatinin (mg/dl)	1,0 ± 0,2	1,0 ± 0,2	1,0 ± 0,2	1,0 ± 0,3	0,81

Die Darstellung der Werte erfolgt in n (%) oder in Abhängigkeit der Normalverteilung in Mittelwert ± Standardabweichung oder Median ± Interquartilabstand.

COPD: chronisch obstruktive Lungenerkrankung; KHK: koronare Herzkrankheit;

pAVK: periphere arterielle Verschlusskrankheit

Die OP-Indikation wurde anhand der Aortenpathologie (akute oder chronische Dissektion und Aneurysma) gestellt. Patienten in der Gruppe der kompletten Inseltechnik wiesen in 45% der Fälle eine akute Dissektion, in 21% eine chronische Dissektion und in 34% ein Aneurysma auf. In der partiellen Inseltechnik-Gruppe zeigten 46% eine akute Dissektion, 17% eine chronische Dissektion und 37% ein Aneurysma. Bei Patienten mit komplexer Transposition konnte am häufigsten eine akute Dissektion mit 65% nachgewiesen werden. Eine chronische Dissektion zeigte sich in 13% und ein Aneurysma in 22% der Fälle.

Weiter wurde die Dissektion nach Stanford unterteilt. Es konnte beobachtet werden, dass sich Patienten mit einer komplexen Transposition signifikant häufiger mit einer akuten Stanford Typ-A-Dissektion, einer Dissektion der Kopfgefäße, einer Herzbeuteltamponade und einem True-Lumen-Kollaps präsentierten.

Häufig wiesen Patienten präoperativ Klappenpathologien (48%), kardiovaskuläre Risikofaktoren (29%) oder eine höhergradige ($> \text{II}^\circ$) Aortenklappeninsuffizienz (15%) auf.

Diese und weitere präoperative kardiovaskuläre Patientencharakteristika sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: präoperative kardiovaskuläre Charakteristika

	Gesamt n = 305	Inseltechnik komplett n = 152	Inseltechnik partiell n = 52	Komplexe Transposition n = 101	p- Wert
Akute Dissektion	159 (52%)	69 (45%)	24 (46%)	66 (65%)	< 0,01
Chronische Dissektion	54 (18%)	32 (21%)	9 (17%)	13 (13%)	0,25
Aneurysma	92 (30%)	51 (34%)	19 (37%)	22 (22%)	0,07
Stanford Typ-A- Dissektion	197 (65%)	93 (61%)	29 (56%)	75 (74%)	0,04
Stanford Typ-B- Dissektion	14 (5%)	8 (5%)	2 (4%)	4 (4%)	0,86
Stanford Non-A-/Non-B- Dissektion	4 (1%)	1 (1%)	2 (4%)	1 (1%)	0,21
Dissektion Kopfgefäße	134 (44%)	44 (29%)	22 (42%)	68 (67%)	< 0,01
Marfan-Syndrom	26 (9%)	9 (6%)	5 (10%)	12 (12%)	0,24
Loeys-Dietz- Syndrom	7 (2%)	2 (1%)	1 (2%)	4 (4%)	0,38
Aortenklappen- pathologie	147 (48%)	70 (46%)	20 (39%)	57 (56%)	0,08
Kardiovaskuläre RF	89 (29%)	47 (31%)	16 (31%)	26 (26%)	0,65
EF > 60%	271 (89%)	138 (91%)	42 (81%)	91 (90%)	0,13
AKI > II°	46 (15%)	18 (12%)	8 (15%)	20 (20%)	0,23
CPR	1 (0%)	1 (1%)	0 (0%)	0 (0%)	0,60
Herzbeutel- tamponade	19 (6%)	3 (2%)	1 (2%)	15 (15%)	< 0,01
True-Lumen-Kollaps	151 (50%)	64 (42%)	21 (40%)	66 (65%)	< 0,01

Die Darstellung der Werte erfolgt in n (%).

AKI: Aortenklappeninsuffizienz; CPR: kardiopulmonale Reanimation; EF: Ejektionsfraktion; RF: Risikofaktoren

Zusätzlich wurde die präoperative neurologische Situation der Patienten evaluiert. Dabei zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen einem in der kranialen Computertomographie sichtbaren Apoplex, einer Hemiplegie oder einer zerebralen Malperfusion und der Durchführung einer komplexen Transposition. Die präoperative zerebrale Malperfusion wurde als das Vorliegen von Pathologien in der Bildgebung oder klinischen neurologischen Symptomen definiert. Diese und weitere präoperative neurologische Patientencharakteristika können Tabelle 3 entnommen werden.

Tabelle 3: präoperative neurologische Charakteristika

	Gesamt n = 305	Inseltechnik komplett n = 152	Inseltechnik partiell n = 52	Komplexe Transposition n = 101	p- Wert
Apoplex im cCT	23 (8%)	8 (5%)	2 (4%)	13 (13%)	0,04
Synkope	26 (9%)	8 (5%)	4 (8%)	14 (14%)	0,06
Hemiplegie	36 (12%)	13 (9%)	2 (4%)	21 (21%)	< 0,01
Aphasie	11 (4%)	4 (3%)	2 (4%)	5 (5%)	0,64
Neglect	2 (1%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (2%)	0,13
Epileptischer Anfall	2 (1%)	0 (0%)	1 (2%)	1 (1%)	0,30
Koma	3 (1%)	1 (1%)	1 (2%)	1 (1%)	0,73
Malperfusion zerebral	42 (14%)	11 (7%)	4 (8%)	27 (27%)	< 0,01
Querschnitt	7 (2%)	4 (3%)	1 (2%)	2 (2%)	0,93

Die Darstellung der Werte erfolgt in n (%).
cCT: kraniale Computertomographie

3.2 Intraoperative Patientendaten

Eine Aortendissektion kann anhand der Höhe ihres Entrys weiter unterteilt werden. Dies wird in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Aortenpathologien

	Gesamt n = 305	Inseltechnik komplett n = 152	Inseltechnik partiell n = 52	Komplexe Transposition n = 101	p- Wert
Entry Aorta ascendens	130 (43%)	56 (37%)	15 (29%)	59 (58%)	< 0,01
Entry Arcus aortae	72 (24%)	37 (24%)	15 (29%)	20 (20%)	0,44
Entry LSA	5 (2%)	4 (3%)	1 (2%)	0 (0%)	0,27
Entry Aorta descendens	21 (7%)	16 (11%)	1 (2%)	4 (4%)	0,04
Reentry Aorta ascendens	4 (1%)	4 (3%)	0 (0%)	0 (0%)	0,13
Reentry Aorta descendens	118 (39%)	43 (28%)	21 (40%)	54 (54%)	< 0,01
Arteriosklerose	82 (27%)	57 (38%)	5 (10%)	20 (20%)	< 0,01

Die Darstellung der Werte erfolgt in n (%).
LSA: left subclavian artery (A. subclavia sinistra)

Weitere signifikante Zusammenhänge bestanden zwischen der Reimplantationstechnik und folgenden intraoperativen Faktoren: Bei der komplexen Transposition erhielten mehr Patienten eine Aortenklappen-Operation (57%) oder einen Aortenwurzelersatz (23%) als in den anderen Gruppen. Die Bypasszeit ($279,5 \pm 86$ min), die Abklemmzeit ($180,08 \pm 62,56$ min) und die Zeitdauer der antegraden Hirnperfusion (80 ± 44 min) war in dieser Gruppe signifikant länger.

Bei der kompletten Inseltechnik zeigten sich dagegen niedrigere Körperkerntemperaturen (20 ± 1 °C). Außerdem waren die Stentgrafts in dieser Gruppe größer ($28,38 \pm 5,20$ mm) und länger (150 ± 0 mm).

Im Gesamtkollektiv verstarben 3 % (n = 10) noch intraoperativ, davon wurde bei 9 Patienten eine komplette Inseltechnik durchgeführt.

Diese und weitere Operationscharakteristika sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5: Operationscharakteristika

	Gesamt n = 305	Inseltechnik komplett n = 152	Inseltechnik partiell n = 52	Komplexe Transposition n = 101	p- Wert
Aortenklappen- Operation	140 (46%)	62 (41%)	20 (39%)	58 (57%)	0,02
Bypass-Operation (ungeplant)	39 (13%)	25 (16%)	5 (10%)	9 (9%)	0,16
David-Operation	70 (23%)	31 (20%)	9 (17%)	30 (30%)	0,13
Aortenwurzelersatz	38 (13%)	10 (7%)	5 (10%)	23 (23%)	< 0,01
Bentall-Operation	11 (4%)	2 (1%)	2 (4%)	7 (7%)	0,06
AKE	4 (1%)	4 (3%)	0 (0%)	0 (0%)	0,13
Yacoub-Operation	22 (7%)	15 (10%)	3 (6%)	4 (4%)	0,19
Resuspension	60 (20%)	29 (19%)	15 (29%)	16 (16%)	0,15
ECMO	9 (3%)	8 (5%)	0 (0%)	1 (1%)	0,06
Hemashield- durchmesser (mm)	27,36 ± 1,90	27,19 ± 1,72	27,46 ± 2,09	27,59 ± 2,06	0,26
Bypasszeit (min)	252 ± 97	242 ± 106	228,5 ± 65	279,5 ± 86	< 0,01
Abklemmzeit (min)	158,16 ± 69,68	153,68 ± 73,68	129,19 ± 57,93	180,08 ± 62,56	< 0,01
Zeit antegrade Hirn- perfusion (min)	69 ± 35	66,5 ± 27	54 ± 34	80 ± 44	< 0,01
Körperkern- temperatur (°C)	21 ± 7	20 ± 1	26 ± 5	26 ± 6	< 0,01
Stentdurchmesser (mm)	26,99 ± 5,03	28,38 ± 5,20	25,60 ± 3,58	25,62 ± 4,88	< 0,01
Stentlänge (mm)	150 ± 20	150 ± 0	140 ± 20	130 ± 50	< 0,01
Exitus-OP	10 (3%)	9 (6%)	0 (0%)	1 (1%)	0,04

Die Darstellung der Werte erfolgt in n (%) oder in Abhängigkeit der Normalverteilung in Mittelwert ± Standardabweichung oder Median ± Interquartilabstand.

AKE: Aortenklappenersatz; ECMO: extrakorporale Membranoxygenierung

Bei der komplexen Transposition kamen verschiedene Techniken zur Reimplantation der supraaortalen Gefäße zur Anwendung. Am häufigsten kam hierbei ein Interponat des Truncus brachiocephalicus zur Anwendung (n = 77). Außerdem wurde oft ein Interponat der linken A. carotis interna (ACI) eingesetzt (n = 75). Als weitere Verfahren sind ein extraanatomischer Bypass der rechten (n = 18) oder linken ACI (n = 12), ein Interponat der rechten ACI (n = 2) oder der A. vertebralis (n = 3) sowie ein Interponat der LSA (n = 24) oder ein Rerouting der LSA (n = 61) zu nennen. Die partielle Inseltechnik beruht auf der Anwendung des Reroutings (n = 51) oder eines Interponats (n = 1) der LSA. Bei Durchführung einer kompletten Inseltechnik kamen keine dieser Techniken zum Einsatz (vgl. Tabelle 6).

Tabelle 6: Reimplantationstechniken supraaortaler Gefäße

	Gesamt n = 305	Inseltechnik komplett n = 152	Inseltechnik partiell n = 52	Komplexe Transposition n = 101	p- Wert
Truncus brachiocephalicus Interponat	77 (25%)	0 (0%)	0 (0%)	77 (76%)	< 0,01
Bypass ACI rechts	18 (6%)	0 (0%)	0 (0%)	18 (18%)	< 0,01
Bypass ACI links	12 (4%)	0 (0%)	0 (0%)	12 (12%)	< 0,01
ACI rechts Interponat	2 (1%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (2%)	0,13
ACI links Interponat	75 (25%)	0 (0%)	0 (0%)	75 (74%)	< 0,01
LSA links Interponat	25 (8%)	0 (0%)	1 (2%)	24 (24%)	< 0,01
A. vertebralis Interponat	3 (1%)	0 (0%)	0 (0%)	3 (3%)	0,05
Rerouting LSA	112 (37%)	0 (0%)	51 (98%)	61 (60%)	< 0,01

Die Darstellung der Werte erfolgt in n (%).

ACI: A. carotis interna; LSA: left subclavian artery (A. subclavia sinistra)

In Tabelle 7 werden die verschiedenen arteriellen Kanülierungsarten aufgelistet. Die arterielle Kanülierung wurde in 94% aller Fälle über die A. axillaris dextra durchgeführt. Eine Kanülierung über die A. carotis communis dextra oder die A. femoralis dextra erfolgte in 3%, über die Aorta ascendens oder die Prothese in 1% aller Fälle. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Reimplantationstechnik und der Kanülierungsstelle zeigte sich bei der Kanülierung über die rechte A. carotis communis, da diese hauptsächlich in der Gruppe der komplexen Transposition Anwendung fand (7 von insgesamt 8 Fällen).

Tabelle 7: Kanülierungstechnik

	Gesamt n = 305	Inseltechnik komplett n = 152	Inseltechnik partiell n = 52	Komplexe Transposition n = 101	p- Wert
Kanülierungsstelle					
A. axillaris dex.	286 (94%)	145 (95%)	49 (94%)	92 (91%)	0,38
A. carotis com. dex.	8 (3%)	1 (1%)	0 (0%)	7 (7%)	< 0,01
A. femoralis dex.	10 (3%)	9 (6%)	1 (2%)	0 (0%)	0,03
Aorta ascendens	4 (1%)	1 (1%)	0 (0%)	3 (3%)	0,19
Prothese	2 (1%)	0 (0%)	2 (4%)	0 (0%)	< 0,01

Die Darstellung der Werte erfolgt in n (%).
com.: communis; dex.: dextra

3.3 Postoperative Patientendaten

55 Patienten verstarben innerhalb der ersten 30 Tage. Damit ergab sich eine 30-Tage-Überlebenswahrscheinlichkeit von 82%.

Die Reoperationsrate betrug im Gesamtkollektiv 33%, dabei mussten 25% aller Patienten aufgrund von postoperativen Nachblutungen rethorakotomiert werden.

39 Patienten wiesen postoperativ einen permanenten Apoplex auf. Bei 27 Patienten zeigte sich der Apoplex transient.

Eine permanente Dialyse war bei 16 Patienten und eine transiente Dialyse bei 52 Patienten notwendig.

In den postoperativen Ergebnissen konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen diesen und der Reimplantationstechnik der supraaortalen Gefäße festgestellt werden.

Diese und weitere postoperative Ergebnisse und Komplikationen können Tabelle 8 entnommen werden.

Tabelle 8: postoperative Ergebnisse und Komplikationen

	Gesamt n = 305	Inseltechnik komplett n = 152	Inseltechnik partiell n = 52	Komplexe Transposition n = 101	p- Wert
30-Tage-Mortalität	55 (18%)	28 (19%)	7 (14%)	20 (21%)	0,60
Reoperation	96 (33%)	45 (32%)	20 (39%)	31 (31%)	0,60
Rethorakotomie	73 (25%)	35 (24%)	13 (25%)	25 (25%)	0,74
Tracheotomie	23 (8%)	12 (8%)	4 (8%)	7 (7%)	0,94
RV-Versagen	10 (3%)	7 (5%)	0 (0%)	3 (3%)	0,27
Endokarditis der AK	1 (0%)	1 (1%)	0 (0%)	0 (0%)	0,59
Apoplex perm.	39 (13%)	16 (11%)	5 (10%)	18 (18%)	0,20
Apoplex trans.	27 (9%)	14 (10%)	4 (8%)	9 (9%)	0,91
Querschnitt	16 (5%)	12 (8%)	2 (4%)	2 (2%)	0,09
Dialyse perm.	12 (4%)	6 (4%)	3 (6%)	3 (3%)	0,71
Dialyse trans.	52 (18%)	22 (15%)	6 (12%)	24 (24%)	0,05
Rekurrensparese	24 (8%)	16 (11%)	2 (4%)	6 (6%)	0,17
Viszeralischämie	17 (6%)	6 (4%)	1 (2%)	10 (10%)	0,07

Die Darstellung der Werte erfolgt in n (%).

AK: Aortenklappe; perm.: permanent; RV: rechtsventrikuläres; trans.: transient

Im Follow-up erhielten 57 Patienten eine TEVAR. Eine abdominale endovaskuläre Aortenreparatur (EVAR) war bei 12 Patienten und eine fenestrierte endovaskuläre Aortenreparatur (FEVAR) bei 16 Patienten notwendig. Bei insgesamt 8 Patienten fand eine erneute Aorten Chirurgie statt. Die Unterschiede in den hinsichtlich der Reimplantationstechnik unterteilten Gruppen waren nicht signifikant. Diese und weitere Follow-up Daten können Tabelle 9 entnommen werden.

Tabelle 9: Follow-up Daten

	Gesamt n = 305	Inseltechnik komplett n = 152	Inseltechnik partiell n = 52	Komplexe Transposition n = 101	p- Wert
TEVAR	57 (19%)	29 (19%)	12 (24%)	16 (16%)	0,55
EVAR	12 (4%)	7 (5%)	2 (4%)	3 (3%)	0,80
FEVAR	16 (5%)	6 (4%)	4 (8%)	6 (6%)	0,54
Stenting Carotiden	5 (2%)	2 (1%)	1 (2%)	2 (2%)	0,92
Erneute Aorten Chirurgie	8 (3%)	2 (1%)	2 (4%)	4 (4%)	0,40
Erwerbstätig	35 (28%)	12 (25%)	9 (29%)	14 (29%)	0,88
Berentet	78 (61%)	34 (71%)	18 (58%)	26 (54%)	0,22
Arbeitslos	14 (11%)	2 (4%)	4 (13%)	8 (17%)	0,14

Die Darstellung der Werte erfolgt in n (%).

EVAR: endovaskuläre Aortenreparatur; FEVAR: fenestrierte endovaskuläre Aortenreparatur;
TEVAR: thorakale endovaskuläre Aortenreparatur

3.4 Überlebenswahrscheinlichkeiten

Die Beobachtungszeit des Patientenkollektivs umfasste maximal 11,6 Jahre und betrug durchschnittlich $2,8 \pm 3,1$ Jahre.

In der folgenden Abbildung wird die Überlebenswahrscheinlichkeit aller untersuchten Patienten nach Kaplan-Meier dargestellt.

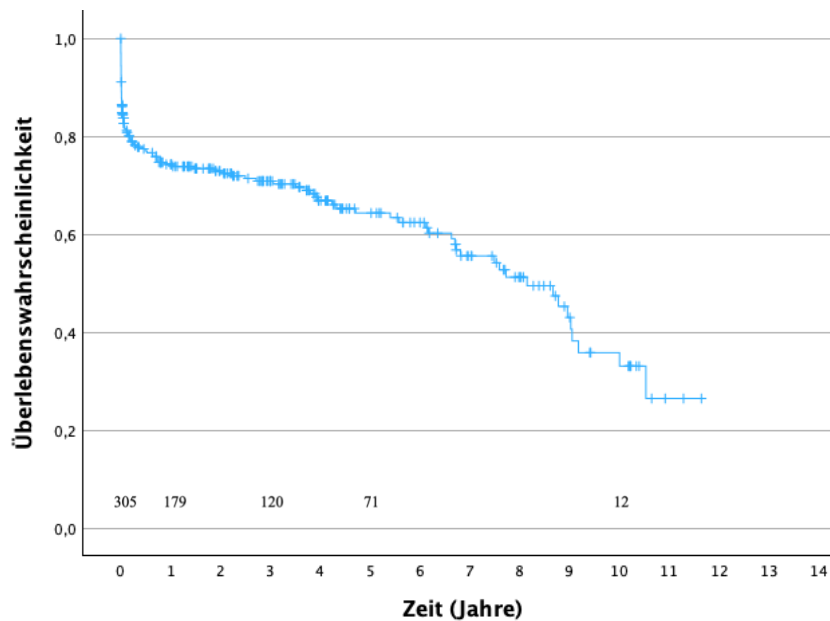


Abbildung 2: Überlebenswahrscheinlichkeit aller Patienten

Es ergaben sich 1-, 3-, 5- und 10-Jahres-Überlebensraten von 74,3%, 70,9%, 64,4% und 33,1 % in der Gesamtkohorte. Außerdem zeigte sich eine 30-Tage-Mortalität von 18,4%.

Im Weiteren veranschaulicht die Kaplan-Meier-Kurve die Überlebenswahrscheinlichkeit der Patienten in Abhängigkeit von der Reimplantationstechnik der supraaortalen Gefäße.

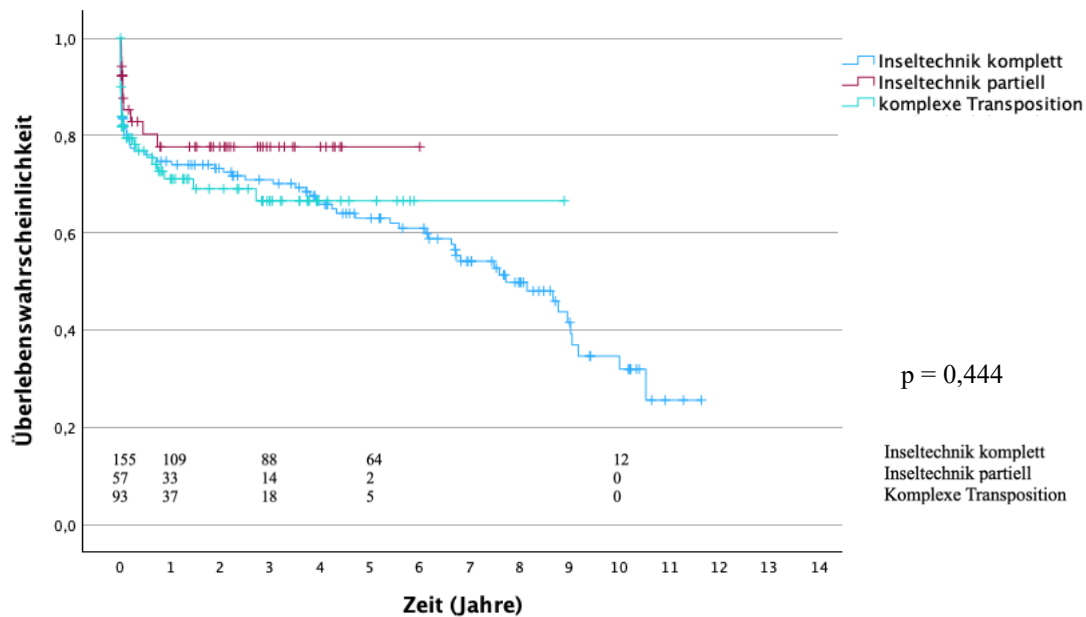


Abbildung 4: Überlebenswahrscheinlichkeit der Patienten in Abhängigkeit von der Reimplantationstechnik der supraaortalen Gefäße

Die 1-, 5- und 10-Jahres-Überlebensraten von Patienten, welche mit einer kompletten Inseltechnik versorgt wurden, betragen 74,7%, 63,0% und 32,0% und stellten somit eher geringere Werte dar.

Nach Reimplantation der supraaortalen Gefäße als partielle Insel zeigten die Patienten Überlebensraten von 77,7% nach einem und nach 5 Jahren auf.

Die Überlebensrate von Patienten, welche eine komplexe Transposition erhielten, lag bei 71,1% nach dem ersten Jahr. Nach 5 Jahren betrug diese noch 66,6% und wies damit auch auf eine etwas geringere Überlebenswahrscheinlichkeit hin.

Der Log-Rank-Test mit dem Ergebnis $p = 0,444$ zeigte keinen signifikanten Unterschied im Überleben zwischen den Patienten in Abhängigkeit der verschiedenen Reimplantationstechniken auf.

Zudem wurde in Abbildung 5 untersucht, ob ein Unterschied im Überleben in Abhängigkeit von der vorliegenden Aortenpathologie festgestellt werden kann.

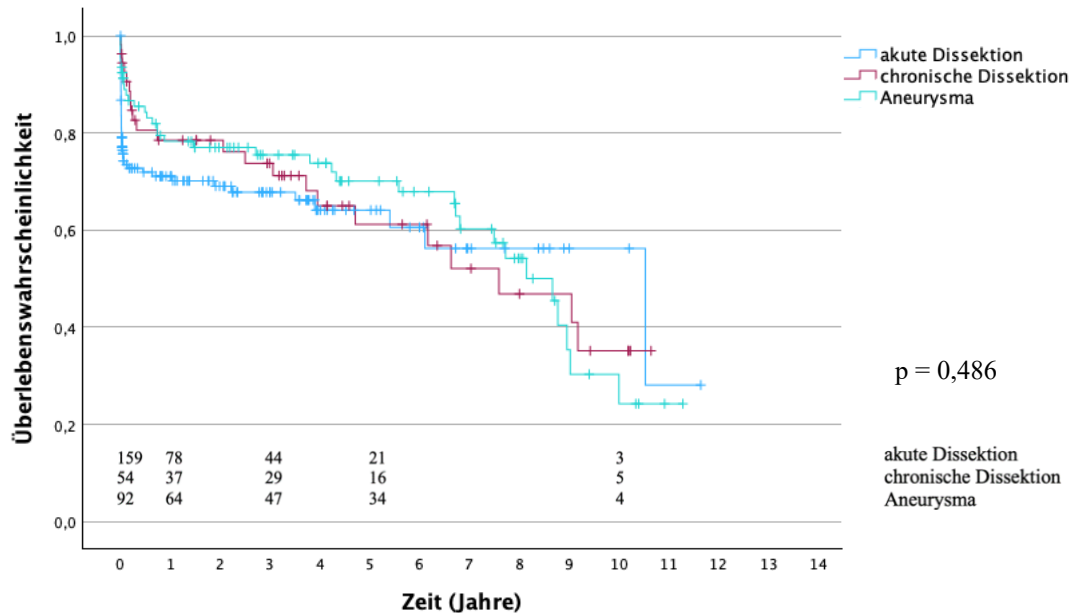


Abbildung 5: Überlebenschance der Patienten in Abhängigkeit von der Aortenpathologie

In der 1-Jahres-Überlebensrate zeigten sich die geringsten Werte mit 71,1% bei Patienten mit einer akuten Dissektion. Bei Vorliegen einer chronischen Dissektion oder eines Aneurysmas lagen diese bei 78,5% und 78,3%.

Die 5- und 10-Jahres-Überlebensraten lagen bei der akuten Dissektion bei 64,1% und 56,2%, bei der chronischen Dissektion bei 61,2% und 35,2% und bei einem Aneurysma bei 70,1% und 24,2%.

Die Unterschiede zwischen den untersuchten Gruppen waren nicht signifikant ($p = 0,486$).

Die folgende Kurve zeigt das Überleben nach Kaplan-Meier in Abhängigkeit von der Kanülierungsstelle.

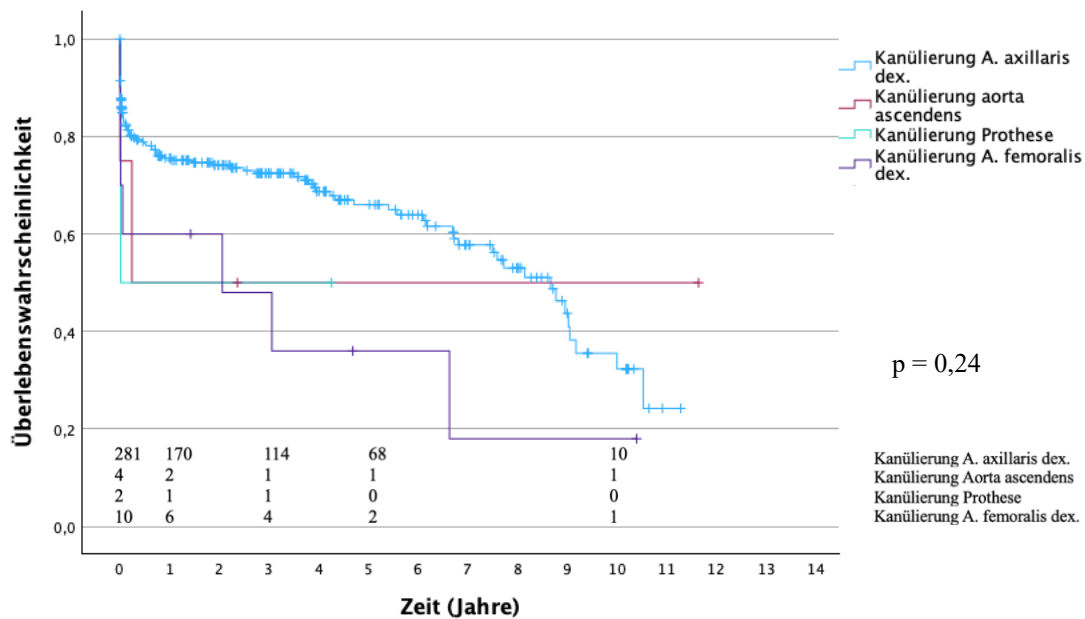


Abbildung 6: Überlebenswahrscheinlichkeit der Patienten in Abhängigkeit von der Kanülierungsstelle

Die 1-, 5- und 10-Jahres-Überlebensrate in der Gruppe der axillären Kanülierung betrug 75,6%, 66,0% und 32,3%.

In den weiteren Kanülierungsarten ergaben sich 1-Jahres-Überlebensraten von 50% bei Kanülierung der Aorta ascendens oder einer Prothesenkanülierung und 60% bei femoraler Kanülierung. Die meisten Patienten erhielten eine axilläre Kanülierung (n = 281). Daher zeigten sich geringe Fallzahlen und wenige Follow-up Daten in den übrigen Kanülierungsgruppen. Auch der Unterschied im Überleben zwischen den untersuchten Gruppen war nicht signifikant (p = 0,24).

Die Subgruppe der Patienten mit Kanülierung der A. carotis communis dextra (n = 8) wurde in der Kaplan-Meier-Kurve nicht dargestellt, da diese Kanülierungstechnik erst gegen Ende des Beobachtungszeitraums Anwendung fand und daher keine ausreichende Nachbeobachtungszeit vorlag.

3.4.1 Risikofaktoren für Mortalität

Zusätzlich zu den zuvor gezeigten Kaplan-Meier-Kurven wurden in den Abbildungen 7 - 12 weitere Überlebensraten in Abhängigkeit von Geschlecht, zerebraler Malperfusion, Dauer der Abklemmzeit, der antegraden Hirnperfusion und der distalen Ischämie sowie der Lokalisation der distalen Anastomose dargestellt.

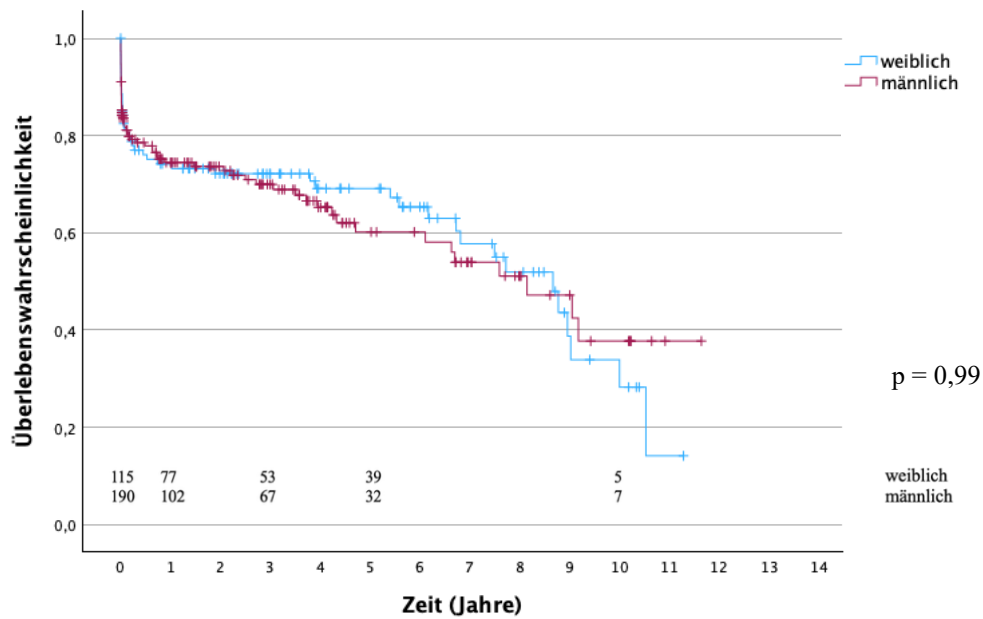


Abbildung 7: Überlebenswahrscheinlichkeit der Patienten in Abhängigkeit vom Geschlecht

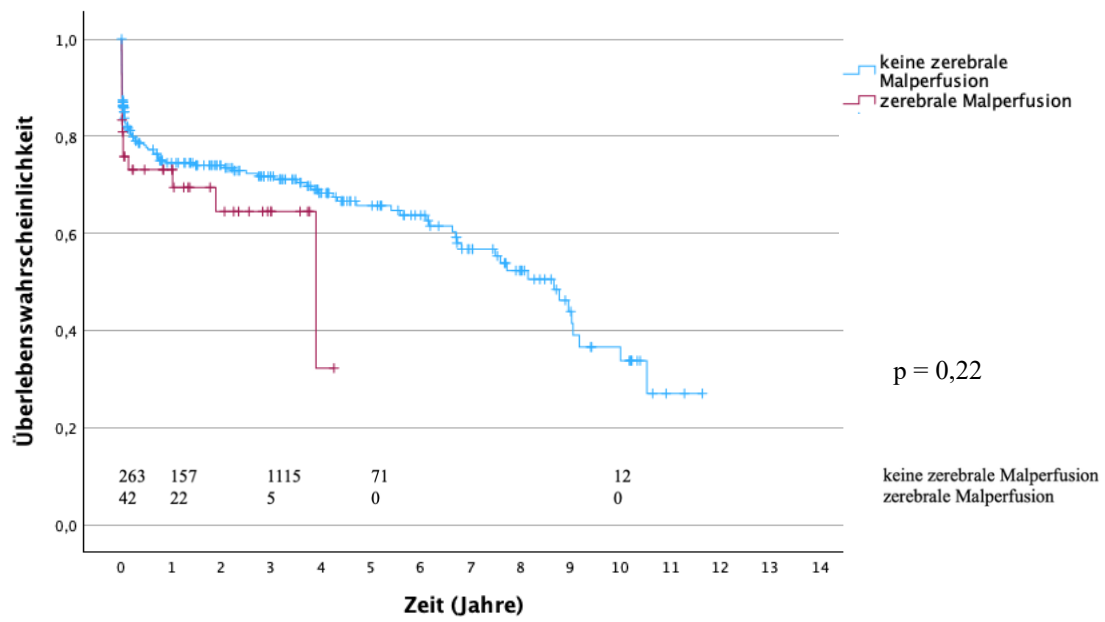


Abbildung 8: Überlebenswahrscheinlichkeit der Patienten mit und ohne zerebrale Malperfusion

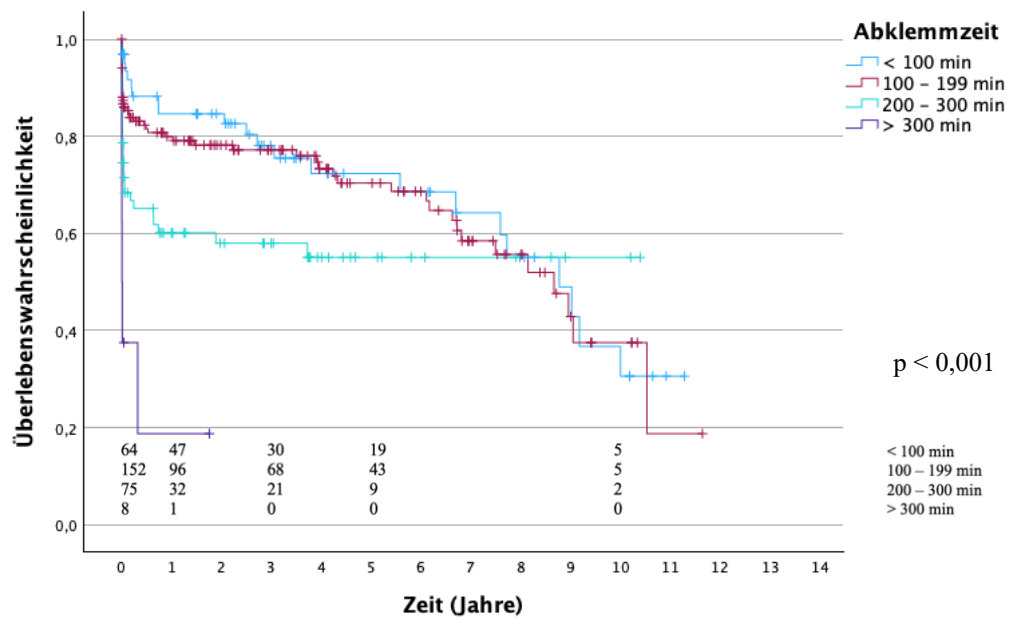


Abbildung 9: Überlebenswahrscheinlichkeit der Patienten in Abhängigkeit von der Dauer der Abklemmzeit

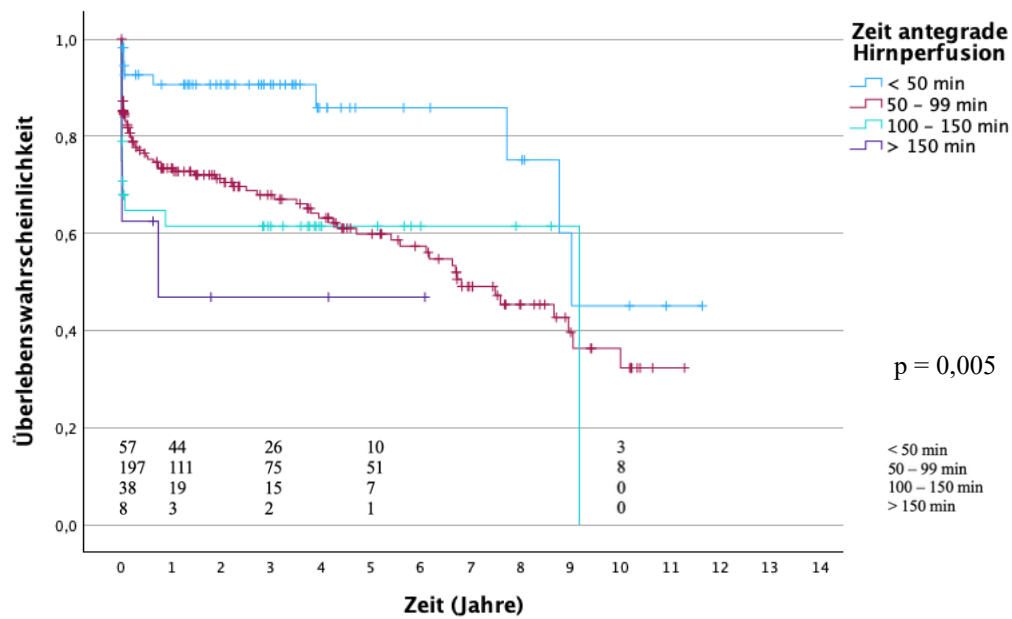


Abbildung 10: Überlebenswahrscheinlichkeit der Patienten in Abhängigkeit von der Dauer der antegraden Hirnperfusion

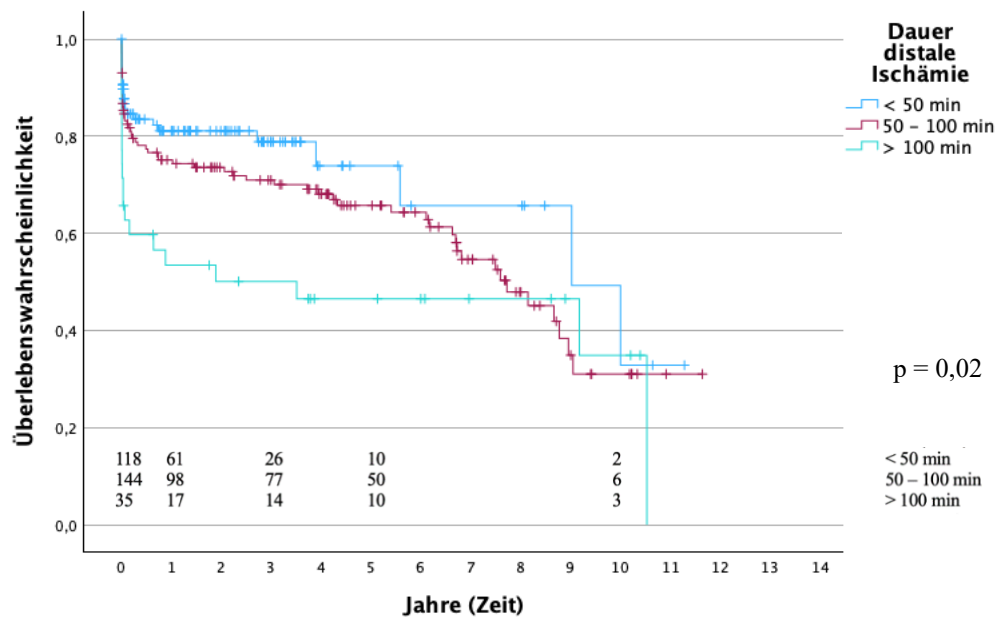


Abbildung 11: Überlebenswahrscheinlichkeit der Patienten in Abhängigkeit von der Dauer der distalen Ischämie

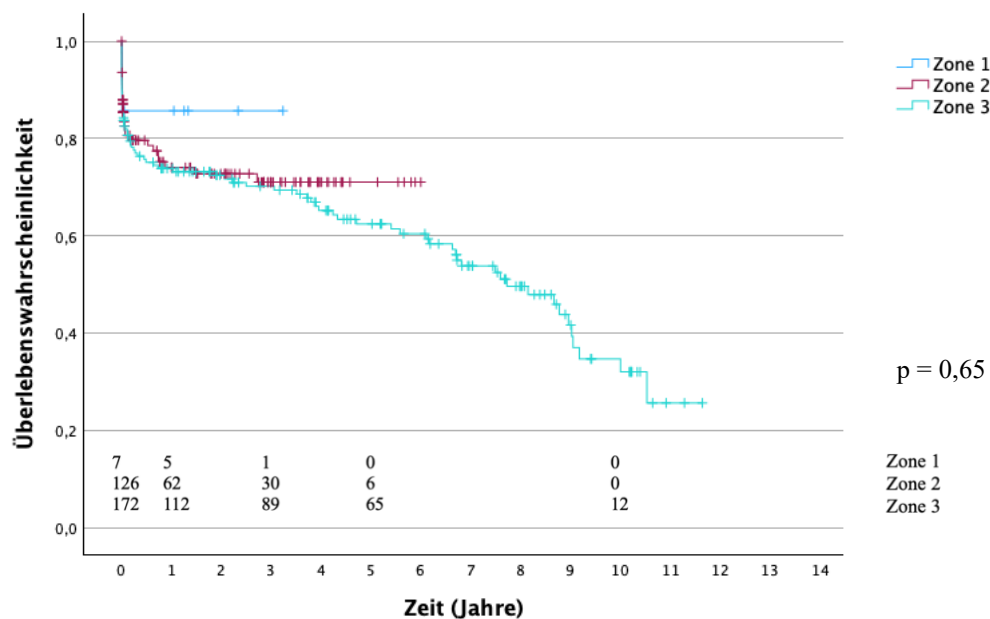


Abbildung 12: Überlebenswahrscheinlichkeit der Patienten in Abhängigkeit von der Lokalisation der distalen Anastomose

In Tabelle 10 werden die untersuchten Risikofaktoren für den Endpunkt Mortalität zusammengefasst.

Risikofaktoren für den Endpunkt Mortalität konnten mit dem Alter, der Dauer der intraoperativen Abklemmzeit, der antegraden Hirnperfusion und der distalen Ischämie signifikant identifiziert werden (mit $p < 0,05$). Keinen signifikanten Einfluss auf die Mortalität hatten dagegen das Geschlecht ($p = 0,99$), eine zerebrale Malperfusion ($p = 0,22$), die Lokalisation der arteriellen Kanülierung ($p = 0,32$), die Reimplantationstechnik der supraaortalen Gefäße ($p = 0,44$) sowie die Lokalisation der distalen Anastomose des Stent-Grafts ($p = 0,65$).

Tabelle 10: Einflussfaktoren auf die Mortalität

	p-Wert
Alter	< 0,01
Geschlecht	0,99
zerebrale Malperfusion	0,22
Dauer Abklemmzeit	< 0,01
Zeit antegrade Hirnperfusion	< 0,01
Lokalisation der arteriellen Kanülierung	0,32
Reimplantationstechnik der supraaortalen Gefäße	0,44
Lokalisation der distalen Anastomose (Zone 1, 2 oder 3)	0,65
Dauer der distalen Ischämie	0,02

3.5 Lebensqualität

Zur Evaluation der Lebensqualität wurden die Patienten anhand der Kategorien Erwerbstätigkeit, Berentung oder Arbeitslosigkeit in Gruppen unterteilt. 127 der im Follow-up befragten Patienten konnten Aussagen zu ihrer Lebensqualität anhand der betrachteten Kategorien tätigen.

Insgesamt waren zum Zeitpunkt des Follow-ups 35 Patienten erwerbstätig, 78 Patienten berentet und 14 Patienten arbeitslos.

Wie in Tabelle 11 sichtbar, konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Kanülierungsstelle, der Aortenpathologie oder der Reimplantationstechnik der supraaortalen Gefäße und den betrachteten Kategorien festgestellt werden.

Tabelle 11: Einfluss verschiedener Kanülierungsarten, Aortenpathologien und Reimplantationstechniken auf die Lebensqualität

	Erwerbstätig	Berentet	Arbeitslos	p-Wert
Anzahl (n)	35	78	14	
Kanülierungsstelle				
A. axillaris dextra	33 (94%)	76 (97%)	14 (100%)	0,52
A. femoralis dextra	4 (3%)	4 (7%)	2 (2%)	0,17
Aorta ascendens	0 (0%)	1 (1%)	0 (0%)	0,73
Prothese	0 (0%)	1 (1%)	0 (0%)	0,73
Aortenpathologie				
akute Dissektion	19 (54%)	38 (49%)	10 (71%)	0,29
chronische Dissektion	8 (23%)	13 (17%)	2 (14%)	0,68
Aneurysma	8 (23%)	27 (35%)	2 (14%)	0,19
Reimplantationstechnik				
Inseltechnik komplett	12 (34%)	34 (44%)	2 (14%)	0,10
Inseltechnik partiell	9 (26%)	18 (23%)	4 (29%)	0,89
komplexe Transposition	14 (40%)	26 (33%)	8 (57%)	0,23

Die Darstellung der Werte erfolgt in n (%).

3.6 Postoperative neurologische Defizite

3.6.1 Einfluss perioperativer Faktoren

Als Endpunkte zur Beurteilung der postoperativen Neurologie wurden das Vorhandensein eines permanenten oder transienten Apoplex, eines Querschnittes oder einer Rekurrensparese überprüft. Der Einfluss verschiedener intraoperativer Faktoren (Reimplantationstechnik der supraaortalen Gefäße, Kanülierungsstelle, Dauer der antegraden Hirnperfusion, Lokalisation der distalen Anastomose und Dauer der distalen Ischämie) auf die postoperative Neurologie ist in den folgenden Tabellen (Tabelle 12 - Tabelle 17) dargestellt.

Wie in Tabelle 12 ersichtlich, konnte bei Patienten, die mithilfe einer komplexen Transposition versorgt wurden, eine höhere Wahrscheinlichkeit eines permanenten Apoplex festgestellt werden (18% gegenüber 11% oder 10%). Mit einem p-Wert von 0,20 war dieser Zusammenhang allerdings nicht signifikant. Patienten, bei denen die supraaortalen Gefäße als partielle Insel in die Prothese implantiert wurden, zeigten dagegen geringere Raten eines permanenten Apoplex (10% statt 11% oder 18%), eines transienten Apoplex (8% statt 10% und 9%) oder einer Rekurrensparese (4% statt 11% oder 6%) als Patienten mit kompletter Inseltechnik oder komplexer Transposition. Diese und weitere in Tabelle 12 dargestellten Ergebnisse waren allerdings nicht signifikant.

Tabelle 12: Einfluss der Reimplantationstechniken auf die postoperative Neurologie

	Inseltechnik komplett	Inseltechnik partiell	Komplexe Transposition	p-Wert
Anzahl (n)	144	52	100	
Apoplex permanent	16 (11%)	5 (10%)	18 (18%)	0,20
Apoplex transient	14 (10%)	4 (8%)	9 (9%)	0,91
Querschnitt	12 (8%)	2 (4%)	2 (2%)	0,09
Rekurrensparese	16 (11%)	2 (4%)	6 (6%)	0,17

Die Darstellung der Werte erfolgt in n (%).

In Tabelle 13 ist das Auftreten präoperativer und postoperativer neurologischer Defizite in Abhängigkeit von der verwendeten Reimplantationstechnik dargestellt. Hierbei fällt auf, dass in der Subgruppe der kompletten und partiellen Inseltechnik postoperativ neurologische Defizite häufiger auftraten als präoperativ (27% vs. 16% und 21% vs. 15%). In der Subgruppe der komplexen Transposition zeigte sich dagegen postoperativ eine geringere Rate neurologischer Defizite als präoperativ (27% vs. 44%).

Tabelle 13: Vergleich präoperativer und postoperativer neurologischer Defizite

	Inseltechnik komplett	Inseltechnik partiell	Komplexe Transposition	p-Wert
Anzahl (n)	144	52	100	
neurologisches Defizit präoperativ	24 (16%)	8 (15%)	44 (44%)	< 0,01
neurologisches Defizit postoperativ	39 (27%)	11 (21%)	27 (27%)	0,67

Die Darstellung der Werte erfolgt in n (%).

Tabelle 14 zeigt die Unterschiede bei verschiedenen Kanülierungsstellen auf. Die meisten Patienten erhielten eine axilläre Kanülierung (n = 271). Einige weitere Kanülierungsarten wurden erst später eingeführt und zeigten daher nur geringe Fallzahlen (n ≤ 10) auf. Außerdem ist ersichtlich, dass die in Tabelle 14 dargestellten verschiedenen Kanülierungsarten keinen signifikanten Einfluss auf die postoperative Neurologie hatten.

Tabelle 14: Einfluss der Kanülierungsstelle auf die postoperative Neurologie

	A. axillaris dex.	A. carotis com. dex.	Aorta ascendens	Prothese	A. femoralis dex.	p- Wert
Anzahl (n)	271	8	4	2	10	
Apoplex permanent	35 (13%)	1 (13%)	1 (25%)	1 (50%)	1 (19%)	0,57
Apoplex transient	24 (9%)	1 (13%)	1 (25%)	0 (0%)	1 (10%)	0,82
Querschnitt	16 (6%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0,83
Recurrensparese	23 (9%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (10%)	0,86

Die Darstellung der Werte erfolgt in n (%).
com.: communis; dex.: dextra

Weiterhin wurde untersucht, ob die Dauer der antegraden Hirnperfusion einen Einfluss auf das neurologische Outcome nahm (vgl. Tabelle 15). Dabei hatten Patienten, deren antegrade Hirnperfusion zwischen 50 und 150 Minuten anhielt, die höchste Wahrscheinlichkeit für einen permanenten Apoplex (16% und 23%). Dies konnte auch mit einem p-Wert von 0,01 signifikant nachgewiesen werden. Die weiteren untersuchten Endpunkte (transienter Apoplex, Querschnitt und Rekurrensparese) konnten durch die Dauer der Hirnperfusion nicht signifikant beeinflusst werden.

Tabelle 15: Einfluss der Dauer der antegraden Hirnperfusion auf die postoperative Neurologie

	< 50 min	50 - 99 min	100 - 150 min	> 150 min	p-Wert
Anzahl (n)	57	192	35	7	
Apoplex permanent	1 (2%)	30 (16%)	8 (23%)	0 (0%)	0,01
Apoplex transient	4 (7%)	17 (9%)	4 (11%)	1 (14%)	0,86
Querschnitt	2 (4%)	12 (6%)	2 (6%)	0 (0%)	0,79
Recurrensparese	4 (7%)	18 (9%)	1 (3%)	1 (14%)	0,55

Die Darstellung der Werte erfolgt in n (%).

Wie in Tabelle 16 ersichtlich, zeigte die Lokalisation der distalen Anastomose des Stent-Grafts in Zone 3 höhere Wahrscheinlichkeiten für das Erlangen eines Querschnitts (7%) oder einer Rekurrensparese (10%) auf. Mit p-Werten von 0,26 und 0,25 konnte dieser Zusammenhang allerdings nicht signifikant nachgewiesen werden. Auch auf das Risiko eines Apoplex hatte die Lokalisation der distalen Anastomose keinen relevanten Einfluss.

Tabelle 16: Einfluss der Lokalisation der distalen Anastomose auf die postoperative Neurologie

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	p-Wert
Anzahl (n)	7	125	164	
Apoplex permanent	1 (14%)	19 (15%)	19 (12%)	0,65
Apoplex transient	1 (14%)	10 (8%)	16 (10%)	0,79
Querschnitt	0 (0%)	4 (3%)	12 (7%)	0,26
Rekurrensparese	0 (0%)	7 (6%)	17 (10%)	0,25

Die Darstellung der Werte erfolgt in n (%).

Die Dauer der distalen Ischämie als möglicher weiterer Einflussfaktor auf das neurologische Outcome wurde in Tabelle 17 dargestellt. Es zeigten sich dabei keine signifikanten Auswirkungen.

Tabelle 17: Einfluss der Dauer der distalen Ischämie auf die postoperative Neurologie

	< 50 min	50 - 100 min	> 100 min	p-Wert
Anzahl (n)	118	138	32	
Apoplex permanent	13 (11%)	18 (13%)	7 (22%)	0,27
Apoplex transient	7 (6%)	16 (12%)	4 (13%)	0,25
Querschnitt	6 (5%)	9 (7%)	1 (3%)	0,72
Rekurrensparese	5 (4%)	16 (12%)	1 (3%)	0,05

Die Darstellung der Werte erfolgt in n (%).

3.6.2 Risikofaktoren für permanenten und transienten Apoplex

In Tabelle 18 wurden Risikofaktoren für einen transienten oder permanenten Apoplex analysiert.

Signifikanten Einfluss (mit $p < 0,05$) auf das Auftreten eines permanenten oder transienten Apoplex nahmen insbesondere eine Beteiligung der Kopfgefäße an der Dissektion, eine präoperative zerebrale Malperfusion sowie klinische Symptome wie eine Synkope, Hemiplegie, Aphasie, Koma und ein im präoperativen cCT sichtbarer Apoplex. Bei Patienten mit einem permanenten Apoplex zeigte sich präoperativ in 77% der Fälle eine Dissektion der supraaortalen Gefäße, in 39% eine zerebrale Malperfusion, in 32% eine Synkope, in 26% eine Hemiplegie, in 16% eine Aphasie, in 5% ein Koma sowie in 15% ein im präoperativen cCT nachweisbarer Apoplex. Bei Patienten ohne einen Apoplex waren die entsprechenden Befunde mit Raten von 37%, 9%, 5%, 7%, 1%, 0% und 5% signifikant seltener nachweisbar.

Keine Risikofaktoren für die postoperative Ausprägung eines Apoplex stellten dagegen die Reimplantationstechnik der supraaortalen Gefäße, das Management der arteriellen Kanülierung und die Lokalisation der distalen Anastomose des Stent-Grafts dar.

Tabelle 18: Einflussfaktoren auf einen Apoplex

	Kein Apoplex	Apoplex transient	Apoplex permanent	p-Wert
Anzahl (n)	230	26	39	
Dissektion der Kopfgefäße	85 (37%)	15 (58%)	30 (77%)	< 0,01
Malperfusion zerebral	21 (9%)	6 (23%)	15 (39%)	< 0,01
Ausprägung der Klinik				< 0,01
Apoplex (im präop cCT)	11 (5%)	5 (19%)	6 (15%)	< 0,01
Synkope	12 (5%)	2 (7%)	12 (32%)	< 0,01
Hemiplegie	15 (7%)	7 (27%)	10 (26%)	< 0,01
Aphasie	3 (1%)	2 (8%)	6 (16%)	< 0,01
Neglect	2 (1%)	0 (0%)	0 (0%)	0,76
Epileptischer Anfall	1 (0%)	1 (4%)	0 (0%)	0,12
Koma	1 (0%)	0 (0%)	2 (5%)	0,02

Querschnitt	3 (1%)	1 (4%)	2 (5%)	0,23
Reimplantationstechnik der supraaortalen Gefäße				0,476
Inseltechnik komplett	114 (50%)	14 (54%)	16 (41%)	0,53
Inseltechnik partiell	48 (19%)	4 (15%)	5 (13%)	0,64
Komplexe Transposition	73 (32%)	8 (31%)	18 (46%)	0,20
Kanülierungsstelle				0,79
A. axillaris dextra	216 (94%)	24 (92%)	36 (92%)	0,90
A. carotis com. dextra	6 (3%)	1 (4%)	1 (3%)	0,94
Aorta ascendens	2 (1%)	1 (4%)	1 (3%)	0,36
Prothese	1 (0%)	0 (0%)	1 (3%)	0,30
A. femoralis dextra	8 (4%)	1 (4%)	1 (3%)	0,95
Lokalisation der distalen Anastomose				0,82
Zone 1	5 (2%)	1 (4%)	1 (3%)	0,87
Zone 2	96 (42%)	9 (35%)	19 (49%)	0,52
Zone 3	129 (56%)	16 (62%)	19 (49%)	0,57

Die Darstellung der Werte erfolgt in n (%).

cCT: kraniale Computertomographie; com.: communis

4 Diskussion

4.1 Allgemein

Die Frozen-Elephant-Trunk-Prozedur, ein einzeitiges Hybridverfahren, welches die Vorteile offener und endovaskulärer Operationen vereint, ist ein immer häufiger angewandtes Verfahren zur Behandlung verschiedener Aortenpathologien, wie der akuten und chronischen Aortendissektion sowie Aortenaneurysmata (Pichlmaier et al., 2007). In der vorgelegten Studie wurden in der Sana Herzchirurgie im Zeitraum vom 16.03.2009 bis 21.03.2022 305 Patienten mittels der FET-Technik behandelt. Das Ziel dieser Arbeit war, die verschiedenen Techniken zur Reimplantation der supraaortalen Gefäße zu evaluieren. Zusätzlich wurden allgemeine Überlebenswahrscheinlichkeiten und Risikofaktoren für die Endpunkte Mortalität und Apoplex betrachtet. Im Nachfolgenden soll dies diskutiert werden.

Das Patientenkollektiv wies ein mittleres Alter von $60,64 \pm 13,32$ Jahren auf. Weitere Patientencharakteristika wie Vorerkrankungen, Geschlechterverteilung und die Aortenpathologie waren ähnlich wie in vergleichbaren Studien von Tsagakis et al. und Arnold et al., daher kann von einem repräsentativen Patientenkollektiv ausgegangen werden (Arnold et al., 2023, Tsagakis et al., 2018).

4.1.1 Überlebenswahrscheinlichkeiten

Im Gesamtkollektiv zeigte sich eine 30-Tage-Mortalität von 18,4%. In der Literatur zeigen sich etwas niedrigere Werte zwischen 8,7% und 16% (Shrestha et al., 2017, Tian et al., 2020, Pacini et al., 2011, Shrestha et al., 2015b, Liakopoulos et al., 2020, Leontyev et al., 2013, Jakob et al., 2017). Diese Ergebnisse lassen sich aufgrund verschiedener Studiendesigns, unterschiedlicher Patientencharakteristika und Herkunftsländern nur bedingt mit den Hiesigen vergleichen. So zeigte sich zum Beispiel in einer 2023 veröffentlichten Studie von Lin et al. ein mittleres Alter der Patienten von $47,1 \pm 9,9$ Jahren, welches somit weit unterhalb des Durchschnittsalters von $60,64 \pm 13,32$ Jahren im hier untersuchten Patientenkollektiv lag (Lin et al., 2023). In einer vergleichbaren Studie von Liakopoulos et al. zeigten sich mit 16,2% ähnliche Werte für

die 30-Tage-Mortalität wie im hier betrachteten Patientenkollektiv (Liakopoulos et al., 2020).

Auch im 1-Jahres-Überleben fanden sich in der Literatur vergleichbare Raten wie die von uns ermittelte 1-Jahres-Überlebensrate von 74,3%. Hierfür fanden sich Werte von 80% (Pacini et al., 2011) und 78,7% (Liakopoulos et al., 2020).

Die 5-Jahres-Überlebensrate betrug in unserer Studie 64,4%. In vergleichbaren anderen Studien zeigten sich Werte von 40 % (Leontyev et al., 2013), 64,3% (Liakopoulos et al., 2020) und 69,9% (Arnold et al., 2023).

Die 10-Jahres-Überlebensrate konnte in der vorliegenden Studie mit 33,1% ermittelt werden.

In der Kaplan-Meier-Kurve des Gesamtkollektivs zeigte sich ein kontinuierlicher Abfall der Überlebenswahrscheinlichkeit nach 5 Jahren (vgl. Abbildung 2). Dies lässt sich teilweise durch einen hohen Anteil an Patienten im fortgeschrittenen Alter erklären. In den Folgejahren verstarben viele dieser Patienten häufig aufgrund altersbedingter Ursachen und nicht als Folge der aortalen Erkrankung und deren Therapie. Diese Annahme konnte auch mithilfe der Kaplan-Meier-Kurve der Altersklassen in Abbildung 3 bestärkt werden. Hier war der erneute Abfall der Überlebensrate nach 5 Jahren vor allem in den höheren Altersgruppen (> 50 Jahre) sichtbar.

In der Literatur sind bislang nur wenige langfristige Überlebensraten dokumentiert, da viele Studien nur kürzere Nachbeobachtungszeiträume erfassten. Mit einer 10-Jahres-Überlebensrate von 47% konnten Tsagakis et al. allerdings etwas bessere Werte als die vorliegend ermittelten (33,1%) aufzeigen (Tsagakis et al., 2020).

In einer vergleichbaren Studie aus Wien, in der 187 Patienten mittels der FET-Technik versorgt wurden, zeigte sich ein 5-Jahres-Überleben von 69,9% und ein 10-Jahres-Überleben von 53% (Arnold et al., 2023).

4.1.2 Risikofaktor Mortalität

Ein weiterer wichtiger Punkt dieser Arbeit war die Identifikation von Risikofaktoren für den Endpunkt Mortalität mit dem Ziel, die Mortalitätsrate durch eine geeignete Auswahl der Patienten und Anpassung der intraoperativen Maßnahmen zu senken. Als signifikante Risikofaktoren für den Endpunkt Mortalität wurde in unserer Studie das Alter, die Dauer der intraoperativen Abklemmzeit, der antegraden Hirnperfusion und der distalen Ischämie identifiziert. In einer Studie von Czerny et al. an 2537 Patienten der German Registry for Acute Typ A Aortic Dissection wurde das Überleben nach einem allgemeinen herzchirurgischen Eingriff bei akuter Typ-A-Dissektion betrachtet. Auch hier zeigte sich das Alter als Risikofaktor für die 30-Tage-Mortalität. Weitere Prädiktoren hierfür waren die Notwendigkeit von Katecholaminen bei Ankunft, eine präoperative kardiopulmonale Reanimation, eine präoperative Intubation, eine präoperative Hemiparese, eine koronare oder viszerale Malperfusion, die Dissektionsausbreitung bis in die Aorta descendens und ein vorangegangener herzchirurgischer Eingriff (Czerny et al., 2020). In der Literatur wurden als weitere Risikofaktoren für die Mortalität nach einer FET-Prozedur eine GFR < 50 ml/min, ein linksventrikulärer enddiastolischer Durchmesser < 45mm, persistierende abdominale Schmerzen, eine radiologische Malperfusion des Truncus coeliacus, ein intraoperativ angelegter koronarer Bypass oder eine kardiopulmonale Bypasszeit über 4 Stunden beschrieben (Lin et al., 2023).

4.2 Neurologisches Outcome

Neurologische Ausfallerscheinungen sind eine schwerwiegende und gefürchtete Komplikation nach einer FET-Prozedur. Daher wurde in dieser Arbeit das neurologische Outcome der Patienten untersucht. Hierfür wurden die Endpunkte Apoplex (transient oder permanent), Querschnitt oder Rekurrensparese betrachtet. Im Gesamtkollektiv dieser Studie zeigte sich bei 22 % aller Patienten ein Apoplex auf (13% permanent, 9% transient). 5% aller Patienten wiesen postoperativ einen Querschnitt und weitere 8% eine Rekurrensparese auf. Vergleicht man diese Ergebnisse mit weiteren aus der aktuellen Literatur, kann man sehen, dass niedrigere bis ähnliche Werte angegeben werden. Die Apoplexrate lag in der

Literatur zwischen 5% und 16,8% (Berger et al., 2022, Tsagakis et al., 2020, Jakob et al., 2017). In der bereits zuvor erwähnten vergleichbaren Studie an 187 Patienten aus Wien zeigte sich bei 10,2% der Patienten ein permanenter Apoplex sowie bei 2,7% eine Rückenmarksverletzung (Arnold et al., 2023). Andere Studien ermittelten Werte von 5% (Tsagakis et al., 2020), 7% (Jakob et al., 2017), 8,5% (Tsagakis and Jakob, 2019), 12,6% (Liakopoulos et al., 2020) und 13,6% (Berger et al., 2022) für einen permanenten Apoplex.

Tsagakis et al. konnten mit einer Rate von 4,9% für Rückenmarksverletzungen ähnliche Werte wie die hiesige Querschnittsrate von 5% ermitteln (Tsagakis and Jakob, 2019).

4.2.1 Risikofaktor Apoplex

Als signifikante Risikofaktoren ($p < 0,05$) für den Endpunkt Apoplex wurde in unserer Studie eine Beteiligung der Kopfgefäße an der Dissektion, eine präoperative zerebrale Malperfusion sowie klinische Symptome wie eine Synkope, Hemiplegie, Aphasie und Koma identifiziert. Das Vorliegen von Pathologien der supraaortalen Gefäße und somit eine Beteiligung dieser an der Dissektion erscheint als Risikofaktor nachvollziehbar, da dies zu einer zerebralen Minderperfusion führen und nachfolgend zu neurologischen Defiziten in Form eines Apoplex führen kann. Auch das präoperative Auftreten klinischer Symptome wie Synkope, Hemiplegie, Aphasie oder Koma deutet auf eine zerebrale Pathologie und Minderperfusion hin, wodurch die Wahrscheinlichkeit für das perioperative Auftreten eines Apoplex steigt.

Die Reimplantationstechnik der supraaortalen Gefäße und das Management der arteriellen Kanülierung nahmen dagegen keinen signifikanten Einfluss auf die Apoplexrate.

In der aktuellen Literatur fanden sich weitere Risikofaktoren für einen Apoplex. In einer Studie von Lin et al. wurden hierzu das Alter, die GFR, ein NYHA-Stadium $> II$, eine radiologisch identifizierte iliakal-femorale Malperfusion, eine Carotisstenose und eine kardiopulmonale Bypasszeit über 4 Stunden angegeben. Hierbei ist zu erwähnen, dass diese Studie ausschließlich Patienten mit einer akuten Typ-A-Dissektion einschloss (Lin et al., 2023). Weitere Risikofaktoren für einen Apoplex wurden von Berger et al. beschrieben. Dazu zählten das Alter (> 75 Jahre), präoperative neurologische Defizite und ein boviner Aortenbogen. Wie auch in der hiesigen Studie beschrieben, konnte kein

signifikanter Zusammenhang zwischen einem Apoplex und der Lokalisation der distalen Anastomose des Stentgrafts oder der arteriellen Kanülierungsstelle ermittelt werden (Berger et al., 2022).

Die in dieser Studie ermittelten Risikofaktoren zerebrale Malperfusion sowie klinische Symptome konnten auch von Wilson King et al. dargestellt werden. Hier konnte aufgezeigt werden, dass Patienten mit klinischen Symptomen einer Malperfusion ein erhöhtes Risiko für schwerwiegende Komplikationen aufwiesen (Wilson King et al., 2023). Auch unabhängig von der OP-Methode konnte bei Patienten mit einer akuten Aortendissektion die Dissektion der A. carotis communis als Risikofaktor für einen Apoplex aufgezeigt werden (Kreibich et al., 2020).

4.3 Reimplantationstechniken

4.3.1 Inseltechnik komplett

Die 1-, 5- und 10-Jahres-Überlebensraten betragen in der Subgruppe der kompletten Inseltechnik 74,7%, 63,0% und 32,0%. Damit wies diese Subgruppe die niedrigsten Werte auf, allerdings stellte sich der Unterschied nicht signifikant dar ($p = 0,44$).

Die komplette Inseltechnik wurde in der früheren Durchführungsperiode standardmäßig angewandt, daher waren hierfür mehr Langzeit-Daten verfügbar. Zusätzlich zeigten die Patienten in dieser Subgruppe ein signifikant ($p = 0,02$) höheres Durchschnittsalter von $62,83 \pm 12,90$ Jahre auf, was in der Beurteilung der Überlebensraten berücksichtigt werden sollte.

Leider gab es bisher nur wenige Studien, welche die angewandten Reimplantationstechniken während der FET-Prozedur verglichen. Zusätzlich unterschieden sich die Techniken zur Reimplantation der supraaortalen Gefäße je nach Aortenzentrum und im Verlauf der Zeit. Aufgrund fehlender Vergleichsstudien wurden in Folgenden Studien betrachtet, die Patienten einschlossen, welche einen totalen Aortenbogensersatz im Allgemeinen erhielten und somit nur teilweise die FET-Prozedur Anwendung fand.

Schoenhoff et al. untersuchte Reimplantationstechniken (komplette Inseltechnik vs. separate Implantation) an 3345 Patienten anhand des internationalen ARCH-Registers. Es zeigte sich zwischen den Subgruppen kein signifikanter Unterschied im Überleben.

Im Endpunkt neurologische Defizite zeigte sich in der gesamten Kohorte die komplette Inseltechnik dagegen als signifikanter Prädiktor für niedrigere Apoplexraten. Wurde allerdings die durch Matching angegliche Patientengruppe betrachtet, zeigte sich der Unterschied nicht mehr signifikant (Schoenhoff et al., 2018).

Weitere Vergleiche der Reimplantationstechniken während eines totalen Aortenbogensatzes zeigten keine signifikanten Unterschiede im Überleben oder der Rate an neurologischen Dysfunktionen (Shrestha et al., 2014, Di Eusanio et al., 2004). In unserer Studie an der FET-Prozedur zeigte sich nach der kompletten Inseltechnik ein etwas geringeres Risiko für einen permanenten Apoplex (11% vs. 18%) auf, allerdings war dieser Unterschied nicht signifikant ($p = 0,20$).

Als mögliche Gründe für die vergleichbaren Ergebnisse zu den anderen Subgruppen wurden von Di Marco et al. gute langfristige Durchgängigkeitsraten der angelegten Anastomose zwischen Insel und Stentgraft beschrieben. Der native Erhalt der supraaortalen Gefäße hatte zur Folge, dass nur eine Anastomose zum Anschluss dieser an die Prothese notwendig war (Di Marco et al., 2023). Außerdem ließen sich dadurch auch signifikant geringere OP-Zeiten nachweisen. Dies zeigte sich in unserer Studie in signifikant kürzeren Dauern des kardiopulmonalen Bypasses, der aortalen Abklemmzeit und der antegraden Hirnperfusion mit jeweils $p < 0,01$.

In den präoperativen Patientencharakteristika fiel auf, dass signifikant häufiger Vorerkrankungen wie ein Hypertonus, COPD und Diabetes mellitus auftraten ($p = 0,01$, $p < 0,01$ und $p < 0,01$). Außerdem zeigten die Patienten seltener neurologische Defizite, insbesondere in Form einer Hemiplegie, eines Apoplex im präoperativen cCT, einer zerebralen Malperfusion, sowie eine Dissektion der Kopfgefäße ($p < 0,01$, $p = 0,04$, $p < 0,01$ und $p < 0,01$). Diese Faktoren lassen sich somit auch als Einflusskriterien für die Auswahl der Reimplantationsmethode aufzeigen.

4.3.2 Inseltechnik partiell

Die partielle Inseltechnik stellte in unserer Kohorte mit 17% die kleinste Subgruppe dar. Sie wurde hauptsächlich als Alternative zur kompletten Inseltechnik nach Einführung der Proximalisierung der distalen Anastomose in Zone 2 angewandt.

Patienten, die in der vorliegenden Studie eine partielle Inseltechnik erhielten, wiesen, ähnlich wie die komplette Inseltechnik-Gruppe, im Vergleich zur komplexen Transposition-Gruppe präoperativ signifikant seltener eine akute Dissektion, eine Dissektion der Kopfgefäße, eine Herzbeutelamponade oder einen True-Lumen-Kollaps auf. Zusätzlich zeigten sich in dieser Subgruppe präoperativ seltener ein Apoplex im cCT, eine zerebrale Malperfusion oder eine Hemiplegie ($p = 0,04$, $p < 0,01$ und $p < 0,01$).

Ähnliche Ergebnisse wurden auch von Dohle et al. in einer Studie zum totalen Aortenbogensersatz gezeigt. Auch hier wiesen Patienten, die mit einer partiellen Inseltechnik versorgt wurden, signifikant seltener eine präoperative Dissektion der Kopfgefäße auf. Allerdings konnte aufgrund guter postoperativer Ergebnisse hinsichtlich des Remodelingverhaltens aufgezeigt werden, dass die Inseltechnik auch bei dissezierten supraaortalen Gefäßen eine geeignete OP-Methode ist (Dohle et al., 2023). Dies lässt die Überlegung zu, ob in Zukunft noch weitere Patienten von einer partiellen Inseltechnik profitieren könnten.

Zusätzlich werden von Zhong et al. gute Durchgängigkeitsraten an der angelegten Anastomose der partiellen Insel berichtet (Zhong et al., 2018).

Wie bereits in der Literatur beschrieben, führte auch in unserer Studie die partielle Inseltechnik zu kürzeren OP-Zeiten, insbesondere des kardiopulmonalen Bypasses, der aortalen Abklemmzeit und der antegraden Hirnperfusion (Detter et al., 2019). Die Unterschiede waren jeweils mit $p < 0,01$ signifikant.

Die 1- und 5-Jahres-Überlebensrate dieser Subgruppe betrug in unserer Kohorte 77,7% und stellte damit im Vergleich zu den zwei anderen Subgruppen etwas bessere Werte dar, auch wenn der gezeigte Unterschied nicht signifikant war ($p = 0,44$). Auch im neurologischen Outcome zeigten sich gute Ergebnisse. Mit einer Rate von 9% für einen permanenten Apoplex konnten in dieser Subgruppe die niedrigsten Werte ermittelt werden, wobei die Unterschiede nicht signifikant waren ($p = 0,20$).

Auch von Tsagakis et al. wurden erfreuliche Überlebensraten sowie ein günstiges neurologisches Outcome nach Rerouting der LSA beschrieben (Tsagakis et al., 2015). Somit kann bei der partiellen Inseltechnik von einer gleichwertigen Alternative zur kompletten Inseltechnik ausgegangen werden.

4.3.3 Komplexe Transposition

Die komplexe Transposition wurde in der vorliegenden Studie an 101 Patienten (33%) durchgeführt und fand vermehrt gegen Ende der untersuchten Zeitdauer Anwendung. In den präoperativen Patientencharakteristika fiel auf, dass die Patienten signifikant häufiger ausgeprägte Pathologien mit Beteiligung der supraaortalen Gefäße und schwerwiegendere Symptome aufwiesen. Die Patienten zeigten häufiger eine akute Dissektion ($p < 0,01$), eine Stanford Typ-A-Dissektion ($p = 0,04$), eine Dissektion der Kopfgefäße ($p < 0,01$), ein Entry in der Aorta ascendens ($p < 0,01$), eine Herzbeutelamponade ($p < 0,01$), einen Perikarderguss ($p < 0,01$), einen True-Lumen-Kollaps ($p < 0,01$) und einen Bedarf an Katecholaminen ($p = 0,02$) auf. Zusätzlich waren auch die neurologischen Befunde präoperativ signifikant stärker ausgeprägt in Form einer Hemiplegie, eines im präoperativen cCT sichtbaren Apoplex oder einer zerebralen Malperfusion mit $p < 0,01$, $p = 0,04$ und $p < 0,01$. Die ausgeprägten neurologischen Symptome sowie vorliegende Pathologien in den supraaortalen Gefäßen stellten somit einen entscheidenden Faktor bei der Auswahl der Reimplantationstechnik dar.

Intraoperativ zeigte sich die komplexe Transposition häufig zeitaufwendiger, da mehr Anastomosen angelegt wurden. Dies spiegelte sich in der vorliegenden Studie in längeren Zeitdauern des kardiopulmonalen Bypasses, der aortalen Abklemmzeit und der antegraden Hirnperfusion wider ($p < 0,01$).

Andere Studien beschrieben dagegen, dass es durch den Einsatz der komplexen Transposition zu kürzeren kardiopulmonalen Bypasszeiten und kürzeren myokardialen Ischämiezeiten kam (Smith and Heijmen, 2023). Während der komplexen Transposition war es möglich, das Herz direkt nach Stentimplantation und Naht der distalen Anastomose zu perfundieren, während über die supraaortalen Gefäße weiterhin eine selektive Hirnperfusion durchgeführt werden konnte.

Beim Einsatz der kompletten Inseltechnik war dies nicht möglich, da für die Anlage der Anastomose zwischen Insel und Prothese ein distaler Kreislaufstillstand unter uni- oder bilateraler Hirnperfusion notwendig war (Smith and Heijmen, 2023).

Die 1- und 5-Jahres-Überlebensraten betragen in der Subgruppe der komplexen Transposition 71,1% und 66,6% und stellten damit keinen signifikanten Unterschied im Vergleich zu den anderen Subgruppen dar ($p = 0,44$).

Zusätzlich zeigte sich anhand der postoperativen permanenten Apoplexraten und der Anzahl an Querschnitten kein signifikanter Unterschied ($p = 0,20$ und $p = 0,09$) im neurologischen Outcome zwischen den verschiedenen Subgruppen. Ähnliche Ergebnisse konnten auch in verschiedenen Studien an der Elephant-Trunk-Prozedur nachgewiesen werden (Shrestha et al., 2014, Di Eusanio et al., 2004).

Werden alle diese Ergebnisse nun mit dem Wissen betrachtet, dass die Patienten in dieser Subgruppe präoperativ häufiger stärker ausgeprägte Befunde in Form einer Beteiligung der supraaortalen Gefäße und mehr klinische Symptome aufwiesen, können die gleichwertigen Ergebnisse positiv gewertet werden. Dies zeigt auf, dass Patienten, die präoperativ Pathologien in den supraaortalen Gefäßen oder neurologische Symptome aufweisen, von einer komplexen Transposition der supraaortalen Gefäße profitieren können. Daher erscheint eine individuelle Therapieentscheidung zur Reimplantationstechnik anhand präoperativer Symptome und einer Beteiligung der supraaortalen Gefäße sinnvoll. Allerdings sollte, wie auch von Smith und Heijmen beschrieben, die separate Reimplantation aufgrund fehlender Unterschiede im Outcome nicht standardmäßig in allen Fällen durchgeführt werden (Smith and Heijmen, 2023). Obwohl in der vorliegenden Studie der Unterschied im postoperativen neurologischen Outcome zwischen den Reimplantationstechniken statistisch nicht signifikant war ($p = 0,67$), zeigte sich ein tendenzieller Unterschied. In der Subgruppe mit komplexer Transposition lag die Rate postoperativer neurologischer Defizite unter der präoperativen Rate (27% vs. 44%). In den Subgruppen der kompletten und partiellen Inseltechnik wurde dagegen ein Anstieg der Rate an postoperativen neurologischen Defiziten im Vergleich zur präoperativen Rate aufgezeichnet (27% vs. 16% und 21% vs. 15%). Dies kann zusätzlich darauf hinweisen, dass die Anwendung der komplexen

Transposition insbesondere bei Patienten mit bereits präoperativ vorhandenen neurologischen Defiziten sinnvoll sein kann.

4.4 Kanülierungsart

Insgesamt wurde bei 271 Patienten die A. axillaris dextra kanüliert. Die A. carotis communis dextra wurde bei 8 Patienten, die Aorta ascendens bei 4 Patienten kanüliert, eine Prothesenkanülierung fand bei 2 Patienten und eine Kanülierung der A. femoralis dextra bei 10 Patienten statt. Eine Kanülierung der A. carotis communis dextra wurde bevorzugt durchgeführt, wenn die supraaortalen Gefäße, insbesondere die rechte A. carotis interna, an der Dissektion in Form eines kompletten oder subtotalen Gefäßverschlusses beteiligt waren. Entsprechend kam es in der Subgruppe der komplexen Transposition, die signifikant häufiger eine Dissektion der supraaortalen Gefäße aufwies ($p < 0,01$), in 7 von 8 Fällen zu dieser Kanülierungsart. Die axilläre Kanülierung wurde hingegen standardmäßig durchgeführt. Auch in der Literatur zeigte die arterielle Kanülierung über die A. axillaris dextra gute Ergebnisse auf und wurde somit häufig als Kanülierungsstelle beschrieben (Benedetto et al., 2015, Ren et al., 2015). Eine Metaanalyse von 8 Studien mit insgesamt 793 Patienten zeigte, dass bei akuten Aortendissektionen Typ A die axilläre Kanülierung im Vergleich zur femoralen Kanülierung mit einem verminderten Risiko für die Krankenhausmortalität und permanentem neurologischen Defizit einherging (Benedetto et al., 2015). Allerdings wurde in der aktuellen Leitlinie zur Behandlung akuter Aortendissektionen aufgrund des Vorliegens von Fallstudien und nur wenigen Metaanalysen keine Empfehlung bezüglich der arteriellen Kanülierungsstelle ausgesprochen (DGTHG, 2021). In der vorliegenden Studie konnten hinsichtlich des Outcomes keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kanülierungsstellen ermittelt werden. Aufgrund hoher Fallzahlen in der Gruppe der axillären Kanülierung und geringer Fallzahlen in den übrigen Gruppen war die Aussagekraft der Ergebnisse jedoch eingeschränkt. Die Überlebenswahrscheinlichkeit unterschied sich in den untersuchten Gruppen nicht signifikant ($p = 0,24$). Auch die Rate eines postoperativen permanenten Apoplex, eines transienten Apoplex und eines Querschnittssyndroms zeigte keinen signifikanten Unterschied ($p = 0,57$, $p = 0,82$ und $p = 0,83$).

4.5 Studienlimitationen

In dieser Studie erfolgte die Zuteilung der Patienten in ihre jeweilige Subgruppe nicht randomisiert, sodass eine Strukturgleichheit nicht gewährleistet werden und mögliche Confounding-Effekte nicht sicher ausgeschlossen werden konnten. Die monozentrische Durchführung und der Einfluss der institutionellen Erfahrung stellte eine weitere Limitation dar und sollte zusätzlich in der Betrachtung der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Die Lebensqualität der Patienten wurde anhand der Kategorien Berufstätigkeit, Arbeitslosigkeit und Berentung erhoben. Dies ließ nur bedingt Rückschlüsse auf die Lebensqualität zu, da viele Patienten zum Zeitpunkt der Operation und des Follow-ups bereits aufgrund ihres Alters und unabhängig ihrer Erkrankung berentet waren. Außerdem traten während des Beobachtungszeitraums Veränderungen im intraoperativen Vorgehen auf, wie beispielsweise die Proximalisierung der distalen Anastomose, die Einführung der distalen Perfusion sowie Veränderungen im Temperaturmanagement, wodurch das Outcome der Studie möglicherweise zusätzlich beeinflusst wurde.

Da die jeweiligen Operateure mit ihren individuellen OP-Outcomes nicht erfasst wurden, könnte dies eine mögliche weitere Limitation der Studie darstellen.

4.6 Fazit

Die Frozen-Elephant-Trunk-Prozedur zählt als Therapie von Aortendissektionen und Aneurysmata zu den komplexen Operationen der Herzchirurgie mit erheblichen perioperativen Risiken und möglichen Komplikationen. Daher wurden in der vorliegenden Studie die langfristigen Überlebensraten sowie Risikofaktoren für den Endpunkt Mortalität und Apoplex ermittelt. In der Literatur ließen sich bezüglich der Überlebensraten ähnliche bis teilweise bessere Ergebnisse als in der vorliegenden Studie finden. Als Risikofaktoren für den Endpunkt Mortalität ließen sich das Alter und die Dauer der intraoperativen Abklemmzeit, der antegraden Hirnperfusion und der distalen Ischämie identifizieren. Für den Endpunkt Apoplex konnten eine Beteiligung der Kopfgefäße an der Dissektion, eine präoperative zerebrale Malperfusion sowie klinische Symptome wie eine Synkope, Hemiplegie, Aphasie, Koma und ein im präoperativen

cCT nachweisbarer Apoplex als relevante Faktoren aufgezeigt werden. Diese Parameter können bereits präoperativ evaluiert werden und somit eine Hilfe für die weitere Therapieplanung darstellen.

Einige dieser Faktoren, wie z. B. klinische Symptome oder eine zerebrale Malperfusion, wurden auch von anderen Autoren in der Literatur beschrieben. Ein weiterer wichtiger zu betrachtender Endpunkt ist das neurologische Outcome, insbesondere das Auftreten eines Apoplex, eines Querschnitts oder einer Rekurrensparese. Abhängig von den zugrunde liegenden Studien zeigten sich hierfür deutlich unterschiedliche Ergebnisse.

Im Vergleich der untersuchten Reimplantationstechniken der supraaortalen Gefäße zeigte sich in dieser Arbeit kein signifikanter Unterschied im Überleben oder neurologischen Outcome. Mit der kompletten Inseltechnik konnten aufgrund der Anwendung bereits zu Beginn der untersuchten Zeitspanne einige langfristige Daten ermittelt werden. Die Überlebensraten waren in dieser Subgruppe am niedrigsten, allerdings zeigte sich dies nicht signifikant. Patienten, bei denen eine komplexe Transposition durchgeführt wurde, zeigten präoperativ signifikant häufiger schwerwiegende Befunde in Form von neurologischen Symptomen und ausgeprägten Aortenpathologien mit Beteiligung der supraaortalen Gefäße. Trotzdem waren die Überlebensraten und das neurologische Outcome dieser Subgruppe vergleichbar mit den Subgruppen der kompletten oder partiellen Inseltechnik. Zudem wies diese Subgruppe postoperativ eine niedrigere Rate neurologischer Defizite im Vergleich zur präoperativen Situation auf.

Die Wahl der Reimplantationstechnik sollte daher unter Berücksichtigung patientenspezifischer Faktoren wie der Anamnese, den Komorbiditäten, der Aortenpathologie, präoperativen neurologischen Defiziten und intraoperativen Kriterien erfolgen.

Bisher gibt es erst wenige, vergleichbare Studien in der Literatur, sodass auch hier noch keine klare Empfehlung hinsichtlich der Wahl der Reimplantationstechnik gegeben wird.

Die Platzierung der arteriellen Kanülierungsstelle zeigte keine signifikanten Unterschiede im Überleben und neurologischen Defiziten auf. Dieses Ergebnis ist nur bedingt aussagekräftig, da in der vorliegenden Arbeit bei den meisten Patienten eine axilläre Kanülierung durchgeführt wurde und die Subgruppen der anderen Kanülierungsarten nur sehr geringe Fallzahlen aufweisen. Daher sollten diese Ergebnisse in weiteren Studien mit größeren Fallzahlen überprüft werden.

5 Zusammenfassung

Die Frozen-Elephant-Trunk-Technik wird zur operativen Therapie ausgeprägter Aortenbogenpathologien angewandt. Hierbei wird eine Hybridprothese, die eine klassische Gefäßprothese für den Aortenbogen und einen Stentgraft für die deszendierende Aorta beinhaltet, eingesetzt. Die FET-Prozedur wurde 1994 erstmals von Kato et al. durchgeführt und zeigt im Vergleich zur herkömmlichen Elephant-Trunk-Technik oder einem Teilbogensersatz gute Ergebnisse, sodass sie heutzutage weltweit angewandt wird (Kato et al., 1996, Wisniewski et al., 2024, Pichlmaier et al., 2007).

Das Ziel der vorliegenden Studie war, Überlebenswahrscheinlichkeiten und das neurologische Outcome der Patienten nach der FET-Prozedur zu ermitteln und die verschiedenen Techniken zur Reimplantation der supraaortalen Gefäße zu evaluieren.

Dafür wurden insgesamt 305 Patienten in die Studie eingeschlossen und im Zeitraum von März 2009 bis März 2022 durchschnittlich $2,8 \pm 3,1$ Jahre nachbeobachtet. Die Patienten wurden anhand ihrer Reimplantationstechnik der supraaortalen Gefäße in drei verschiedene Gruppen unterteilt: komplette Inseltechnik $n = 152$, partielle Inseltechnik $n = 52$ und komplexe Transposition $n = 101$. Die Patienten in der Gruppe der komplexen Transposition präsentierten sich präoperativ signifikant häufiger mit einer akuten Dissektion, einer Stanford Typ-A-Dissektion, einer Dissektion der Kopfgefäße, einer Herzbeutelamponade, einem True-Lumen-Kollaps, einer Hemiplegie oder einer zerebralen Malperfusion.

Die 1-, 5- und 10-Jahres-Überlebensraten betragen in der Gesamtkohorte 74,3%, 64,4% und 33,1%. Auch wenn die Subgruppe der kompletten Inseltechnik etwas bessere Überlebensraten aufwies, zeigte sich mit einem p-Wert von 0,44 kein signifikanter Unterschied in den Überlebensraten in Abhängigkeit von der Reimplantationstechnik. Für den Endpunkt Mortalität konnten die Risikofaktoren Alter und Dauer der intraoperativen Abklemmzeit, der antegraden Hirnperfusion und der distalen Ischämie identifiziert werden (mit $p < 0,05$). Die postoperative permanente Apoplexrate betrug im Gesamtkollektiv 13%. Die postoperativen neurologischen Defizite konnten weder von der arteriellen Kanülierungsstelle noch von der Lokalisation der distalen

Anastomose oder der Dauer der distalen Ischämie signifikant beeinflusst werden. Auch die Art der Reimplantationstechnik nahm keinen signifikanten Einfluss auf die Endpunkte permanenter und transienter Apoplex, Querschnitt und Rekurrensparese ($p = 0,20$, $p = 0,9$, $p = 0,09$ und $p = 0,17$).

Als Risikofaktoren für einen perioperativen Apoplex stellten sich eine Beteiligung der Kopfgefäße an der Dissektion, eine zerebrale Malperfusion sowie klinische Symptome wie eine Synkope, Hemiplegie, Aphasie, Koma und ein im präoperativen cCT sichtbarer Apoplex dar (mit $p < 0,05$).

In der Literatur werden etwas niedrigere bis vergleichbare Werte für die Überlebenschancen und Apoplexraten nach der FET-Prozedur berichtet. Auch die in der vorliegenden Studie ermittelten Risikofaktoren für die Mortalität und einen Apoplex konnten teilweise von Ergebnissen in der Literatur bestätigt werden. Zusammenfassend zeigte sich in der vorliegenden Studie keine klare Überlegenheit einer bestimmten Reimplantationstechnik, was auch in der Literatur beschrieben wird. Eine Berücksichtigung patientenspezifischer Faktoren wie Anamnese, Komorbiditäten, Aortenpathologie, präoperative neurologische Defizite und intraoperative Kriterien ist daher bei der Auswahl der Reimplantationstechnik zu bevorzugen.

6 Literaturverzeichnis

- ARNOLD, Z., GEISLER, D., ASCHACHER, T., WINKLER, B., LENZ, V., CRAILSHEIM, I., FOLKMANN, S., HARRER, M., MOIDL, R., GRABENWOGER, M. & WEISS, G. 2023. Long-Term Results with 187 Frozen Elephant Trunk Procedures. *J Clin Med*, 12.
- BACHET, J. & GUILMET, D. 2002. Brain protection during surgery of the aortic arch. *J Card Surg*, 17, 115-24.
- BENEDETTO, U., MOHAMED, H., VITULLI, P. & PETROU, M. 2015. Axillary versus femoral arterial cannulation in type A acute aortic dissection: evidence from a meta-analysis of comparative studies and adjusted risk estimates. *Eur J Cardiothorac Surg*, 48, 953-9.
- BERGER, T., KREIBICH, M., MUELLER, F., BREURER-KELLNER, L., RYLSKI, B., KONDOV, S., SCHROFEL, H., PINGPOH, C., BEYERSDORF, F., SIEPE, M. & CZERNY, M. 2022. Risk factors for stroke after total aortic arch replacement using the frozen elephant trunk technique. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 34, 865-871.
- BERRETTA, P., PATEL, H. J., GLEASON, T. G., SUNDT, T. M., MYRMEL, T., DESAI, N., KORACH, A., PANZA, A., BAVARIA, J., KHOYNEZHAD, A., WOZNICKI, E., MONTGOMERY, D., ISSELBACHER, E. M., DI BARTOLOMEO, R., FATTORI, R., NIENABER, C. A., EAGLE, K. A., TRIMARCHI, S. & DI EUSANIO, M. 2016. IRAD experience on surgical type A acute dissection patients: results and predictors of mortality. *Ann Cardiothorac Surg*, 5, 346-51.
- BERRETTA, P., TRIMARCHI, S., PATEL, H. J., GLEASON, T. G., EAGLE, K. A. & DI EUSANIO, M. 2018. Malperfusion syndromes in type A aortic dissection: what we have learned from IRAD. *J Vis Surg*, 4, 65.
- BORST, H. G., SCHAUDIG, A. & RUDOLPH, W. 1964. Arteriovenous Fistula of the Aortic Arch: Repair during Deep Hypothermia and Circulatory Arrest. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 48, 443-7.
- BORST, H. G., WALTERBUSCH, G. & SCHAPS, D. 1983. Extensive aortic replacement using "elephant trunk" prosthesis. *Thorac Cardiovasc Surg*, 31, 37-40.
- CHAVANON, O., BAGUET, J. P., ALBALADEJO, P., BLIN, D. & VANZETTO, G. 2011. Direct admission to the operating room: an efficient strategy for patients with diagnosed or highly suspected acute type a aortic dissection. *Can J Cardiol*, 27, 685-91.
- COADY, M. A., RIZZO, J. A., GOLDSTEIN, L. J. & ELEFTERIADES, J. A. 1999. Natural history, pathogenesis, and etiology of thoracic aortic aneurysms and dissections. *Cardiol Clin*, 17, 615-35; vii.
- CONZELMANN, L. O., KRUGER, T., HOFFMANN, I., RYLSKI, B., EASO, J., OEZKUR, M., KALLENBACH, K., DAPUNT, O., KARCK, M., WEIGANG, E. & TEILNEHMENDEN, G.-Z. 2011. [German Registry for Acute Aortic Dissection Type A (GERAADA): initial results]. *Herz*, 36, 513-24.
- COOLEY, D. A., DEBAKEY, M. E. & MORRIS, G. C., JR. 1957. Controlled extracorporeal circulation in surgical treatment of aortic aneurysm. *Ann Surg*, 146, 473-85; discussion 485-6.

- CREECH, O., JR., DEBAKEY, M. E. & MAHAFFEY, D. E. 1956. Total resection of the aortic arch. *Surgery*, 40, 817-30.
- CZERNY, M., GOTTARDI, R., ZIMPFER, D., SCHODER, M., GRABENWOGER, M., LAMMER, J., WOLNER, E. & GRIMM, M. 2007. Mid-term results of supraaortic transpositions for extended endovascular repair of aortic arch pathologies. *Eur J Cardiothorac Surg*, 31, 623-7.
- CZERNY, M., RYLSKI, B., KARI, F. A., KREIBICH, M., MORLOCK, J., SCHEUMANN, J., KONDOV, S., SUDKAMP, M., SIEPE, M. & BEYERSDORF, F. 2017. Technical details making aortic arch replacement a safe procedure using the Thoraflex Hybrid prosthesis. *Eur J Cardiothorac Surg*, 51, i15-i19.
- CZERNY, M., SCHMIDLI, J., ADLER, S., VAN DEN BERG, J. C., BERTOGLIO, L., CARREL, T., CHIESA, R., CLOUGH, R. E., EBERLE, B., ETZ, C., GRABENWOGER, M., HAULON, S., JAKOB, H., KARI, F. A., MESTRES, C. A., PACINI, D., RESCH, T., RYLSKI, B., SCHOENHOFF, F., SHRESTHA, M., VON TENGG-KOBLIGK, H., TSAGAKIS, K., WYSS, T. R. & GROUP, E. E. S. D. 2019. Current options and recommendations for the treatment of thoracic aortic pathologies involving the aortic arch: an expert consensus document of the European Association for Cardio-Thoracic surgery (EACTS) and the European Society for Vascular Surgery (ESVS). *Eur J Cardiothorac Surg*, 55, 133-162.
- CZERNY, M., SCHOENHOFF, F., ETZ, C., ENGLBERGER, L., KHALADJ, N., ZIERER, A., WEIGANG, E., HOFFMANN, I., BLETNER, M. & CARREL, T. P. 2015. The Impact of Pre-Operative Malperfusion on Outcome in Acute Type A Aortic Dissection: Results From the GERAADA Registry. *J Am Coll Cardiol*, 65, 2628-2635.
- CZERNY, M., SIEPE, M., BEYERSDORF, F., FEISST, M., GABEL, M., PILZ, M., POLING, J., DOHLE, D. S., SARVANAKIS, K., LUEHR, M., HAGL, C., RAWA, A., SCHNEIDER, W., DETTER, C., HOLUBEC, T., BORGER, M., BONING, A. & RYLSKI, B. 2020. Prediction of mortality rate in acute type A dissection: the German Registry for Acute Type A Aortic Dissection score. *Eur J Cardiothorac Surg*, 58, 700-706.
- DAILY, P. O., TRUEBLOOD, H. W., STINSON, E. B., WUERFLEIN, R. D. & SHUMWAY, N. E. 1970. Management of acute aortic dissections. *Ann Thorac Surg*, 10, 237-47.
- DAVID, T. E., IVANOV, J., ARMSTRONG, S., FEINDEL, C. M. & WEBB, G. D. 2002. Aortic valve-sparing operations in patients with aneurysms of the aortic root or ascending aorta. *Ann Thorac Surg*, 74, S1758-61; discussion S1792-9.
- DAVIES, R. R., GOLDSTEIN, L. J., COADY, M. A., TITTLE, S. L., RIZZO, J. A., KOPF, G. S. & ELEFTERIADES, J. A. 2002. Yearly rupture or dissection rates for thoracic aortic aneurysms: simple prediction based on size. *Ann Thorac Surg*, 73, 17-27; discussion 27-8.
- DEBAKEY, M. E., MCCOLLUM, C. H., CRAWFORD, E. S., MORRIS, G. C., JR., HOWELL, J., NOON, G. P. & LAWRIE, G. 1982. Dissection and dissecting aneurysms of the aorta: twenty-year follow-up of five hundred twenty-seven patients treated surgically. *Surgery*, 92, 1118-34.
- DETTNER, C., DEMAL, T. J., BAX, L., TSILIMPARIS, N., KOLBEL, T., VON KODOLITSCH, Y., VETTORAZZI, E., REICHENSPURNER, H. &

- BRICKWEDEL, J. 2019. Simplified frozen elephant trunk technique for combined open and endovascular treatment of extensive aortic diseases. *Eur J Cardiothorac Surg*, 56, 738-745.
- DGG. Deutsche Gesellschaft für Gefäßchirurgie und Gefäßmedizin 2021. *Leitlinie-S2k Typ B Aortendissektion 004-034*. Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V. (AWMF) Available: https://register.awmf.org/assets/guidelines/004-034l_S2k_Typ_B_Aortendissektion_2022-05.pdf [Accessed 27.01.2025].
- DGTHG. Deutsche Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie. 2021. *S2k-Leitlinie 011-018: Behandlung der Thorakalen Aortendissektion Typ A*. Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V. (AWMF). Available: https://register.awmf.org/assets/guidelines/011-018l_S2k_Behandlung-der-thorakalen-Aortendissektion-Typ-A_2021-02_1.pdf [Accessed 14.01.2025].
- DGTHG. Deutsche Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie 2022. *S2k-Leitlinie 011-023: Behandlung von akuten und chronischen Erkrankungen der thorakalen Aorta; Fokus Aortenbogen*. Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V. (AWMF) Available: https://register.awmf.org/assets/guidelines/011-023l_S2k_Behandlung-akute-chronische-Erkrankungen-der-thorakalen-Aorta-Fokus-Aortenbogen_2023-03.pdf [Accessed 27.01.2025].
- DI EUSANIO, M., SCHEPENS, M. A., MORSHUIS, W. J., DOSSCHE, K. M., KAZUI, T., OHKURA, K., WASHIYAMA, N., DI BARTOLOMEO, R., PACINI, D. & PIERANGELI, A. 2004. Separate grafts or en bloc anastomosis for arch vessels reimplantation to the aortic arch. *Ann Thorac Surg*, 77, 2021-8.
- DI MARCO, L., MURANA, G. & PACINI, D. 2023. The 'island technique' for aortic arch and FET surgery: an 'evergreen' or a 'rekindled flame'? *Eur J Cardiothorac Surg*, 63.
- DOHLE, D. S., JAKOB, H., SCHUCHT, R., JANOSI, R. A., SCHLOSSER, T., EL GABRY, M., WENDT, D., THIELMANN, M. & TSAGAKIS, K. 2017. The impact of entries and exits on false lumen thrombosis and aortic remodelling. *Eur J Cardiothorac Surg*, 52, 508-515.
- DOHLE, D. S., MATTERN, L., PFEIFFER, P., PROBST, C., GHAZY, A. & TREEDE, H. 2023. Island remodelling in acute and chronic aortic dissection treated with frozen elephant trunk. *Eur J Cardiothorac Surg*, 63.
- EGGEBRECHT, H. & EUROPEAN SOCIETY, O. C. 2014. [Diagnosis and treatment of aortic diseases : new guidelines of the European Society of Cardiology 2014]. *Herz*, 39, 931-40.
- ELEFTERIADES, J. A. 2008. Thoracic aortic aneurysm: reading the enemy's playbook. *Yale J Biol Med*, 81, 175-86.
- ELEFTERIADES, J. A. & FARKAS, E. A. 2010. Thoracic aortic aneurysm clinically pertinent controversies and uncertainties. *J Am Coll Cardiol*, 55, 841-57.
- ERBEL, R., ALFONSO, F., BOILEAU, C., DIRSCH, O., EBER, B., HAVERICH, A., RAKOWSKI, H., STRUYVEN, J., RADEGRAN, K., SECHTEM, U., TAYLOR, J., ZOLLIKOFER, C., KLEIN, W. W., MULDER, B., PROVIDENCIA, L. A. & TASK FORCE ON AORTIC DISSECTION, E. S. O. C. 2001. Diagnosis and management of aortic dissection. *Eur Heart J*, 22, 1642-81.

- GAUL, C., DIETRICH, W., FRIEDRICH, I., SIRCH, J. & ERBGUTH, F. J. 2007. Neurological symptoms in type A aortic dissections. *Stroke*, 38, 292-7.
- HAGAN, P. G., NIENABER, C. A., ISSELBACHER, E. M., BRUCKMAN, D., KARAVITE, D. J., RUSSMAN, P. L., EVANGELISTA, A., FATTORI, R., SUZUKI, T., OH, J. K., MOORE, A. G., MALOUF, J. F., PAPE, L. A., GACA, C., SECHTEM, U., LENFERINK, S., DEUTSCH, H. J., DIEDRICHS, H., MARCOS Y ROBLES, J., LLOVET, A., GILON, D., DAS, S. K., ARMSTRONG, W. F., DEEB, G. M. & EAGLE, K. A. 2000. The International Registry of Acute Aortic Dissection (IRAD): new insights into an old disease. *JAMA*, 283, 897-903.
- HARRIS, K. M., STRAUSS, C. E., EAGLE, K. A., HIRSCH, A. T., ISSELBACHER, E. M., TSAI, T. T., SHIRAN, H., FATTORI, R., EVANGELISTA, A., COOPER, J. V., MONTGOMERY, D. G., FROEHLICH, J. B., NIENABER, C. A. & INTERNATIONAL REGISTRY OF ACUTE AORTIC DISSECTION, I. 2011. Correlates of delayed recognition and treatment of acute type A aortic dissection: the International Registry of Acute Aortic Dissection (IRAD). *Circulation*, 124, 1911-8.
- HIRATZKA, L. F., BAKRIS, G. L., BECKMAN, J. A., BERSIN, R. M., CARR, V. F., CASEY, D. E., JR., EAGLE, K. A., HERMANN, L. K., ISSELBACHER, E. M., KAZEROONI, E. A., KOUCHOUKOS, N. T., LYTLE, B. W., MILEWICZ, D. M., REICH, D. L., SEN, S., SHINN, J. A., SVENSSON, L. G., WILLIAMS, D. M., AMERICAN COLLEGE OF CARDIOLOGY, F., AMERICAN HEART ASSOCIATION TASK FORCE ON PRACTICE, G., AMERICAN ASSOCIATION FOR THORACIC, S., AMERICAN COLLEGE OF, R., AMERICAN STROKE, A., SOCIETY OF CARDIOVASCULAR, A., SOCIETY FOR CARDIOVASCULAR, A., INTERVENTIONS, SOCIETY OF INTERVENTIONAL, R., SOCIETY OF THORACIC, S. & SOCIETY FOR VASCULAR, M. 2010. 2010 ACCF/AHA/AATS/ACR/ASA/SCA/SCAI/SIR/STS/SVM guidelines for the diagnosis and management of patients with thoracic aortic disease: executive summary. A report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines, American Association for Thoracic Surgery, American College of Radiology, American Stroke Association, Society of Cardiovascular Anesthesiologists, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Interventional Radiology, Society of Thoracic Surgeons, and Society for Vascular Medicine. *Catheter Cardiovasc Interv*, 76, E43-86.
- HIRST, A. E., JR., JOHNS, V. J., JR. & KIME, S. W., JR. 1958. Dissecting aneurysm of the aorta: a review of 505 cases. *Medicine (Baltimore)*, 37, 217-79.
- JAKOB, H., DOHLE, D., BENEDIK, J., JANOSI, R. A., SCHLOSSER, T., WENDT, D., THIELMANN, M., ERBEL, R. & TSAGAKIS, K. 2017. Long-term experience with the E-vita Open hybrid graft in complex thoracic aortic diseasedagger. *Eur J Cardiothorac Surg*, 51, 329-338.
- JAKOB, H., IDHREES, M. & BASHIR, M. 2020. Frozen elephant trunk with straight vascular prosthesis. *Ann Cardiothorac Surg*, 9, 164-169.
- JAKOB, H. & TSAGAKIS, K. 2013. International E-vita open registry. *Ann Cardiothorac Surg*, 2, 296-9.

- KARCK, M., CHAVAN, A., HAGL, C., FRIEDRICH, H., GALANSKI, M. & HAVERICH, A. 2003. The frozen elephant trunk technique: a new treatment for thoracic aortic aneurysms. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 125, 1550-3.
- KARCK, M. & KALLENBACH, K. 2010. Aneurysma und Dissektion der thorakalen und thorakoabdominalen Aorta. In: ZIEMER, G. & HAVERICH, A. (eds.) *Herzchirurgie, Die Eingriffe am Herzen und den herznahen Gefäßen* 3ed. 691-726. Springer.
- KATO, M., OHNISHI, K., KANEKO, M., UEDA, T., KISHI, D., MIZUSHIMA, T. & MATSUDA, H. 1996. New graft-implanting method for thoracic aortic aneurysm or dissection with a stented graft. *Circulation*, 94, II188-93.
- KAZUI, T., INOUE, N. & KOMATSU, S. 1989. Surgical treatment of aneurysms of the transverse aortic arch. *J Cardiovasc Surg (Torino)*, 30, 402-6.
- KORTMANN, H. 2007. Aneurysmen. In: ZIEMER, G. & HAVERICH, A. (eds.) *Gefäßchirurgie*. 2 ed. 245-315. Urban & Fischer
- KOTELIS, D., GEISBUSCH, P., HAKIMI, M. & BOCKLER, D. 2012. [Thoracic aortic aneurysm]. *Chirurg*, 83, 395-404; quiz 405.
- KREIBICH, M., DESAI, N. D., BAVARIA, J. E., SZETO, W. Y., VALLABHAJOSYULA, P., BEYERSDORF, F., CZERNY, M., SIEPE, M., RYLSKI, B., ITAGAKI, R., OKAMURA, H., YAMAGUCHI, A. & KIMURA, N. 2020. Common carotid artery true lumen flow impairment in patients with type A aortic dissection. *Eur J Cardiothorac Surg*.
- LEONTYEV, S., BORGER, M. A., ETZ, C. D., MOZ, M., SEEBURGER, J., BAKHTIARY, F., MISFELD, M. & MOHR, F. W. 2013. Experience with the conventional and frozen elephant trunk techniques: a single-centre study. *Eur J Cardiothorac Surg*, 44, 1076-82; discussion 1083.
- LIAKOPOULOS, O. J., KROENER, A., SABASHNIKOV, A., ZERIOUH, M., AHMAD, W., CHOI, Y. H. & WAHLERS, T. 2020. Single-center experience with the frozen elephant trunk procedure in 111 patients with complex aortic disease. *J Thorac Dis*, 12, 5387-5397.
- LIEBRICH, M., CHARITOS, E. I., SCHLERETH, S., MEISSNER, H., TRABOLD, T., GEISBUSCH, P., HEMMER, W., SEEBURGER, J. & VOTH, V. 2021. The zone 2 concept and distal stent graft positioning in TH 2-3 are associated with high rates of secondary aortic interventions in frozen elephant trunk surgery. *Eur J Cardiothorac Surg*, 60, 343-351.
- LIN, H., CHANG, Y., ZHOU, H., LI, J., ZHOU, C. & HUO, X. 2023. Early results of frozen elephant trunk in acute type-A dissection in 1445 patients. *Int J Cardiol*, 389, 131213.
- LOMBARDI, J. V., HUGHES, G. C., APPOO, J. J., BAVARIA, J. E., BECK, A. W., CAMBRIA, R. P., CHARLTON-OUW, K., ESLAMI, M. H., KIM, K. M., LESHNOWER, B. G., MALDONADO, T., REECE, T. B. & WANG, G. J. 2020. Society for Vascular Surgery (SVS) and Society of Thoracic Surgeons (STS) reporting standards for type B aortic dissections. *J Vasc Surg*, 71, 723-747.
- LUEHR, M., ETZ, C. D., NOZDRZYKOWSKI, M., LEHMKUHL, L., MISFELD, M., BAKHTIARY, F., BORGER, M. A. & MOHR, F. W. 2016. Extra-anatomic revascularization for preoperative cerebral malperfusion due to distal carotid artery occlusion in acute type A aortic dissection. *Eur J Cardiothorac Surg*, 49, 652-8; discussion 658-9.

- MITCHELL, R. S., ISHIMARU, S., EHRLICH, M. P., IWASE, T., LAUTERJUNG, L., SHIMONO, T., FATTORI, R. & YUTANI, C. 2002. First International Summit on Thoracic Aortic Endografting: roundtable on thoracic aortic dissection as an indication for endografting. *J Endovasc Ther*, 9 Suppl 2, II98-105.
- MIYAMOTO, Y. 2014. Elephant trunk technique for hybrid aortic arch repair. *Gen Thorac Cardiovasc Surg*, 62, 135-41.
- ORIHASHI, K., SUEDA, T., OKADA, K. & IMAI, K. 2004. Near-infrared spectroscopy for monitoring cerebral ischemia during selective cerebral perfusion. *Eur J Cardiothorac Surg*, 26, 907-11.
- PACINI, D., TSAGAKIS, K., JAKOB, H., MESTRES, C. A., ARMARO, A., WEISS, G., GRABENWOGER, M., BORGER, M. A., MOHR, F. W., BONSER, R. S. & DI BARTOLOMEO, R. 2011. The frozen elephant trunk for the treatment of chronic dissection of the thoracic aorta: a multicenter experience. *Ann Thorac Surg*, 92, 1663-70; discussion 1670.
- PATEL, P. D. & ARORA, R. R. 2008. Pathophysiology, diagnosis, and management of aortic dissection. *Thor Adv Cardiovasc Dis*, 2, 439-68.
- PICHLMAIER, M. A., TEEBKEN, O. E., BARAKI, H. & HAVERICH, A. 2007. The frozen elephant trunk technique. *Multimed Man Cardiothorac Surg*, 2007, mmets 2006 001990.
- REN, Z., WANG, Z., HU, R., WU, H., DENG, H., ZHOU, Z., HU, X. & JIANG, W. 2015. Which cannulation (axillary cannulation or femoral cannulation) is better for acute type A aortic dissection repair? A meta-analysis of nine clinical studies. *Eur J Cardiothorac Surg*, 47, 408-15.
- ROBERTS, W. C. 1981. Aortic dissection: anatomy, consequences, and causes. *Am Heart J*, 101, 195-214.
- SCHLERETH, S. 2022. *Die Frozen-Elephant-Trunk-Technik zur chirurgischen Versorgung unterschiedlicher Pathologien der thorakalen Aorta: Eine Analyse des postoperativen Remodelings der Aorta*. Medizinische Dissertation, Universität Tübingen.
- SCHOENHOFF, F. S., TIAN, D. H., MISFELD, M., PERREAS, K. G., SPIELVOGEL, D., MOHR, F. W., BEYERSDORF, F., YAN, T. D. & CARREL, T. P. 2018. Impact of reimplantation technique of supra-aortic branches in total arch replacement on stroke rate and survival: results from the ARCH registry. *Eur J Cardiothorac Surg*, 54, 1045-1051.
- SENER, E. M., MISRA, S. & HENKIN, S. 2021. Thoracic Aortic Aneurysm: A Clinical Review. *Cardiol Clin*, 39, 505-515.
- SHRESTHA, M., BACHET, J., BAVARIA, J., CARREL, T. P., DE PAULIS, R., DI BARTOLOMEO, R., ETZ, C. D., GRABENWOGER, M., GRIMM, M., HAVERICH, A., JAKOB, H., MARTENS, A., MESTRES, C. A., PACINI, D., RESCH, T., SCHEPENS, M., URBANSKI, P. P. & CZERNY, M. 2015a. Current status and recommendations for use of the frozen elephant trunk technique: a position paper by the Vascular Domain of EACTS. *Eur J Cardiothorac Surg*, 47, 759-69.
- SHRESTHA, M., FLEISSNER, F., IUS, F., KOIGELDIYEV, N., KAUFELD, T., BECKMANN, E., MARTENS, A. & HAVERICH, A. 2015b. Total aortic arch replacement with frozen elephant trunk in acute type A aortic dissections: are we

- pushing the limits too far? dagger. *Eur J Cardiothorac Surg*, 47, 361-6; discussion 366.
- SHRESTHA, M., HAVERICH, A. & MARTENS, A. 2017. Total aortic arch replacement with the frozen elephant trunk procedure in acute DeBakey type I aortic dissections. *Eur J Cardiothorac Surg*, 51, i29-i34.
- SHRESTHA, M., MARTENS, A., BEHRENDT, S., MAEDING, I., KOIGELDIYEV, N. & HAVERICH, A. 2014. Is the branched graft technique better than the en bloc technique for total aortic arch replacement? *Eur J Cardiothorac Surg*, 45, 181-6; discussion 186-7.
- SIEVERS, H. H. & SCHMIDTKE, C. 2011. [Diagnostic pathways and pitfalls in acute thoracic aortic dissection: practical recommendations and an awareness campaign]. *Herz*, 36, 474-9.
- SMITH, T. & HEIJMEN, R. H. 2023. Is a four-branched prosthesis advantageous over a straight prosthesis in Frozen elephant trunk surgery? *Cardiovasc Diagn Ther*, 13, 61-66.
- SPIELVOGEL, D., MATHUR, M. N., LANSMAN, S. L. & GRIEPP, R. B. 2003. Aortic arch reconstruction using a trifurcated graft. *Ann Thorac Surg*, 75, 1034-6.
- TIAN, D. H., HA, H., JOSHI, Y. & YAN, T. D. 2020. Long-term outcomes of the frozen elephant trunk procedure: a systematic review. *Ann Cardiothorac Surg*, 9, 144-151.
- TRIMARCHI, S., NIENABER, C. A., RAMPOLDI, V., MYRMEL, T., SUZUKI, T., MEHTA, R. H., BOSSONE, E., COOPER, J. V., SMITH, D. E., MENICANTI, L., FRIGIOLA, A., OH, J. K., DEEB, M. G., ISSELBACHER, E. M., EAGLE, K. A. & INTERNATIONAL REGISTRY OF ACUTE AORTIC DISSECTION, I. 2005. Contemporary results of surgery in acute type A aortic dissection: The International Registry of Acute Aortic Dissection experience. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 129, 112-22.
- TSAGAKIS, K., DOHLE, D. S., WENDT, D., WIESE, W., BENEDIK, J., LIEDER, H., THIELMANN, M. & JAKOB, H. 2015. Left subclavian artery rerouting and selective perfusion management in frozen elephant trunk surgery. *Minim Invasive Ther Allied Technol*, 24, 311-6.
- TSAGAKIS, K. & JAKOB, H. 2019. Which Frozen Elephant Trunk Offers the Optimal Solution? Reflections From Essen Group. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, 31, 679-685.
- TSAGAKIS, K., OSSWALD, A., WEYMANN, A., DEMIRICIOGLU, A., SCHMACK, B., WENDT, D., JAKOB, H. & RUHPARWAR, A. 2021. The frozen elephant trunk technique: impact of proximalization and the four-sites perfusion technique. *Eur J Cardiothorac Surg*, 61, 195-203.
- TSAGAKIS, K., PACINI, D., GRABENWOGER, M., BORGER, M. A., GOEBEL, N., HEMMER, W., LARANJEIRA SANTOS, A., SIORIS, T., WIDENKA, K., RISTESKI, P., MASCARO, J., RUDEZ, I., ZIERER, A., MESTRES, C. A., RUHPARWAR, A., DI BARTOLOMEO, R. & JAKOB, H. 2020. Results of frozen elephant trunk from the international E-vita Open registry. *Ann Cardiothorac Surg*, 9, 178-188.
- TSAGAKIS, K., WENDT, D., DIMITRIOU, A. M., THIELMANN, M., SHEHADA, S. E., EL GABRY, M. & JAKOB, H. G. 2018. The frozen elephant trunk treatment

- is the operation of choice for all kinds of arch disease. *J Cardiovasc Surg (Torino)*, 59, 540-546.
- URBANSKI, P. P., LENOS, A., KOLOWCA, M., BOUGIOUKAKIS, P., KELLER, G., ZACHER, M. & DIEGELER, A. 2013. Near-infrared spectroscopy for neuromonitoring of unilateral cerebral perfusion. *Eur J Cardiothorac Surg*, 43, 1140-4.
- VECHT, R. J., BESTERMAN, E. M., BROMLEY, L. L., EASTCOTT, H. H. & KENYON, J. R. 1980. Acute dissection of the aorta: long-term review and management. *Lancet*, 1, 109-11.
- VON SEGESSER, L. K., KILLER, I., ZISWILER, M., LINKA, A., RITTER, M., JENNI, R., BAUMANN, P. C. & TURINA, M. I. 1994. Dissection of the descending thoracic aorta extending into the ascending aorta. A therapeutic challenge. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 108, 755-61.
- WHEAT, M. W., JR. 1980. Acute dissecting aneurysms of the aorta: diagnosis and treatment--1979. *Am Heart J*, 99, 373-87.
- WHEAT, M. W., JR. 1987. Acute dissection of the aorta. *Cardiovasc Clin*, 17, 241-62.
- WILSON KING, R., CARROLL, A. M., HIGA, K. C., CLEVELAND, J. C., JR., ROVE, J. Y., AFTAB, M. & BRETT REECE, T. 2023. Frozen Elephant Trunk for Acute Type A Dissection: Is Risk from Procedure or Patient Characteristics? *Aorta (Stamford)*, 11, 112-115.
- WISNIEWSKI, K., DELL'AQUILA, A. M., MOTEKALLEMI, A., OBERHUBER, A., SCHAFERS, J. F., MARCHIORI, E., WEBER, R., MARTENS, S. & RUKOSUJEW, A. 2024. The frozen elephant trunk technique in acute aortic dissection: the ultimate solution? An institutional experience. *Front Cardiovasc Med*, 11, 1330033.
- YACOUB, M. H. & COHN, L. H. 2004. Novel approaches to cardiac valve repair: from structure to function: Part I. *Circulation*, 109, 942-50.
- ZHONG, Y. L., QI, R. D., MA, W. G., GE, Y. P., QIAO, Z. Y., LI, C. N., ZHU, J. M. & SUN, L. Z. 2018. Frozen elephant trunk with modified en bloc arch reconstruction and left subclavian transposition for chronic type A dissection. *J Thorac Dis*, 10, 5376-5383.

7 Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde in der Sana Herzchirurgie Stuttgart (inzwischen Klinik für Herzchirurgie, Herzzentrum Klinikum Stuttgart), Lehrkrankenhaus der Universität Tübingen, in der Abteilung Herzchirurgie unter Betreuung von Herrn Oberarzt Dr. Markus Liebrich durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit Herrn Prof. Dr. Christian Schlensak, Ärztlicher Direktor der Universitätsklinik für Thorax-, Herz-, und Gefäßchirurgie Tübingen, Prof. Dr. Joerg Seeburger, Ärztlicher Direktor der Klinik für Herzchirurgie, Herzzentrum Klinikum Stuttgart und Oberarzt Dr. Markus Liebrich.

Die Daten-Recherche wurde nach Einarbeitung durch Herrn Dr. Markus Liebrich von mir eigenständig durchgeführt.

Die statistische Auswertung wurde nach Beratung durch das Institut für Biometrie durch Herrn Dr. Blumenstock eigenständig von mir durchgeführt.

Ich versichere, das Manuskript selbstständig nach Anleitung durch Herrn Dr. Markus Liebrich verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Tübingen, den 04.06.2025

8 Danksagung

Zunächst bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. Christian Schlensak, der es mir ermöglicht hat, meine Dissertation an der Universität Tübingen anzufertigen. Weiterhin gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. Joerg Seeburger für die Bereitstellung des Themas und die Möglichkeit der Datenerhebung in der Klinik für Herzchirurgie, Herzzentrum Klinikum Stuttgart.

Ganz besonders möchte ich Herrn Dr. Markus Liebrich danken, der mich auf dem gesamten Weg der Erstellung dieser Dissertation betreut und unterstützt hat. Er war stets ansprechbar für alle meine Fragen und nahm sich immer die Zeit, sich mit meinen Anliegen auseinanderzusetzen.

Ein weiterer Dank geht an Herrn Dr. Blumenstock für die gute Beratung im biometrischen Institut der Universität Tübingen.

Zuletzt möchte ich mich ganz besonders bei meiner Familie bedanken, die mich immer begleitet, unterstützt und motiviert hat.