

Aus der Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie
(Direktor: Prof. Dr. med. J. Cremer)
im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel
an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Kieler transatriale

Kanülierung des linken Ventrikels bei akuter Aortendissektion Typ A

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde der Medizin
der Medizinischen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Vorgelegt von
Julia Zollenkopf
aus Hamburg
Kiel, 18.07.2023

1. Berichterstatter/in: Prof. Dr. Assad Haneya

2. Berichterstatter/in: Prof. Dr. Marcus Both

Tag der mündlichen Prüfung: 18.07.2023

Zum Druck genehmigt, Kiel, den 25.04.2023

gez.: PD Dr. Rouven Bernd

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis.....	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung.....	1
1.1 Aortenerkrankungen	1
1.1.1 Anatomie	2
1.1.2 Aortenaneurysma	2
1.1.3 Akutes Aortensyndrom	3
1.2 Aortendissektion.....	3
1.2.1 Ätiologie und Pathogenese.....	4
1.2.2 Klassifikation	5
1.2.3 Klinik.....	7
1.2.4 Diagnostik	9
1.2.5 Therapie.....	11
1.2.6 Kanülierungstechniken.....	12
1.3 Zielsetzung.....	15
1.4 Fragestellung	15
2 Material und Methoden.....	16
2.1 Patientenkollektiv	16
2.2 Diagnosestellung	16
2.3 Operationsverfahren	17
2.3.1 Kieler transatriale Kanülierung	18
2.4 Operationstechniken	20
2.4.1 Suprakoronarer Ersatz der Aorta ascendens.....	20
2.4.2 Operation nach Bentall.....	20
2.4.3 Operation nach David.....	20
2.4.4 Ersatz des Aortenbogens	21
2.4.5 Elephant-trunk-Operation.....	21
2.4.6 Entwöhnung von der Herz-Lungen-Maschine	22
2.5 Postoperative Versorgung und Nachsorge.....	22
2.6 Datenerhebung.....	23
2.6.1 Präoperative Parameter.....	23
2.6.2 Intraoperative Parameter	23
2.6.3 Postoperative Parameter	24

2.7	Ethikkomission	24
2.8	Statistische Methoden.....	24
3	Ergebnisse	26
3.1	Präoperative Daten.....	26
3.1.1	Patientenkollektiv.....	26
3.1.2	Risikofaktoren	27
3.1.3	Klinische Präsentation.....	30
3.1.4	Diagnostik	31
3.2	Intraoperative Parameter.....	32
3.2.1	Venöse Kanülierung.....	33
3.2.2	Operationsverfahren	34
3.3	Postoperative Parameter	36
3.3.1	Postoperatives Management.....	36
3.3.2	Postoperative Komplikationen	37
3.3.3	Postoperative Mortalität	39
3.3.4	Langzeitüberleben und Follow-up.....	42
4	Diskussion.....	45
4.1	Patientenkollektiv	46
4.2	Präoperative Parameter.....	48
4.3	Intraoperative Parameter.....	51
4.4	Postoperative Parameter	54
4.5	Mortalität	57
4.6	Limitationen der Studie	61
5	Zusammenfassung.....	62
	Erklärung	64
	Literaturverzeichnis.....	65
	Danksagung	69

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Klassifikation der Aortendissektionen (Conzelmann et al. 2011)	7
Abbildung 2: TEE-Befund einer AADA.....	17
Abbildung 3: Doppler-TEE-Befund einer AADA	17
Abbildung 4: Intraoperativer Blick auf die Aorta ascendens	19
Abbildung 5: Rahimis transatriale Kanülierung.....	19
Abbildung 6: Venöse Kanülierung (transatriale Kanülierung)	33
Abbildung 7: Venöse Kanülierung (andere Kanülierungen).....	34
Abbildung 8: Todesursachen (transatriale Kanülierung)	40
Abbildung 9: Todesursachen (andere Kanülierungstechniken)	41
Abbildung 10: Langzeitüberleben.....	43
Abbildung 11: Arterielle Kanülierung (Daten von 2006-2013).....	47
Abbildung 12: Arterielle Kanülierung (Daten von 2006-2019).....	47
Abbildung 13: Vergleich der präoperativen Parameter zwischen den Studien (transatriale Kanülierung).....	50
Abbildung 14: Vergleich der präoperativen Parameter zwischen den Studien (andere Kanülierungstechniken).....	50
Abbildung 15: Vergleich postoperativer Parameter zwischen den Studien (transatriale Kanülierung).....	60
Abbildung 16: Vergleich postoperativer Parameter zwischen den Studien (andere Kanülierungstechniken).....	60

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Patientenkollektiv.....	27
Tabelle 2: Präoperative Risikofaktoren.....	29
Tabelle 3: Präoperative klinische Präsentation	31
Tabelle 4: Diagnostik	31
Tabelle 5: Intraoperative Parameter	32
Tabelle 6: Venöse Kanülierung	34
Tabelle 7: Operationsverfahren.....	35
Tabelle 8: Postoperatives Management.....	37
Tabelle 9: Postoperative Komplikationen	39
Tabelle 10: Postoperative Mortalität	41
Tabelle 11: Ergebnisse der logistischen Regressionsanalyse mit Zielgröße 30-Tage Sterblichkeit	42
Tabelle 12: Follow-up	42
Tabelle 13: Langzeitüberleben	44

Abkürzungsverzeichnis

A	Arteria
AADA	Akute Aortendissektion Typ A
ACP	Antegrade zerebrale Perfusion
AKI	Akute Nierenschädigung
CABG	Koronarerterielle Bypass-Operation
COPD	Chronisch obstruktive Lungenerkrankung
CPR	Herz-Lungen-Wiederbelebung
CT	Computertomographie
DES	Drug eluting stent
ECLS	Extracorporeal Life Support
EK	Erythrozytenkonzentrate
FFP	gefrorenes Frischplasma
HLM	Herz-Lungen-Maschine
IABP	Intraaortale Ballonpumpe
MRT	Magnetresonanztomographie
PFO	Persistierendes Foramen ovale
PCI	Perkutane koronare Interventionen
POD	Postoperativer Tag
RCP	Retrograde zerebrale Perfusion
TEE	Transösophageale Echokardiographie
(T)EVAR	(Thoracic) endovascular aortic repair
TIA	Transitorische ischämische Attacke
TK	Thrombozytenkonzentrate
TTE	Transthorakale Echokardiographie
UKSH	Universitätsklinikum Schleswig-Holstein
V	Vena

1 Einleitung

Aortenerkrankungen haben weltweit eine Inzidenz von 2,8 pro 100.000 Einwohnern pro Jahr, die Tendenz ist hierbei steigend (Erbel 2018). Beispiele sind Aortenaneurysmen, traumatische Aortenverletzungen oder Aortendissektionen. Diese Arbeit bezieht sich hauptsächlich auf die akute Aortendissektion Typ A (AADA). Die Therapie hierbei erfolgt operativ. Dabei muss der Patient an eine Herz-Lungen-Maschine angeschlossen werden. Im Gegensatz zu anderen herzchirurgischen Eingriffen ist die Frage, wie bei der AADA arteriell kanüliert werden soll, deutlich komplexer. Es gibt verschiedene Techniken: Es kann beispielsweise die A. femoralis, die A. subclavia/A. axillaris, die Aorta ascendens oder direkt der Ventrikel kanüliert werden. Die Gefahr hierbei ist, dass das falsche Lumen der Dissektion kanüliert wird oder durch retrograden Blutfluss ein erhöhtes Schlaganfallrisiko entsteht (Tsai et al. 2009). Seit 2010 wird in Kiel die transatriale Kanülierung durchgeführt. Dabei erfolgt die Kanülierung über die rechte obere V. pulmonalis in den linken Ventrikel (Rahimi-Barfeh et al. 2016). In dieser Arbeit sollen die Unterschiede zwischen der transatrialen Kanülierungsmethode und den anderen üblichen Kanülierungsmethoden untersucht werden. Dies wurde bereits im Jahr 2016 von Rahimi-Barfeh et al. untersucht und soll nun mit einem aktuelleren und größeren Datensatz vertieft analysiert werden.

1.1 Aortenerkrankungen

Die Aorta transportiert als zentrale Arterie täglich ungefähr 7000 Liter sauerstoffreiches Blut in die Peripherie des Körpers. Dies entspricht 4,5-6 Litern, die das Herz pro Minute in die Aorta pumpt (Pape et al. 2018). Entsprechend schwer sind auch die Folgen, wenn die Aorta aufgrund von Erkrankungen und Verletzungen beispielsweise rupturiert. Die Aortenerkrankungen werden in akute und chronische Erkrankungen unterteilt. Zu letzterer zählt unter anderem das Aortenaneurysma. Beispiel einer akuten Erkrankung ist das akute Aortensyndrom, wozu auch die akuten Aortendissektionen zählen (Erbel 2018).

1.1.1 Anatomie

Die Aorta besteht aus einem thorakalen und einem abdominellen Teil. Beide Abschnitte sind durch das Diaphragma voneinander getrennt. Der thorakale Teil wird unterteilt in Aorta ascendens, Arcus aortae, und Aorta descendens. Aus dem Aortenbogen gehen drei Gefäße ab, der Truncus brachiocephalicus, die linke A. carotis communis und die linke A. subclavia. Die abdominelle Aorta wird in einen supra- und einen infrarenalen Abschnitt unterteilt und endet an der Bifurcatio aortae. Histologisch betrachtet besteht die Aorta aus drei Wandschichten: Die Tunica intima als innerste Schicht besteht aus Endothelzellen und dient hauptsächlich der Abdichtung des Gefäßes. Die Tunica media, welche aus glatten Muskelzellen und elastischen Fasern besteht, ist bei der Aorta besonders stark ausgeprägt. Durch den Aufbau dieser Schicht können sich die Blutgefäße zusammenziehen und aufweiten. Die äußerste Schicht, die Tunica adventitia, besteht hauptsächlich aus Bindegewebe. Außerdem enthält sie Vasa- und Nervi vasorum, ist also wichtig für die Blutversorgung und Innervation der Aorta (Paulsen und Waschke 2017; Pugsley und Tabrizchi 2000).

1.1.2 Aortenaneurysma

Bei einem Aortenaneurysma handelt es sich um eine Dilatation der Gefäßwand der Aorta. Ist der Durchmesser größer als das 1,5-fache des Normwertes, spricht man von einem Aneurysma (Salameh et al. 2018; Erbel et al. 2015).

Aortenaneurysmen sind meist die Folge einer Aortenwanddegeneration. Ebenso können atherosklerotische Plaques an der Entstehung eines Aneurysmas beteiligt sein. Am häufigsten sind Patienten zwischen dem 60. und 70. Lebensjahr betroffen (Salameh et al. 2018; Kotelis et al. 2012). Bei jüngeren Patienten können auch genetische Erkrankungen wie zum Beispiel das Marfan Syndrom, das Ehlers Danlos Syndrom Typ IV, das Loeys-Dietz-Syndrom oder das Turner Syndrom ursächlich für das Entstehen eines Aortenaneurysmas sein (Erbel et al. 2015; Salameh et al. 2018). Aortenaneurysmen sind meist asymptatisch. Falls Symptome auftreten, äußern sie sich unter anderem in einer Aortenklappeninsuffizienz, Brust- und

Rückenschmerzen, sowie Schocksymptomatik bei Ruptur des Aneurysmas (Kotelis et al. 2012; Salameh et al. 2018). Je nach Lokalisation, Größe und Risikokonstellation erfolgt die Therapie entweder konservativ oder chirurgisch (Salameh et al. 2018).

1.1.3 Akutes Aortensyndrom

Das akute Aortensyndrom zählt zu den gefährlichsten Notfallsituationen. Hierzu zählen die Aortendissektion, das intramurale Hämatom, das penetrerende Aortenulkus sowie die traumatische Aortenruptur (Erbel 2018). Diese Erkrankungen haben ähnliche Pathogenesen, klinische Merkmale, therapeutische Richtlinien und Herausforderungen (Bossone et al. 2018). Bei etwa 5-25% der akuten Aortensyndrome handelt es sich um intramurale Hämatome (Bossone et al. 2018). Hierbei kommt es zu einer Einblutung in die Aortenwand, zum Beispiel durch einen Riss der Vasa vasorum (Golledge und Eagle 2008), ohne dass ein Intimaeinriss oder ein falsches Lumen erkennbar ist (Raab et al. 2001). Das penetrerende Aortenulkus ist eine Disruption beziehungsweise Ulzeration der Intima durch die Membrana elastica interna in die Media hinein (Oderich et al. 2019) aufgrund eines rupturierten arthrosklerotischen Plaques (Krüger et al. 2012). Dies tritt ungefähr in 2-7% der Fälle der akuten Aortensyndrome auf (Bossone et al. 2018). Beide Erkrankungen können eine Aortendissektion zur Folge haben, welche im Folgenden genauer beschrieben wird.

1.2 Aortendissektion

Akute Aortendissektionen sind lebensbedrohliche Notfälle. Ungefähr 90% der akuten Aortensyndrome sind Aortendissektionen (Bossone et al. 2018). Nach Symptombeginn beträgt die Mortalität ohne Therapie 1-2% pro Stunde (Tsai et al. 2009). 20% der Patienten sterben vor Krankenhausankunft, 30% im Krankenhaus und weitere 20% innerhalb der nächsten 10 Jahre (Golledge und Eagle 2008). Diese hohen Zahlen kommen durch schwerwiegende

Komplikationen der Aortendissektionen wie Perikardtamponaden, Malperfusion oder Aortenrupturen zustande (Tsai et al. 2009). Die Inzidenz in Deutschland beträgt 2-9 von 100.000 Einwohnern pro Jahr (Krüger et al. 2012).

Man unterscheidet zwischen Aortendissektionen Typ A und B, wobei es sich in 62,3% der Fälle um Typ-A-Dissektionen handelt (Hagan et al. 2000). Im Folgenden werden die Klassifikationen der Aortendissektion genauer erläutert. Besonders hoch ist die Mortalität bei Patienten mit akuten Aortendissektionen Typ A (AADA), die konservativ behandelt werden (56%) (Tsai et al. 2009). Wichtig ist, eine schnelle Diagnose zu stellen und die richtige Therapie für den Patienten zu wählen, was im Fall einer AADA eine Operation ist. Erfolgt keine Therapie, herrscht zunächst eine Mortalität von 1-2% pro Stunde, nach drei Wochen beträgt diese rund 80% (Criado 2011). Bei rein konservativer Therapie beträgt die Mortalität dieser Patienten 58%, hingegen mit Operation 26% (Hagan et al. 2000). Somit ist die Operation immer die Therapie der Wahl (Criado 2011).

1.2.1 Ätiologie und Pathogenese

Dissektionen entstehen durch einen Einriss in der Tunica intima der Aortenwand. Dies wird auch als Entry bezeichnet (Hagan et al. 2000). Der Riss entsteht meist an der Stelle mit der größten Wandspannung, oft an der rechten lateralen Wand der Aorta ascendens (Gawinecka et al. 2017). Durch den Einriss kommt es zu einer Blutung in die Tunica media. Somit bilden sich zwei Lumen, ein wahres Lumen und ein falsches Lumen, die durch eine Dissektionsmembran voneinander getrennt sind (Krüger et al. 2012).

Außerdem können Aortendissektionen in Folge von intramuralen Hämatomen entstehen, wenn es zu einem Hämatom in der Tunica media, zum Beispiel durch die Ruptur von Vasa vasorum, kommt. Reißt nun in Folge dessen auch die Tunica intima, entsteht eine Dissektion (Golledge und Eagle 2008; Raab et al. 2001).

Wenn durch zu hohen Druck im falschen Lumen die Adventitia reißt, führt dies zu einer meist tödlich endenden Aortenruptur. Es können sich aber auch weitere Einrisse in der Intima, sogenannte Reentries, bilden. Außerdem kann das falsche Lumen auch blind in einem sogenannten

„cul-de-sac“ enden, in dem ein Blutgerinnsel entsteht (Gawinecka et al. 2017). Die Ausbreitung der Dissektion kann antegrad und retrograd erfolgen. Des Weiteren kann das falsche Lumen das wahre Lumen komprimieren und so zu Durchblutungsstörungen führen (Krüger et al. 2012).

Es gibt verschiedene Ursachen von Aortendissektionen. Beispielsweise können Patienten strukturelle Abnormalitäten der Aorta entwickeln, oder der Druck im Gefäß ist zu hoch. Aortendissektionen entstehen oft an Stellen, die besonders druckbelastet sind. Dementsprechend ist eine der häufigsten Risikofaktoren eine bereits bestehende Hypertension. Insgesamt haben 74% der Patienten mit einer Aortendissektion Typ A eine arterielle Hypertonie (Bossone et al. 2018). Weitere Risikofaktoren sind Alter und Geschlecht. Zwei Drittel der betroffenen Patienten sind männlich und das mediane Alter beträgt 63,1 Jahre (Hagan et al. 2000). Außerdem können arteriosklerotische Plaques die Tunica intima verletzen und somit das Entstehen einer Aortendissektion verursachen. Dementsprechend sind Nikotinabusus, Hypertonus, Diabetes mellitus, Hypercholesterinämie oder auch das männliche Geschlecht nicht nur Risikofaktoren für Atherosklerose sondern auch für die Entstehung einer Aortendissektion (Krüger et al. 2012; Golledge und Eagle 2008; Gawinecka et al. 2017). Des Weiteren können strukturelle Anomalien das Auftreten einer Aortendissektion begünstigen. Hierzu zählt beispielsweise das Vorliegen einer bikuspiden Aortenklappe (Stock et al. 2019; Kreibich et al. 2020). Genetische Erkrankungen, die das Bindegewebe verändern, wie zum Beispiel das Marfan Syndrom, das Ehlers-Danlos-Syndrom Typ 4 oder das Loeys-Dietz-Syndrom führen ebenfalls häufiger zu Aortendissektionen (Groth et al. 2017; Gawinecka et al. 2017; Krüger et al. 2012).

1.2.2 Klassifikation

Die Klassifikation der Aortendissektionen erfolgt zeitlich und anatomisch. Für die zeitliche Klassifikation ist die Dauer der Symptome entscheidend. Bei einer akuten Aortendissektion bestehen die Symptome für weniger als zwei Wochen. Bleibt die Symptomatik für 15-90 Tage bestehen, handelt es sich um eine subakute Aortendissektion. Ab einer Symptondauer von 90 Tagen spricht man von einer chronischen Dissektion (Erbel et al. 2015). In der Literatur gibt es darüber hinaus weitere zeitliche Einteilungen. Beispielsweise teilen Nienaber et al. die Aortendissektionen in hyperakut mit einer weniger als 24 Stunden

bestehender Symptomatik, akut, bei der die Symptome zwei bis sieben Tage bestehen, oder subakut (8-30 Tage) ein. Eine Symptomatik, die länger als 30 Tage besteht, wird bei Ihnen als chronisch klassifiziert (Nienaber und Clough 2015).

Für die anatomische Klassifizierung der Aortendissektionen sind die Lokalisation des Intimaeinrisses (Entry) sowie die Länge der Ausbreitung der Dissektion entscheidend. Das Klassifikationssystem nach DeBakey (1965) differenziert drei unterschiedliche Typen von Aortendissektionen. Je nach Beteiligung der Aorta ascendens an der Dissektion und wie weit die Ausbreitung verläuft, unterteilt man in Typ I, II und III (Krüger et al. 2012).

1970 wurden die heute gängigeren Stanford Kriterien veröffentlicht (Zhu et al. 2020). Hierbei werden die Aortendissektionen in zwei Typen (A und B) unterschieden. Auch hier ist die Lokalisation des primären Intimaeinrisses entscheidend. Ist die Aorta ascendens an der Dissektion beteiligt, spricht man von Typ A, sobald das Entry distal der Aorta ascendens liegt, handelt es sich um Typ B. (Bossone et al. 2018)

Je nachdem ob die Aorta ascendens an der Dissektion beteiligt ist oder nicht, erfolgt eine chirurgische oder medikamentöse Therapie (Krüger et al. 2012). Diese Arbeit bezieht sich auf die Stanford Klassifikation.

1.2.2.1 DeBakey Klassifikation (1965) (Nienaber und Clough 2015) (Krüger et al. 2012)

Typ I: Der Intimaeinriss befindet sich in der Aorta ascendens, proximal des Truncus brachiocephalicus. Die Ausbreitung der Dissektion verläuft weiter distal der Aorta ascendens, mindestens bis in den Aortenbogen hinein, zum Teil aber auch bis in die Aorta descendens (Abbildung 1, Bild a).

Typ II: Die Dissektion beschränkt sich auf die Aorta ascendens, bleibt somit proximal des Truncus brachiocephalicus (Abbildung 1, Bild b)

Typ III: Die Dissektion beginnt in der Aorta descendens, distal der A. subclavia sinistra (Abbildung 1, Bild c und d).

1.2.2.2 Stanford Kriterien (1970) (Levy et al. 2020; Nienaber und Clough 2015) (Zhu et al. 2020)

Typ A: Bei Aortendissektionen Typ A ist die Aorta ascendens an der Dissektion beteiligt. Das Entry befindet sich also proximal des Truncus brachiocephalicus. Entweder ist nur die Aorta ascendens betroffen, oder die Dissektion reicht weiter nach distal und auch die Aorta descendens ist mit betroffen (Abbildung 1, Bild a und b)

Typ B: Die Dissektion beginnt, genauso wie bei der DeBakey Klassifikation Typ III, in der Aorta descendens (Abbildung 1, Bild c und d).

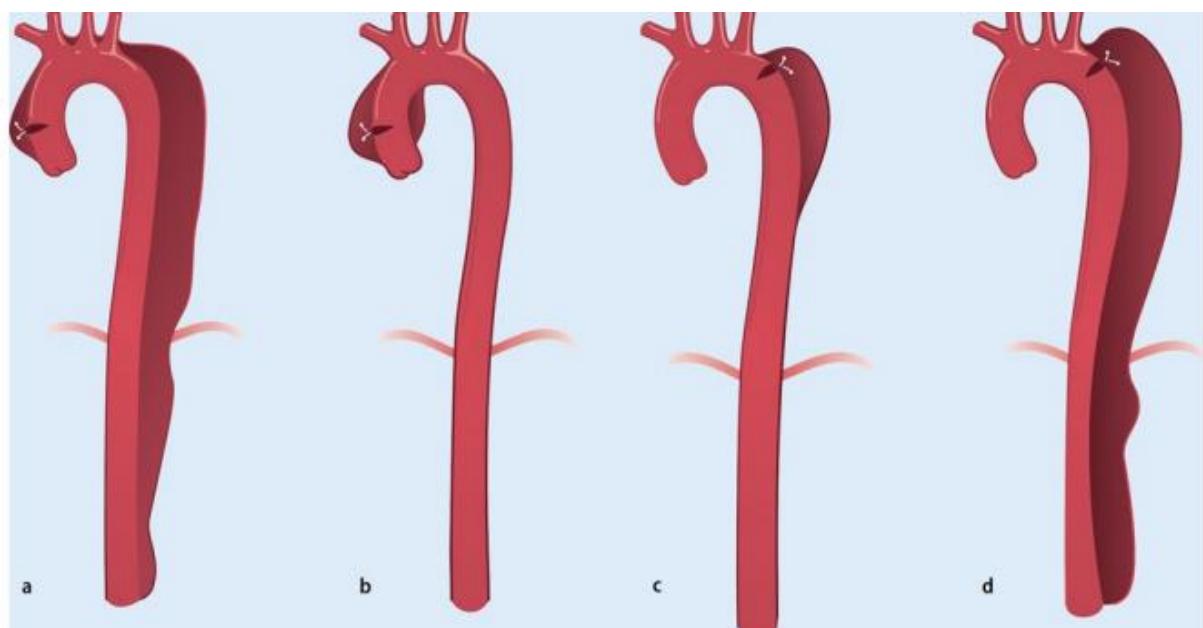


Abbildung 1: Klassifikation der Aortendissektionen (Conzelmann et al. 2011)

1.2.3 Klinik

Die klinische Manifestation einer Aortendissektion ist sehr variabel und reicht von diskreter Symptomatik bis hin zu Schocksymptomatik (Krüger et al. 2012). Ein häufiges Symptom ist plötzlich auftretender Brust- oder Rückenschmerz. Dies wird in ungefähr 73% der Fälle beschrieben (Hagan et al. 2000). In 30% der Fälle weisen die Patienten Pulsdefizite auf und 13%

der Patienten haben eine Synkope (Krüger et al. 2012). Aortendissektionen können durch die Kompression des wahren Lumens durch das falsche Lumen Malperfusionssyndrome auslösen. Dies kann beispielsweise die Organe, die Extremitäten, die Koronargefäße, das Rückenmark oder die zerebralen Gefäße betreffen (Krüger et al. 2012; Norton et al. 2019). Bei einer Minderdurchblutung des Rückenmarks ist ein häufiges Symptom eine Paraplegie (Krüger et al. 2012). Dies ist in 0,3-4,8% der Patienten mit einer AADA der Fall (Norton et al. 2019). Des Weiteren kann es durch eine Obstruktion der supraaortalen Gefäße zu einer zerebralen Ischämie kommen (Krüger et al. 2012). Ungefähr 6% der Patienten mit einer AADA haben bei Krankenhausankunft einen Schlaganfall. Diese Patienten sind tendenziell älter, haben eher Risikofaktoren wie Artherosklerose oder Hypertension und zeigen häufiger Pulsdefizite, Synkopen oder eine Schocksymptomatik (Bossone et al. 2013). Generell erreichen ungefähr 25% der Patienten das Krankenhaus mit neurologischen Komplikationen durch Minderdurchblutung der Kopfgefäße (Krüger et al. 2012). Insgesamt mehr als 25% der Patienten erreichen das Krankenhaus mit einer Hypotension, also einem systolischen Blutdruck unter 100 mmHg (Tsai et al. 2009; Hagan et al. 2000). Dies tritt auf in Kombination mit neurologischen Defiziten, myokardialer Ischämie oder anderen Ischämie Syndromen (Tsai et al. 2009). Als weitere Komplikation kann es in Folge der Dissektion zu einer Perikardtamponade kommen. Das gleichzeitige Auftreten einer Perikardtamponade in Verbindung mit einer AADA ist mit einer erhöhten Mortalität verbunden (60%) (K.-P. Mellwig et al.). Außerdem kann eine Aortendissektion eine Aortenklappeninsuffizienz verursachen, wenn die Dissektion bis in die Klappenebene hinein reicht und somit die Klappensegel nicht mehr richtig schließen (Krüger et al. 2012). Bei 44% der Patienten ist aufgrund der Aortenklappeninsuffizienz ein diastolisches Herzgeräusch auskultierbar (Hagan et al. 2000). Eine weitere Folge, in 6,4% der Fälle, ist das Herzversagen (Tsai et al. 2009). Die wohl schlimmste Komplikation der Aortendissektion ist die Aortenruptur (Tsai et al. 2009).

Insgesamt ist die Symptomatik der Aortendissektion also sehr variabel. Der typische Patient ist männlich, in seinen 60er Jahren, hat eine bestehende Hypertonie und plötzlich auftretende Brustschmerzen. Aber auch bei anderen Symptomen sollte die Differenzialdiagnose Aortendissektion untersucht werden (Hagan et al. 2000).

1.2.4 Diagnostik

Die Diagnostik einer Aortendissektion ist aufgrund der Variabilität der Symptome schwierig. Bei 38% der Patienten wird die Diagnose initial nicht erkannt (Tsai et al. 2009). Nach einer Anamnese, bei der, wenn möglich, Risikofaktoren wie Hypertonus, Alter, Vorerkrankungen oder Voroperationen erfragt werden (Golledge und Eagle 2008), erfolgt die körperliche Untersuchung. Hierbei werden eventuell die oben genannten Symptome entdeckt. Pulsunterschiede im Seitenvergleich oder auch Blutdruckdifferenzen sind möglich. Außerdem kann bei einigen Patienten ein diastolisches Herzgeräusch auskultiert werden. Neurologische Defizite sind ebenfalls ein Hinweis auf das Vorliegen einer Aortendissektion (Krüger et al. 2012). Es gibt bislang noch keinen spezifischen Biomarker für die Diagnose einer Aortendissektion. Allerdings gibt es Biomarker, die einen Hinweis auf das Vorliegen oder den Ausschluss einer Aortendissektion geben können. D-Dimere können beispielsweise innerhalb der ersten 24 Stunden zum Ausschluss einer Aortendissektion hilfreich sein (Gawinecka et al. 2017).

Somit ist die Bildgebung das wichtigste Element für die Diagnose einer Aortendissektion. 70% der Patienten erhalten vor der Diagnosestellung mehrere verschiedene bildgebende Maßnahmen (Tsai et al. 2009). Als initiale Diagnostik wird standardmäßig ein EKG geschrieben sowie ein Röntgenbild vom Thorax angefertigt. Diese Untersuchungen sind jedoch nicht ausreichend, um eine Aortendissektion zu diagnostizieren (Gawinecka et al. 2017). Andere bildgebende Verfahren, um eine Aortendissektion zu diagnostizieren, sind die Echokardiographie (transthorakal oder transösophageal), die Computertomographie oder die Magnetresonanztomographie. Wird bei diesen Methoden eine Dissektionsmembran entdeckt, kann die Diagnose Aortendissektion gestellt werden (Krüger et al. 2012). In der Regel wird standardmäßig eine Computertomographie sowie eine transösophageale Echokardiographie zur Diagnosestellung durchgeführt (Tsai et al. 2009).

1.2.4.1 Echokardiographie

Die Echokardiographie kann transthorakal oder transösophageal durchgeführt werden. Bei der transthorakalen Echokardiographie (TTE) können zügig das Herz sowie Teile der Aorta oder die Aortenklappe inspiziert werden. Ebenfalls können mit der Dissektion einhergehende

Komplikationen wie eine Perikardtamponade schnell entdeckt werden. Allerdings ist die Sensitivität dieser Methode nicht ausreichend: Für Aortendissektionen Typ A liegt diese zwar bei 78-100%, für Aortendissektionen Typ B jedoch nur bei 31-55% (Bossone et al. 2018). Wird bei der TTE also keine Dissektionsmembran gefunden, kann trotzdem eine vorliegende Dissektion nicht ausgeschlossen werden. Da die TTE aber so schnell durchführbar ist, wird sie standardmäßig als initiale Diagnostik angewendet (Gawinecka et al. 2017).

Die transösophageale Echokardiographie (TEE) ist mit einer Sensitivität von 99% und einer Spezifität von 89% die bessere Methode, um durch eine Echokardiographie eine Aortendissektion zu diagnostizieren. Dies kann bei jedem Patienten durchgeführt werden. Beispielsweise auch bei immobilen Patienten im Bett, im OP bei Notfällen oder zur intraoperativen Kontrolle (Bossone et al. 2018).

1.2.4.2 Computertomographie

Die Computertomographie (CT) ist mit einer Sensitivität von 100% und einer Spezifität von 98% eine sinnvolle Methode, um Aortendissektionen zu diagnostizieren. Hierbei kann die Aorta vollständig dargestellt werden. Außerdem sind CTs in der Regel schnell verfügbar und die Untersuchungsdauer ist kurz, was besonders in Notfallsituationen ein entscheidender Faktor ist (Bossone et al. 2018). Ein negativer Aspekt des CTs ist die Strahlenbelastung. Des Weiteren kann es durch den Einsatz von Kontrastmitteln zu allergischen Reaktionen oder Nierenversagen kommen (Gawinecka et al. 2017). Da aber Aortendissektionen meistens Notfälle sind, ist das CT aufgrund der geringen Untersuchungsdauer und der guten Aussagekraft der Bilder eine Methode der Wahl, um Aortendissektionen zu diagnostizieren (Krüger et al. 2012).

1.2.4.3 Magnetresonanztomographie

Ebenso wie das CT hat die Magnetresonanztomographie (MRT) eine sehr gute Sensitivität und eine Spezifität. Beide liegen beim MRT bei 98%, deshalb eignet sich diese Methode, um Aortendissektionen zu diagnostizieren. Ein Vorteil gegenüber dem CT ist, dass die Strahlenbelastung ausbleibt. Allerdings ist die Untersuchungsdauer deutlich länger und die Verfügbarkeit ist

im Gegensatz zum CT begrenzt. Für Notfallsituationen eignet das MRT daher also nicht. Bei Patienten, die metallische Implantate wie zum Beispiel einige Herzschrittmacher besitzen, kann diese Untersuchung ebenfalls nicht durchgeführt werden (Bossone et al. 2018). Für Kontrollen, besonders bei chronischen Dissektionen, ist das MRT hingegen die Methode der Wahl (Golledge und Eagle 2008).

1.2.5 Therapie

Besonders für die Therapie der Aortendissektion ist eine Unterscheidung in Typ A und Typ B Dissektionen besonders wichtig. Je nachdem, ob die Aorta ascendens betroffen ist, erfolgt die Therapie chirurgisch (Typ A) oder hauptsächlich medikamentös (Typ B). In beiden Fällen wird zunächst eine antihypertensive Therapie durchgeführt. Viele Patienten haben eine bestehende Hypertonie, die eventuell die Dissektion verursacht hat. Um den Wandstress zu reduzieren, ist die erste Maßnahme, diesen Druck zu senken (Hines et al. 2011). Ziel ist ein systolischer Blutdruck von 90-100 mmHg (Finkelmeier und Marolda 2001). Anschließend erfolgt im Fall der AADA eine Notfalloperation (Gasser et al. 2021). Bei einer Aortendissektion Typ B wird zwischen einer komplizierten und einer unkomplizierten Dissektion unterschieden. Dementsprechend erfolgt die Therapie medikamentös, chirurgisch oder endovaskulär (Krüger et al. 2012).

1.2.5.1 Therapie der Aortendissektion Typ A

Eine AADA sollte chirurgisch therapiert werden. Ohne Therapie beträgt die Mortalität 1-2% pro Stunde, in den ersten drei Tagen 50% und nach zwei Wochen sogar 80% (Criado 2011). Bei rein konservativer Therapie beträgt die Mortalität dieser Patienten 58%, hingegen mit Operation 26% (Hagan et al. 2000). Somit ist die Operation immer die Therapie der Wahl. Ziel der Operation ist es, die Intimaeinrisse zu resezieren, die Aortenwand zu stabilisieren sowie Komplikationen, wie einer Aortenruptur und Malperfusionssyndromen, entgegen zu wirken (Krüger et al. 2012). Außerdem soll eine retrograde Ausbreitung der Dissektion verhindert werden, um

intraperikardiale Rupturen oder Tamponaden nicht entstehen zu lassen (Finkelmeier und Marolda 2001).

Aufgrund von Alter oder Komorbidität wurden früher deutlich mehr Patienten konservativ behandelt als heute (Krüger et al. 2012). Zwischen 1996 und 2013 stiegen laut Daten des International Registry of Acute Aortic Dissection die Anzahl der operierten Patienten von 79% auf 90% (Pape et al. 2015). Postoperative Daten von über 70 Jahre alten Patienten zeigen, dass hohes Alter keine Kontraindikation für eine Operation ist. Die Mortalität im Krankenhaus war ähnlich wie bei jüngeren Patienten (Zheng et al. 2013).

Bei der Operation erfolgt nach einer medianen Sternotomie der Anschluss an die Herz-Lungenmaschine. Unter Kreislaufstillstand kann nun die Aorta durch eine Prothese ersetzt werden (Finkelmeier und Marolda 2001). In 10-20% erfolgt zusätzlich ein Aortenklappenersatz (Hines et al. 2011). Um die anderen Organe, besonders das Gehirn, zu schützen, erfolgt der Eingriff unter Hypothermie, meist bei ungefähr 18°C (Finkelmeier und Marolda 2001). Zusätzlich zur Operation erhält der Patient perioperative Medikamente, wie Blutdrucksenker, hauptsächlich Beta-blocker, sowie Opiate zur Schmerzlinderung und Blutdruckkontrolle (Krüger et al. 2012). Mögliche Komplikationen nach einer Operation sind das Auftreten einer Aortenruptur, eine wiederkehrende Dissektion oder eine bestehende Hypertension (Golledge und Eagle 2008). Insgesamt sind die Überlebensraten nach erfolgreicher Therapie sehr gut. Nach einem Jahr ist die Überlebensrate bei 90%, nach 5 Jahren bei ungefähr 75% und nach 10 Jahren bei 55% (Krüger et al. 2012).

1.2.6 Kanülierungstechniken

Bei der Operation der AADA ist ein Anschluss an die Herz-Lungen-Maschine essenziell. Durch diese kann das Herz zum Stillstand gebracht werden, während die Dissektion in der Aorta ascendens mit einer Prothese versorgt wird. Es gibt verschiedene Techniken, durch die der Anschluss an die Herz-Lungenmaschine erfolgt. Besonders die arterielle Kanülierung stellt für die Operation der AADA eine Herausforderung dar. Eine potenzielle Gefahr ist die Perfusion des falschen Lumens. Bei einer Kompression des wahren Lumens kommt es zu

Minderdurchblutungen. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, dass sich durch retrograden Blutfluss Emboli lösen, die einen Schlaganfall verursachen können. Außerdem spielt die Schnelligkeit des Zugangsweges ebenfalls eine Rolle bei der Entscheidungsfindung zur richtigen Kanülierungstechnik (Krüger et al. 2012).

1.2.6.1 Prinzip der Herz-Lungen-Maschine

1953 wurde erstmals eine erfolgreiche Herzoperation mit Hilfe einer Herz-Lungen-Maschine (HLM) durchgeführt (Passaroni et al. 2015). Diese ist für viele Herzoperationen essenziell, auch für die der akuten Aortendissektion Typ A. Die HLM gewährleistet während der Operation eine extrakorporale Zirkulation, bei der die Maschine die Funktionen des Herzens und der Lunge übernimmt. Über venöse Kanülen gelangt das Blut in die HLM. Hier befindet sich ein Gasaustauscher, der das Kohlendioxid aus dem Blut eliminiert und Sauerstoff hinzufügt. Dieser Vorgang geschieht über Diffusion. Über arterielle Kanülen wird das Blut anschließend zurück in den Körper gepumpt (Siewert und Allgöwer 2006). Angestrebt ist ein Pumpenfluss von ungefähr 2,4 l/min/m². Außerdem soll ein mittlerer arterieller Blutdruck von 50-60 mmHg aufrechterhalten werden (Stanger 2012).

Bevor der Patient an die HLM angeschlossen wird, muss ihm ausreichend Heparin verabreicht werden (Stanger 2012). Indem das Blut außerhalb des Körpers in Schläuchen fließt, die kein Endothel haben, werden zahlreiche Prozesse angeregt: Unter anderem werden die Erythrozyten durch den Kontakt mit der fremden Schlauchwand hämolysiert. Gleiches geschieht mit den Thrombozyten, wodurch die Gerinnung durch humorale Prozesse aktiviert wird (Siewert und Allgöwer 2006). Die HLM besitzt außerdem einen sogenannten Wärmeaustauscher. Dieser hält das Blut entweder auf Körpertemperatur oder kühlt das Blut für längere Eingriffe hinunter. Dies ist zum Beispiel auch bei der Operation der Aortendissektion Typ A der Fall. Während der Operation wird ein systemischer Kreislaufstillstand induziert. Das bedeutet, dass das Blut nicht mehr durch den Körper zirkuliert, sondern nur in der HLM. Um die Organe und besonders das Gehirn zu schützen, wird bei dieser Operation eine Hypothermie von ungefähr 18°C durch die HLM induziert (Siewert und Allgöwer 2006).

1.2.6.2 Venöse Kanülierung

Die venöse Kanülierung erfolgt standardmäßig über eine 2-Stufen-Kanüle in der V. cava inferior sowie im rechten Vorhof. Ebenfalls möglich ist eine bicavale Kanülierung oder eine Kanülierung der V. femoralis (Stanger 2012).

1.2.6.3 Arterielle Kanülierung

Es gibt mehrere Möglichkeiten, die arterielle Kanüle zu platzieren. Man unterscheidet zwischen zentralen Kanülierungsmethoden sowie peripheren Kanülierungsmethoden. Eine häufig durchgeführte periphere Kanülierungstechnik ist die Kanülierung der A. femoralis. Hier bestehen allerdings mehrere Risiken: Falls die Dissektion bis in die A. femoralis reicht, besteht die Gefahr das falsche Lumen zu perfundieren. Außerdem verläuft bei dieser Kanülierungstechnik der Blutfluss retrograd. Dies kann zur Folge haben, dass sich Plaques an der thorakalen Aortenwand lösen und ins Gehirn transportiert werden, was Schlaganfälle auslösen kann (Krüger et al. 2012; Stanger 2012). Ein Vorteil ist hingegen, dass die A. femoralis einen schnellen Zugang bietet, was besonders in Notfallsituationen bei instabilen Patienten hilfreich sein kann (Etz et al. 2014).

Als eine weitere Standardmethode zur arteriellen Kanülierung bei Aortendissektionen Typ A hat sich die Kanülierung der rechten A. axillaris bzw. A. subclavia etabliert. Diese Gefäße sind häufig nicht an der Dissektion beteiligt, sodass die Gefahr, das falsche Lumen zu perfundieren, sehr gering ist. Außerdem erfolgt der Blutfluss antegrad (Krüger et al. 2012). In einer Studie von Etz et al. wurde beispielsweise die Kanülierung der A. axillaris am häufigsten durchgeführt. 78% der Patienten wurden in der Studie über die A. axillaris kanüliert und 22% der Patienten über die A. femoralis. Ein großer Unterschied lag den Angaben zufolge im Langzeitüberleben zwischen beiden Gruppen (Etz et al. 2014).

Des Weiteren kann die Aorta ascendens direkt kanüliert werden. Hier ist jedoch die Gefahr der Perfusion des falschen Lumens besonders groß und muss unbedingt unter Ultraschallkontrolle durchgeführt werden (Krüger et al. 2012; Stanger 2012). Alternativ kann auch der linke Ventrikel direkt kanüliert werden (Rahimi-Barfeh et al. 2016).

Seit 2010 wird im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel eine weitere Kanülierungstechnik durchgeführt: Die transatriale Kanülierung. Diese erfolgt über die rechte obere V. pulmonalis in den linken Ventrikel (Rahimi-Barfeh et al. 2016).

1.3 Zielsetzung

Die AADA stellt eine Notfallsituation dar, die trotz großer Fortschritte in der chirurgischen Therapie mit einer bedeutsamen Mortalität einhergeht (Criado 2011). Daher ist es besonders wichtig, die Operationstechniken zu verbessern, um die Überlebenschancen der Patienten perspektivisch weiter zu erhöhen. Ein Ansatz besteht in einer verbesserten Technik der arteriellen Kanülierungsmethode. Hierbei haben sich die Kanülierung der A. axillaris sowie die Kanülierung der Aorta ascendens vergangenen Jahren als Standardmethoden entwickelt (Krüger et al. 2012). Aufgrund unterschiedlicher Dissektionsbefunde stellt die arterielle Kanülierung die Operateure aber weiterhin vor Herausforderungen. Die Unterschiede zwischen der neuen transatrialen Kanülierung und den anderen Kanülierungsmethoden soll im Folgenden untersucht werden. Besonders werden die Unterschiede im postoperativen Outcome untersucht.

1.4 Fragestellung

Wie unterscheiden sich die prä-, intra- und postoperativen Variablen der Patienten, die transatrial kanüliert wurden, von denen, die eine andere Kanülierung erhielten? Gibt es Unterschiede in der 30-Tages-Mortalität und im Langzeitüberleben in Hinblick auf die Kanülierungsmethode?

2 Material und Methoden

2.1 Patientenkollektiv

Diese retrospektive Studie umfasste 420 Patienten (N=420), die aufgrund einer AADA eine chirurgische Behandlung erhielten, 144 Frauen und 276 Männer. In diese Studie wurden Patienten eingeschlossen, die im Zeitraum vom 28.01.2001 bis 22.05.2019 in der Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie des UKSH, Campus Kiel operiert wurden. Bei 235 Patienten (56%) wurde die transatriale Kanülierung durchgeführt. 185 der Patienten wurden mit Hilfe der übrigen Kanülierungsmethoden arteriell kanüliert (44%). Alle Patienten wurden im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel, operiert. Es wurden Patienten zwischen 19 und 87 Jahren behandelt, wobei das mediane Alter 63 Jahre betrug. Die durchschnittliche Follow-up Zeit betrug 3,6 Jahre.

2.2 Diagnosestellung

Die Diagnose einer AADA wurde bei Vorliegen einer Dissektion mit Entry in der Aorta ascendens oder einem intramuralen Hämatom in der Aorta ascendens gestellt. Wenn sich in der Aorta descendens ein Entry befand, sodass sich der Blutfluss im falschen Lumen retrograd in die Aorta ascendens ausgebreitet hat, wurde ebenfalls die Diagnose AADA gestellt. Um diese Befunde zu bestätigen, wurde standardmäßig eine Computertomographie durchgeführt und meistens zusätzlich eine Echokardiographie. Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigen intraoperative transösophageale Echokardiographie Befunde einer AADA aus unserer Klinik.

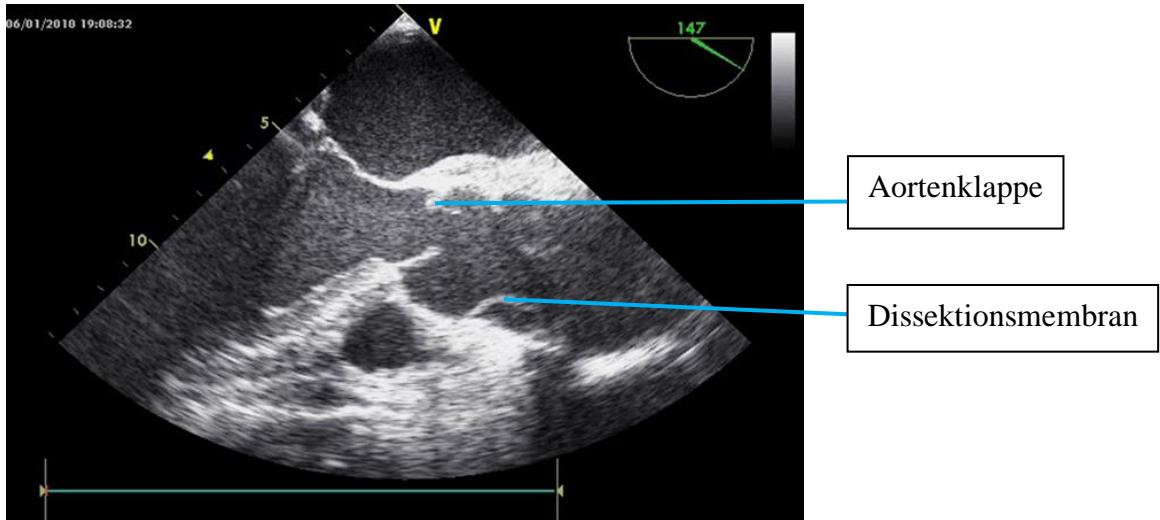


Abbildung 2: TEE-Befund einer AADA

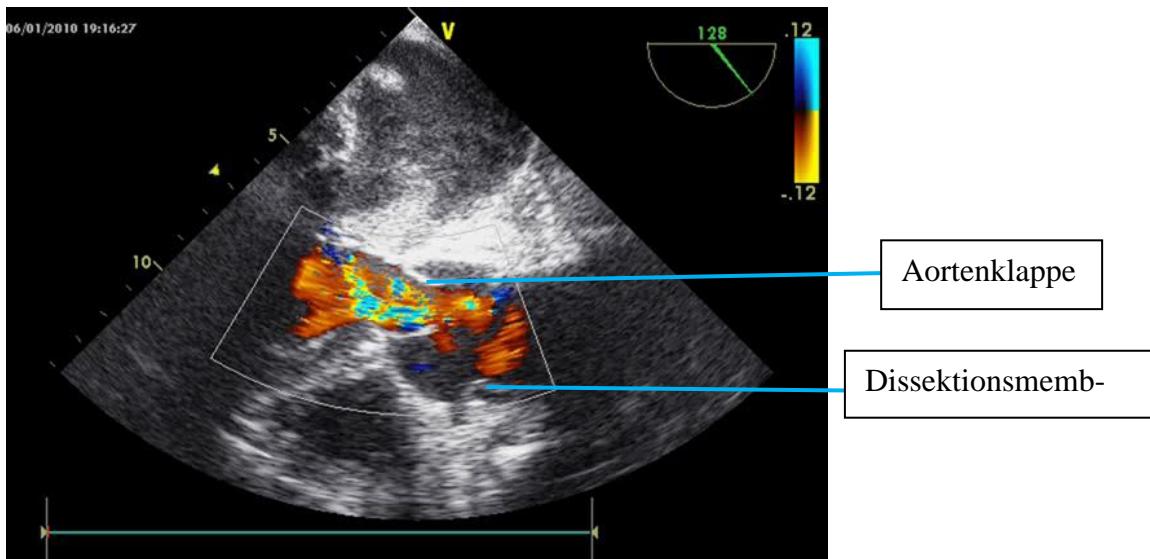


Abbildung 3: Doppler-TEE-Befund einer AADA

2.3 Operationsverfahren

Die Operationen wurden unter Vollnarkose durchgeführt. Angefangen wurde mit einer medianen Sternotomie und einer longitudinalen Perikardiotomie. Außerdem erhielten die Patienten Heparin zur Antikoagulation. Nachdem das Perikard eröffnet und das Herz und besonders die betroffene Aorta ascendens darstellbar wurde, erfolgte der Anschluss an die Herz-Lungen-

Maschine. Die transatriale Kanülierung wird seit 2010 als Standardmethode im UKSH, Campus Kiel, durchgeführt. Davor wurde je nach Befund und Operateur entschieden, welche Kanülierungstechnik angewendet werden sollte. Die durchgeführten Operationstechniken waren abhängig von den vorliegenden Dissektionsbefunden.

2.3.1 Kieler transatriale Kanülierung

Die Kieler transatriale Kanülierung wird üblicherweise wie folgt durchgeführt: Nach der medianen Sternotomie und der Antikoagulation mit Heparin wird mit der Kanülierung begonnen. Zunächst werden die venösen Kanülen angebracht. Hierbei wird der rechte Vorhof mit Hilfe einer 2-Stufen-Kanüle kanüliert. Anschließend folgt die arterielle Kanülierung: Nachdem eine Tabaksbeutelnahrt angefertigt worden ist, erfolgt ein Schnitt in der rechten oberen Lungenvene. Danach wird die arterielle Kanüle bis in den linken Ventrikel vorgeschoben. Dabei wird die Kanüle durch die Mitralklappe geführt. Dies geschieht unter transösophagealer echokardiographischer Kontrolle (siehe Abbildung 5). Anschließend wird die Herz-Lungen-Maschine gestartet. Hier wird ein Pumpenfluss von $2,5 \text{ l/m}^2/\text{min}$ angestrebt. Der Druck sollte bei 50-70 mmHg liegen. Besonders wichtig ist es, eine linksventrikuläre Überdehnung zu verhindern. Durch transösophageale Echokardiographie soll sichergestellt werden, dass die arterielle Kanüle im linksventrikulären Ausflusstrakt liegt. Außerdem wird von den Operateuren die Größe des linken Ventrikels manuell kontrolliert. Als nächstes wird die Kanüle für die retrograde Kardioplegie-Infusion platziert. Sobald ein Kreislaufstillstand bei tiefer Hypothermie bei $18-22^\circ\text{C}$ erreicht ist, wird der arterielle Blutfluss angehalten. Das Blut zirkuliert nicht mehr im Körper des Patienten, sondern in der Herz-Lungen-Maschine. Die arterielle Kanüle wird nun durch einen sogenannten „Vent“, also einen Sauger im linken Ventrikel, ersetzt. Um das Myokard zu schützen, wird eine kardioplegische Lösung in die vorher angebrachte Kanüle infundiert. So kann das Myokard längere Ischämiezeiten besser tolerieren (Siewert und Allgöwer 2006).

Bei längeren und komplexeren Eingriffen wird zusätzlich zur tiefen Hypothermie das Gehirn durch eine sogenannte antegrade zerebrale Perfusion (ACP) geschützt. Alternativ gibt es auch eine retrograde zerebrale Perfusion (RCP), die aber standardmäßig nicht eingesetzt wird. Bei der ACP wird oxygeniertes und kaltes (18°C) Blut über einen Ballonkatheter in die A.

brachiocephalica und in die linke A. carotis communis gepumpt. Dies geschieht bei 15% der Flussrate. Somit soll eine ausreichende Perfusion des Gehirns während des Eingriffs sichergestellt werden. Angewendet wird dieses Verfahren hauptsächlich bei Bogen- oder Teilbogenersätzen.

Sobald die distale Anastomose beendet ist, wird zunächst über die venöse Kanülierung retrograd perfundiert. Hierbei wird ein Fluss von 10-15% angestrebt, der zentralvenöse Druck soll 8-10 mmHg nicht übersteigen. Ziel ist es, die restliche Luft zu entfernen. Anschließend startet ein langsamer antegrader Fluss über die venösen Kanülen. Um die verbliebene Luft vollständig zu entfernen, wird Kohlenstoffdioxid gegeben. Nachdem die arterielle Kanüle in die Aortenprothese eingesetzt worden ist, startet die Perfusion über die Herz-Lungen-Maschine sowie die Erwärmung des Patienten. An der Aorta wird eine Klemme angebracht, sodass während der Erwärmung des Patienten die proximale Anastomose genäht werden kann. In Abbildung 4 wird die eröffnete Aorta ascendens dargestellt. Abbildung 5 zeigt die korrekte Positionierung der arteriellen Kanülierung, wie weiter oben beschrieben. Beide Bilder stammen aus unserer Klinik.

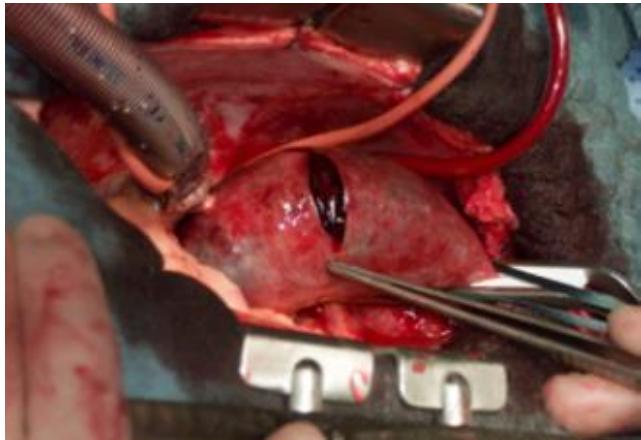


Abbildung 4: Intraoperativer Blick auf die Aorta ascendens

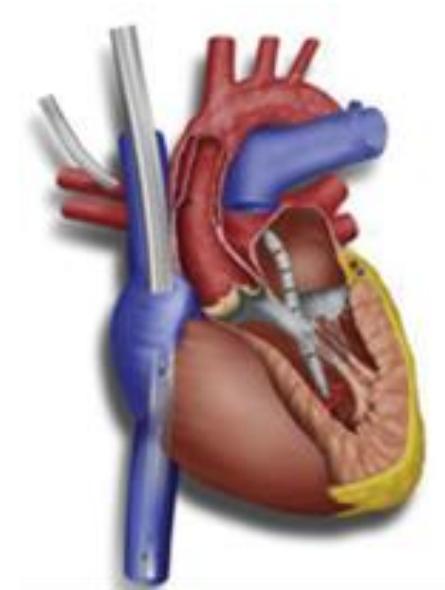


Abbildung 5: Rahimis transatriale Kanülierung

2.4 Operationstechniken

Je nach Dissektionsbefund wurden bei den Patienten dieser Studie unterschiedliche Operationstechniken angewandt. Neben unten aufgeführten Techniken wurde bei einigen Patienten zusätzlich eine Bypass-Operation durchgeführt oder die Aortenklappe separat ersetzt.

2.4.1 Suprakoronarer Ersatz der Aorta ascendens

Das im UKSH, Campus Kiel häufigste Verfahren bei der Operation einer AADA ist der suprakoronare Ersatz der Aorta ascendens. Dies wird zum Beispiel angewandt, wenn sich die Dissektion auf die Aorta ascendens beschränkt oder lange Operationszeiten vermieden werden sollen. Der Aortenbogen sowie die Aortenwurzel und die Aortenklappe bleiben erhalten. Die Aorta ascendens wird hierbei durch eine Prothese aus Dacron oder Rinderperikard ersetzt.

2.4.2 Operation nach Bentall

Reicht die Dissektion bis in die Aortenklappe hinein, sodass diese insuffizient ist, kann die Operation nach Bentall durchgeführt werden. In diesem Fall wird die Aortenklappe ersetzt. Dafür gibt es sogenannte Conduitprothesen. Hierbei handelt es sich um eine Gefäßprothese aus Dacron, die mit einer biologischen oder mechanischen Klappenprothese kombiniert wird. Diese wird am Anulus der Aortenklappe befestigt. Anschließend werden die Koronargefäße reimplantiert.

2.4.3 Operation nach David

Falls die Aortenklappe durch die dilatierte Aortenwurzel nicht ausreichend schließt, kann klapenerhaltend operiert werden. Hierzu gibt es zwei Verfahren: Die Operation nach David sowie die Operation nach Yacoub.

Bei der Operation nach David wird nach der Entfernung des Sinusgewebes die Aortenklappe in eine Dacronprothese implantiert. Dabei wird die Prothese über die Aortenklappe gestülpt, sodass die Klappe anschließend suffizient schließt. Alternativ dazu wird bei der Operation nach Yacoub die Klappe direkt mit der Prothese vernäht, wobei die Prothese genau auf die Klappe zugeschnitten wird. Beide Verfahren haben den Vorteil, dass auf eine dauerhafte Antikoagulation verzichtet werden kann. Wenn Patienten dieser Studie klappenerhaltend operiert wurden, wurde eine Operation nach David durchgeführt.

2.4.4 Ersatz des Aortenbogens

Falls sich im Aortenbogen weitere Entries befinden oder der Aortenbogen stark dilatiert ist, wird in der Regel ein Ersatz des Aortenbogens angestrebt. Dies kann entweder ein partieller oder ein vollständiger Bogenersatz sein. Bei einem partiellen Aortenbogeneratz wird ausschließlich die kleine Kurvatur des Bogens erneuert. Die supraaortalen Gefäße bleiben erhalten. Wird der Aortenbogen vollständig durch eine Prothese ersetzt, müssen die supraaortalen Gefäße in die Prothese reimplantiert werden.

2.4.5 Elephant-trunk-Operation

Reicht die Dissektion bis in die Aorta descendens, kann die Aortenbogenprothese durch einen sogenannten Elephant-trunk bis in die Aorta descendens erweitert werden. Bei der klassischen Elephant trunk Operation wird die Prothese in einer zweiten Operation oder Intervention verlängert. Wird eine sogenannte frozen-elephant-trunk Operation durchgeführt, wird bei der Operation ein Stent in die Aorta descendens eingeführt, der direkt in die Prothese für den Aortenbogen und die Aorta ascendens übergeht. Hierbei sind die supraaortalen Gefäßansätze in die Prothese integriert.

2.4.6 Entwöhnung von der Herz-Lungen-Maschine

Nachdem die Anastomosen fertig genäht sind und das Herz vollständig entlüftet ist, kann die Aortenklemme geöffnet werden. Der Patient wird langsam wieder erwärmt. Der Herzschlag des Patienten sollte automatisch wieder einsetzen, falls dies nicht geschieht, ist eine Defibrillation bei Kammerflimmern notwendig. Um den Rhythmus zu stabilisieren, werden temporäre Schrittmacherelektroden am Myokard befestigt. Anschließend wird die venöse Kanüle entfernt und Protamin als Antagonist für Heparin verabreicht. Über die arterielle Kanüle erhält der Patient weiterhin Volumen. Wenn sich der Rhythmus sowie der Blutdruck stabilisiert haben, kann die arterielle Kanüle entfernt werden. Durch transösophageale Echokardiographie wird die Funktion des Herzens beurteilt.

2.5 Postoperative Versorgung und Nachsorge

Die Patienten unserer Studie erhielten postoperativ je nach Bedarf kreislaufstabilisierende Medikamente wie Noradrenalin und Erythrozytenkonzentrate (EK). Um die Gerinnung zu normalisieren, bekamen die Patienten gegebenenfalls Thrombozytenkonzentrate (TK) oder gefrorenes Frischplasma (FFP). Des Weiteren erhielten die Patienten Medikamente zur Schmerzlinderung.

Um die Risiken für die Patienten zu verringern, wurden 3, 6 und 12 Monate nach der Operation und anschließend jährlich Kontrollen durchgeführt. Hierbei bot sich aufgrund der niedrigen Strahlenbelastung die MRT-Untersuchung an, allerdings erhielten trotzdem die meisten Patienten eine CT - Untersuchung. Hierbei wurde besonders auf den Aortendurchmesser, die Anastomosen, die Aortenklappen- und Myokardfunktion geachtet. Außerdem wurde in den Kontrolluntersuchungen der Blutdruck gemessen. Dabei sollten die systolischen Werte unter 135 mmHg gehalten werden (Krüger et al. 2012).

2.6 Datenerhebung

2.6.1 Präoperative Parameter

Präoperativ wurden demographische Parameter, wie Alter oder Geschlecht erhoben. Außerdem wurden Komorbiditäten und Risikofaktoren untersucht, beispielsweise ob die Patienten am Marfan Syndrom erkrankt waren, einen arteriellen Hypertonus hatten, ein Nikotinabusus bestand oder ob eine koronare Herzkrankheit vorhanden war. Des Weiteren wurde der Herzrhythmus bei Krankenhausankunft untersucht. Zusätzlich wurden vorherige Operationen und Interventionen in die Studie mit einbezogen. Weitere präoperative Parameter waren die diagnostischen Maßnahmen, die die Patienten erhielten, sowie die klinische Präsentation, mit der sie im UKSH, Campus Kiel, erschienen.

2.6.2 Intraoperative Parameter

Intraoperative Parameter waren zum einen zeitliche Angaben zur Operation. Dies beinhaltete zum Beispiel die Operationsdauer, die Bypassdauer, die Aortenklemmzeit oder die Stillstandzeit. In dieser Studie wurde außerdem festgehalten, welche Operationstechnik bei den Patienten durchgeführt wurde. Ob intraoperativ EKs, TKs oder FFPs gegeben wurden, wurde ebenfalls untersucht. Ein weiterer Teil der intraoperativen Parameter war die Angabe der jeweiligen Kanülierungstechnik.

2.6.3 Postoperative Parameter

Postoperativ wurde der Blutverlust über die Drainagemenge beurteilt. Außerdem wurde untersucht, ob postoperativ EKs, TKs und FFPs gegeben wurde, die Patienten reintubiert wurden oder ob sie sogar eine Tracheotomie benötigten. Wie sich die Patienten postoperativ klinisch präsentierten, wurde ebenfalls beobachtet, beispielsweise wurde auf ein Delir, kardiopulmonale Infekte, Sepsis oder Myokardinfarkte geachtet. Auch wurden weitere Eingriffe wie Rethorakotomien, Reoperationen oder Reinterventionen analysiert. Des Weiteren wurden der postoperative Rhythmus sowie die Beatmungszeit beurteilt. Insbesondere wurde auch die Niere untersucht, hierbei wurde auf das Vorliegen eines möglichen Nierenversagens geachtet, dies gegebenenfalls in Stadien eingeteilt und die Notwendigkeit einer Hämodialyse notiert. Ein weiterer Teil der postoperativen Parameter waren Angaben zur Mortalität. Hierbei wurde auch die 7-Tages- und 30-Tages-Mortalität erfasst, sowie die jeweiligen Todesursachen. Im Follow-up wurde das Überleben der Patienten über das Einwohnermeldeamt abgefragt.

2.7 Ethikkomission

Diese retrospektive Studie wurde von der lokalen Ethikkomission genehmigt (Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Schwanenweg 20, 24105 Kiel, Deutschland, Referenznummer: D 417/17). Von allen Patienten dieser Studie liegt eine schriftliche Einverständniserklärung vor.

2.8 Statistische Methoden

Quantitative Daten wurden mittels Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung geprüft. Normalverteilte Daten wurden anhand des Mittelwertes +/- Standardabweichung dargestellt und anhand des t-Tests auf Unterschiede hin verglichen. Nicht-normalverteilte Daten wurden

mit Hilfe des Medians und der 25. und 75. Quartile dargestellt und anhand des U-Tests nach Mann und Whitney auf Unterschiede hin analysiert.

Kategoriale Daten wurden mittels Kreuztabellen verglichen und mit dem Chi-Quadrat-Test und dem exakten Test nach Fisher auf Unterschiede getestet.

Die Überlebenszeiten der Patienten wurden mit Hilfe der Kaplan-Maier-Methode abgeschätzt und Unterschiede hinsichtlich der Überlebenszeiten zwischen den Kanülierungsmethoden wurden mittels Log-Rang Test untersucht.

Zur Bestimmung von adjustierten Risikofaktoren für die 30-Tage Sterblichkeit wurde eine logistische Regressionsanalyse durchgeführt. Alle präoperativen Daten wurden zunächst auf einen Zusammenhang mit der 30-Tages-Mortalität untersucht, wobei nur die signifikanten in der finalen Analyse berücksichtigt wurden. In die multivariable Analyse wurden folgende Variablen eingeschlossen: Das Alter bei OP, das Geschlecht, die Einteilung nach der DeBakey Klassifikation und die transatriale Kanülierung, sowie präoperative Symptome wie kardiogener Schock, COPD und das Vorliegen einer präoperativen neurologische Erkrankung. Außerdem wurden eine präoperativ stattgefundene Reanimation sowie die Beatmung bei Aufnahme mit einbezogen.

Die Güte des Modells wurde mit Nagelkerkes R-Quadrat (0,191) und dem Hosmer-Lemeshow-Test ($p = 0,224$) als ausreichend bestimmt.

Bei einem p -Wert von $p \leq 0,05$ wurden die Ergebnisse als statistisch signifikant gewertet. Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe der Software „Statistical Package for the Social Sciences“ (SPSS Version 26.0).

3 Ergebnisse

3.1 Präoperative Daten

3.1.1 Patientenkollektiv

Im Zeitraum vom 18.01.2001 bis zum 22.05.2019 wurden 420 Patienten mit einer AADA im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel operiert. Die arterielle Kanülierung erfolgte in der einen Gruppe bei 235 der Patienten durch die transatriale Kanülierungsmethode. In der anderen Gruppe wurden 185 der Patienten mit Hilfe der anderen Kanülierungsmethoden kanüliert. Diese zwei Patientengruppen wurden im Folgenden bezüglich verschiedener Variablen verglichen. Zu den anderen Kanülierungsmethoden zählen die Kanülierung über die Aorta ascendens, welche bei 92 Patienten durchgeführt wurde, die Kanülierung der A. femoralis (bei 76 Patienten), die Kanülierung des Aortenbogens (n = 11), die Kanülierung des Apex des linken Ventrikels (n = 5), sowie die Kanülierung der A. subclavia (n = 1).

Das mediane Alter der Patienten betrug 63 Jahre. Die Patienten, die mit Hilfe der transatrialen Kanülierung operiert wurden, waren etwas jünger als die, die eine der übrigen Kanülierungsmethoden erhielten (62 Jahre vs. 64 Jahre;). Dieser Unterschied erreicht allerdings keine statistische Signifikanz ($p = 0,644$). 34,3% der Patienten waren weiblich ($p = 0,594$).

	Alle Patienten (n=420)	Andere Kanülierungsmethoden (n=185 / 44 %)	Transatriale Kanülierung des linken Ventrikels (n=235 / 56 %)	p-Wert
Alter, Jahre	62,1±13,0 63,0 (53,0;72,0)	62,5±12,9 64,0 (53,5;72,5)	61,9±13,1 62,0 (53,0;72,0)	0,644
Weibliches Geschlecht	144 (34,3%)	66 (35,7%)	78 (33,2%)	0,594

	Alle Patienten (n=420)	Andere Kanülierungsmethoden (n=185 / 44 %)	Transatriale Kanülierung des linken Ventrikels (n=235 / 56 %)	p-Wert
Arterielle Kanülierung				< 0,001
A. femoralis	76 (18,1%)	76 (41,1%)	0 (0,0%)	----
Aorta ascendens	92 (21,9%)	92 (49,7%)	0 (0,0%)	----
Aortenbogen	11 (2,6%)	11 (5,9%)	0 (0,0%)	----
A. subclavia	1 (0,2%)	1 (0,5%)	0 (0,0%)	----
Apex	5 (1,2%)	5 (2,7%)	0 (0,0%)	----
V. pulmonalis	235 (56,0%)	0 (0,0%)	235 (56,0%)	----

Tabelle 1: Patientenkollektiv

3.1.2 Risikofaktoren

Die meisten der untersuchten Risikofaktoren wiesen keinen signifikanten Unterschied zwischen der Gruppe der transatrial kanülierten Patienten und der Gruppe der anderen Kanülierungsmethoden auf. Typische Risikofaktoren wie Adipositas ($p = 0,801$), arterielle Hypertension ($p = 0,103$) oder ein bestehender Diabetes mellitus (Typ 1 keine Fälle in beiden Gruppen, Typ 2 $p = 0,310$) zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen. Allerdings fanden sich bei zwei Risikofaktoren signifikante Unterschiede: Innerhalb der Gruppe der transatrialen Kanülierung hatten die Patienten deutlich seltener eine Hyperlipoproteinämie (7,7% vs. 15,2%, $p = 0,014$). Außerdem hatten in der Gruppe der transatrialen Kanülierung signifikant weniger Patienten in der Vergangenheit geraucht (9% vs. 18,8%, $p = 0,017$). Im Vergleich der Patienten, die zu dem Zeitpunkt der Operation Raucher waren, zeigte sich hingegen kein signifikanter Unterschied zwischen den Patientengruppen ($p = 0,357$).

Des Weiteren wurden in der Gruppe der transatrialen Kanülierungsmethode deutlich weniger Patienten bereits vor der Operation am Thorax operiert. Es zeigte sich diesbezüglich ein höchst signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen (3% vs. 16,2%, $p < 0,001$). Außerdem

erhielten nur 0,9% der Patienten dieser Gruppe in der Vergangenheit eine koronarerterielle Bypass-Operation (CABG), wohingegen 5,9% der Patienten, die mit Hilfe der übrigen Kanülierungsmethoden kanüliert wurden, bereits eine CABG erhalten hatten ($p = 0,003$).

Die weiteren in der Tabelle aufgeführten Risikofaktoren zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen.

	Alle Patienten (n=420)	Andere Kanülierungsmethoden (n=185 / 44 %)	Transatriale Kanülierung des linken Ventrikels (n=235 / 56 %)	p-Wert
Additiver EuroSCORE I	11 (9;13)	11 (8;14)	11 (9;13)	0,740
Logististischer EuroSCORE I	26,7 (16,1;42,7)	25,6 (16,1;44,4)	27,0 (16,2;42,2)	0,918
EuroSCORE II	6,2 (3,7;13,1)	6,2 (4,2;13,9)	6,1 (3,5;12,1)	0,262
Body mass index [kg/m ²]	26,3 (23,9;29,0)	26,2 (23,9;28,5)	26,3 (24,1;29,3)	0,801
Body mass index > 30 [kg/m ²]	84 (20,0%)	36 (19,5%)	48 (20,5%)	0,789
Arterieller Hypertonus	282 (67,1%)	132 (71,4%)	150 (63,8%)	0,103
Pulmonale Hypertension	7 (1,7%)	2 (1,1%)	5 (2,1%)	0,474
Diabetes mellitus Typ 1	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	----
Diabetes mellitus Typ 2	21 (5,0%)	7 (3,8%)	14 (6,0%)	0,310
Orale Medikation	11 (2,6%)	2 (1,1%)	9 (3,8%)	
Insulinabhängig	6 (1,4%)	3 (1,6%)	3 (1,3%)	1,000
Diäatisch therapiert	4 (1,0%)	2 (1,1%)	2 (0,9%)	
Diabetische Nephropathie	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	----
Diabetische Neuropathie	1 (0,2%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	----
Hyperlipoproteinämie	46 (11,0%)	28 (15,2%)	18 (7,7%)	0,014
Kreatinin [µmol/l]	88,9 (73,3;111,5)	88,0 (70,4;117,5)	89,8 (76,8;106,0)	0,663

	Alle Patienten (n=420)	Andere Kanülierungsmethoden (n=185 / 44 %)	Transatriale Kanülierung des linken Ventrikels (n=235 / 56 %)	p-Wert
Kratinin bei Aufnahme > 200 [µmol/l]	17 (4,5%)	7 (4,3%)	10 (4,6%)	0,904
Hämatokrit	40 (36;45)	40 (35;44)	41 (37;45)	0,169
Chronische Niereninsuffizienz	49 (11,7%)	24 (13,0%)	25 (10,6%)	0,459
Dekompensierte Niereninsuffizienz	9 (2,1%)	4 (2,2%)	5 (2,1%)	1,000
Nierenersatztherapie	7 (1,7%)	4 (2,2%)	3 (1,3%)	0,704
COPD	29 (6,9%)	11 (5,9%)	18 (7,7%)	0,492
Periphere Gefäßkrankheit	15 (3,6%)	8 (4,3%)	7 (3,0%)	0,461
Raucher	80 (19,1%)	39 (21,1%)	41 (17,5%)	0,357
In der Vergangenheit geraucht	52 (12,4%)	31 (16,8%)	21 (9,0%)	0,017
Koronare Herzkrankheit	71 (16,9%)	32 (17,3%)	39 (16,6%)	0,849
Ein-Gefäß-Erkrankung	43 (10,2%)	17 (9,2%)	26 (11,1%)	0,569
Zwei-Gefäß-Erkrankung	15 (3,6%)	7 (3,8%)	8 (3,4%)	0,569
Drei-Gefäß-Erkrankung	13 (3,1%)	8 (4,3%)	5 (2,1%)	0,569
Marfan Syndrom	11 (2,6%)	6 (3,3%)	5 (2,1%)	0,546
Atherosklerose der Aorta	9 (2,1%)	6 (3,2%)	3 (1,3%)	0,191
Bikuspide Aortenklappe	21 (5,1%)	11 (6,1%)	10 (4,3%)	0,423
Vorausgegangene PCI (+/- DES)	27 (6,4%)	9 (4,9%)	18 (7,7%)	0,252
Vorausgegangende Thorax-Operation	37 (8,8%)	30 (16,2%)	7 (3,0%)	< 0,001
Vorausgegangener CABG	13 (3,1%)	11 (5,9%)	2 (0,9%)	0,003
IABP/ECLS	5 (1,2%)	3 (1,6%)	2 (0,9%)	0,658

Tabelle 2: Präoperative Risikofaktoren

3.1.3 Klinische Präsentation

In der Gruppe der transatrialen Kanülierung hatten 21,3% präoperativ eine Perikardtamponade. Dies ist signifikant mehr als in der Vergleichsgruppe, hier hatten nur 12% der Patienten eine Perikardtamponade ($p = 0,013$). Weitere signifikante Unterschiede bezüglich der klinischen Präsentation zwischen beiden Gruppen wurden nicht beobachtet. Neurologische Defizite wurden mit 22,2% etwas häufiger festgestellt bei Patienten, die eine der anderen Kanülierungsmethoden erhielten, gegenüber 16,2% bei Patienten, die transatrial kanüliert wurden ($p = 0,119$). Auch bei Fragestellungen, ob ein kardiogener Schock vorliegt ($p = 0,884$) oder ob die Patienten innerhalb der letzten 48 Stunden einen Myokardinfarkt erlitten ($p = 0,927$), gab es keine signifikanten Unterschiede.

	Alle Patienten (n=420)	Andere Kanülierungsmethoden (n=185 / 44 %)	Transatriale Kanülierung des linken Ventrikels (n=235 / 56 %)	p-Wert
Perikardtamponade	72 (17,2%)	22 (12,0%)	50 (21,3%)	0,013
Neurologische Defizite	79 (18,8%)	41 (22,2%)	38 (16,2%)	0,119
Akuter Myokardinfarkt ($\leq 48h$)	14 (3,3%)	6 (3,2%)	8 (3,4%)	0,927
Kardiogener Schock	31 (7,4%)	14 (7,6%)	17 (7,2%)	0,884
CPR ($\leq 48h$)	33 (7,9%)	19 (10,3%)	14 (6,0%)	0,103
Transfer von der Intensivstation	48 (11,4%)	22 (11,9%)	26 (11,1%)	0,791
Intubiert bei Aufnahme	44 (10,5%)	16 (8,7%)	28 (11,9%)	0,286
Herzrhythmus				
Sinusrhythmus	353 (84,0%)	156 (84,3%)	197 (83,8%)	0,891
Vorhofflimmern	55 (13,1%)	24 (13,0%)	31 (13,2%)	0,947
Andere	28 (6,7%)	13 (7,0%)	15 (6,4%)	0,793
Schrittmacherpatient	11 (2,6%)	2 (1,1%)	9 (3,8%)	0,122
Defi-Patient	2 (0,5%)	0 (0,0%)	2 (0,9%)	0,506
Aortenklappenvitium				0,320

	Alle Patienten (n=420)	Andere Kanülierungsmethoden (n=185 / 44 %)	Transatriale Kanülierung des linken Ventrikels (n=235 / 56 %)	p-Wert
Aortenklappe intakt	240 (59,3%)	101 (57,7%)	139 (60,4%)	0,581
Aortenklappenstenose	12 (3,0%)	7 (4,0%)	5 (2,2%)	0,283
Aortenklappeninsuffizienz	146 (36,0%)	62 (35,4%)	84 (36,5%)	0,820
Kombiniertes Aortenklappen vitium bei Aortenklapenersatz	7 (1,7%)	5 (2,9%)	2 (0,9%)	0,247

Tabelle 3: Präoperative klinische Präsentation

3.1.4 Diagnostik

Das CT, als Standardmethode um eine AADA zu diagnostizieren, wurde bei allen Patienten dieser Studie durchgeführt. Teilweise erhielten die Patienten zusätzlich weitere bildgebende Untersuchungen. Hierbei zeigte sich, dass deutlich weniger Patienten, die transatrial kanüliert wurden, ein MRT erhielten (0,4% vs. 3,3%, p = 0,047).

	Alle Patienten (n=420)	Andere Kanülierungsmethoden (n=185 / 44 %)	Transatriale Kanülierung des linken Ventrikels (n=235 / 56 %)	p-Wert
Koronarangiographie	130 (31,0%)	65 (35,3%)	65 (27,7%)	0,092
Magnetresonanztomographie	7 (1,7%)	6 (3,3%)	1 (0,4%)	0,047

Tabelle 4: Diagnostik

3.2 Intraoperative Parameter

Intraoperativ gibt es einige Parameter, die sich zwischen beiden Gruppen signifikant unterscheiden. Die Operationsdauer ist in der Gruppe der transatrialen Kanülierung hochsignifikant kürzer (255 Minuten im Durchschnitt) als in der Vergleichsgruppe (295 Minuten im Durchschnitt, $p < 0,001$). Die Aortenklemmzeit ($p = 0,552$) und die kardiopulmonale Bypasszeit ($p = 0,217$) zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen. Einen deutlichen Unterschied gibt es wiederum in der Kreislaufstillstandszeit. Diese ist in der Gruppe der transatrialen Kanülierung im Durchschnitt länger (35 Minuten) als in der Gruppe der anderen Kanülierungsmethoden (31 Minuten, $p = 0,035$). Des Weiteren wurden den Patienten, die transatrial kanüliert wurden, intraoperativ signifikant weniger EKs und FFPs verabreicht ($p < 0,001$).

	Alle Patienten (n=420)	Andere Kanülierungsmethoden (n=185 / 44 %)	Transatriale Kanülierung des linken Ventrikels (n=235 / 56 %)	p-Wert
Dauer der Operation [min]	277 (227;340)	295 (241;356)	255 (217;320)	< 0,001
Kardiopulmonale Bypasszeit [min]	165 (136;210)	171 (137;215)	163 (134;205)	0,217
Klemmzeit [min]	92 (71;131)	92 (68;126)	93 (72;133)	0,552
Kreislaufstillstandszeit [min]	33 (26;49)	31 (25;47)	35 (26;53)	0,035
Anzahl der Erythrozytenkonzentrate, Einheiten	2 (0-16)	4 (0-16)	2 (0-16)	< 0,001
Anzahl gefrorenes Frischplasma, Einheiten	0 (0-21)	4 (0-21)	0 (0-16)	< 0,001
Anzahl der Thrombozytenkonzentrate, Einheiten	2 (0-5)	2 (0-5)	2 (0-5)	0,124
Hämodialyse	112 (26,7%)	56 (30,3%)	56 (23,8%)	0,138

Tabelle 5: Intraoperative Parameter

3.2.1 Venöse Kanülierung

Entsprechend der arteriellen Kanülierung unterschied sich je nach Zugangsweg auch die venöse Kanülierung zwischen beiden Gruppen. In beiden Patientengruppen wurden die meisten Patienten über den rechten Vorhof kanüliert. Allerdings gab es hierbei zwischen beiden Gruppen einen höchst signifikanten Unterschied: 100% der Patienten, die arteriell transatrial kanüliert wurden, wurden über diesen Weg venös kanüliert. In der Gruppe, die arteriell über die übrigen Methoden kanüliert wurden, wurden hingegen 92,9% venös über den rechten Vorhof kanüliert. Weitere venöse Kanülierungsmethoden waren eine bicavale Kanülierung, die in 2,2% der Patienten der Vergleichsgruppe durchgeführt wurde und nie in der Gruppe der transatrialen Kanülierung ($p = 0,037$), sowie die Kanülierung über die V. femoralis, welche ebenfalls nie in der Gruppe der transatrialen Kanülierung durchgeführt wurde, aber in 4,9% der Fälle der weiteren Kanülierungsmethoden ($p = 0,001$).

Die Abbildungen 6 und 7 verdeutlichen den Anteil der verschiedenen venösen Kanülierungsmethoden in den zwei Gruppen. In Tabelle 7 können die genauen Werte nachvollzogen werden.

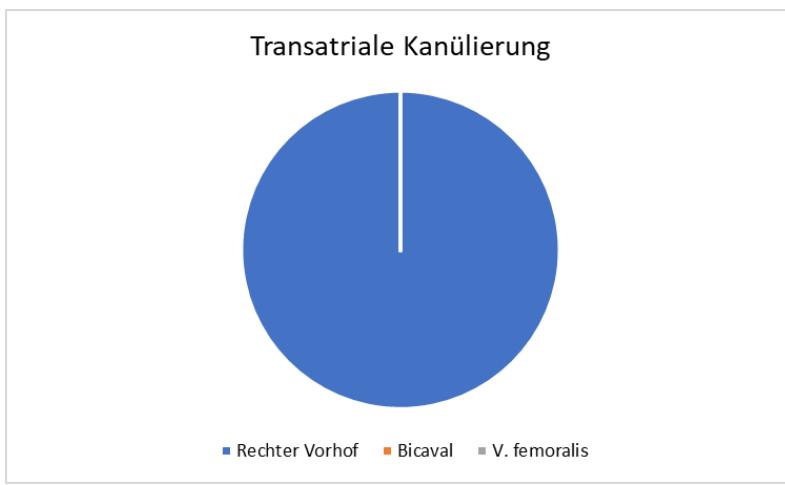


Abbildung 6: Venöse Kanülierung (transatriale Kanülierung)

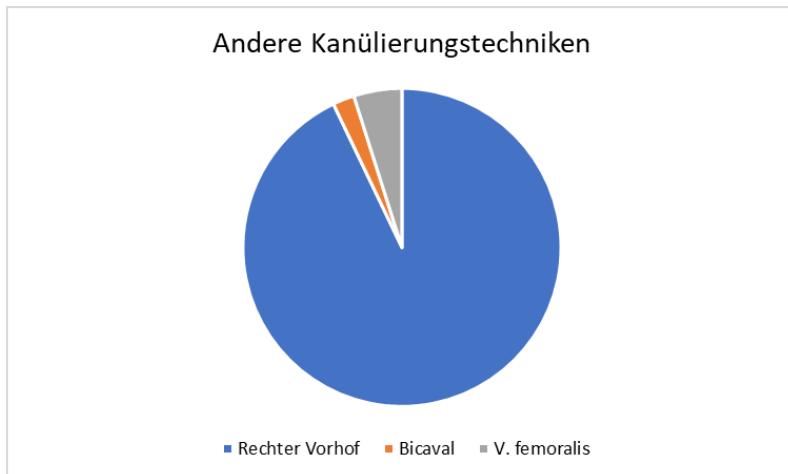


Abbildung 7: Venöse Kanülierung (andere Kanülierungen)

	Alle Patienten (n=420)	Andere Kanülierungsmethoden (n=185 / 44 %)	Transatriale Kanülierung des linken Ventrikels (n=235 / 56 %)	p-Wert
Rechter Vorhof	406 (96,9%)	171 (92,9%)	235 (100%)	< 0,001
Bicaval	4 (1,0%)	4 (2,2%)	0 (0,0%)	0,037
V. femoralis	9 (2,1%)	9 (4,9%)	0 (0,0%)	0,001

Tabelle 6: Venöse Kanülierung

3.2.2 Operationsverfahren

Auch hinsichtlich des Operationsverfahrens gab es einige Unterschiede zwischen beiden Gruppen. In der Gruppe der transatrialen Kanülierung wurde deutlich häufiger (17,4%) eine komplette Bogenersatz-Operation durchgeführt als in der Vergleichsgruppe (9,7%) ($p = 0,024$). In dieser Gruppe wurde ebenfalls deutlich häufiger eine Operation nach David durchgeführt (8,1% vs. 2,7%, $p = 0,018$). Ein weiterer signifikanter Unterschied bestand darin, dass in der Gruppe der transatrialen Kanülierung in nur 4,3% der Fälle zusätzlich zum Aortenersatz eine koronar-arterielle Bypass-Operation durchgeführt wurde. In der Gruppe der weiteren

Kanülierungsmethoden wurde dies zu 12,4% durchgeführt ($p = 0,002$). Höchst signifikant war der Unterschied im Vergleich der Aortenprothesengröße: Diese war im Mittel in der Gruppe der transatrialen Kanülierung kleiner als in der Vergleichsgruppe (28mm vs. 30mm, $p < 0,001$).

	Alle Patienten (n=420)	Andere Kanülierungsmethoden (n=185 / 44 %)	Transatriale Kanülierung des linken Ventrikels (n=235 / 56 %)	p-Wert
Einfacher suprakoronarer Ersatz der Aorta ascendens	197 (46,9%)	93 (50,3%)	104 (44,3%)	0,220
Teilbogenersatz	97 (23,2%)	40 (21,7%)	57 (24,3%)	0,545
Kompletter Bogenersatz	59 (14,0%)	18 (9,7%)	41 (17,4%)	0,024
Conduit/Bentall Operation	86 (20,5%)	40 (21,6%)	46 (19,6%)	0,606
David-Operation	24 (5,7%)	5 (2,7%)	19 (8,1%)	0,018
Elephant-trunk	9 (2,1%)	2 (1,1%)	7 (3,0%)	0,310
Kombiniert mit Aortenklappenersatz	79 (18,8%)	38 (20,5%)	41 (17,4%)	0,421
Kombiniert mit CABG	33 (7,9%)	23 (12,4%)	10 (4,3%)	0,002
Größe der Prothese der Aorta ascendens [mm]	28 (26;30)	30 (28;31)	28 (26;30)	< 0,001
Mitralklappenrekonstruktion / -ersatz	1 (0,2%)	1 (0,5%)	0 (0,0%)	0,440
Tricuspidalklappenrekonstruktion / -ersatz	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	----
PFO-Verschluss	4 (1,0%)	1 (0,5%)	3 (1,3%)	0,634
MAZE-Verfahren	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	----
Kombinationseingriff mit Carotis	8 (1,9%)	2 (1,1%)	6 (2,6%)	0,475
TEVAR(EVAR)	27 (6,4%)	7 (3,8%)	20 (8,5%)	0,052

Tabelle 7: Operationsverfahren

3.3 Postoperative Parameter

3.3.1 Postoperatives Management

Postoperativ erhielten die Patienten, die transatrial kanüliert wurden, deutlich mehr Thrombozytenkonzentrate (TK) als die Patienten der Vergleichsgruppe. Dies zeigt sich zum einen in den unmittelbar postoperativen Werten: Hierbei erhielten 53% der transatrial kanülierten Gruppe TKs und 39% der Gruppe der anderen Kanülierungstechniken ($p = 0,005$). Außerdem ist die Gesamtzahl der erhaltenen TKs während des gesamten Krankenhausaufenthaltes in der transatrialen Gruppe höher (im Durchschnitt 1 vs. 0, $p = 0,001$). Des Weiteren war der Hämatokrit postoperativ in der Gruppe der transatrialen Kanülierung signifikant höher (32 vs. 30, $p = 0,003$). Ein weiterer signifikanter Unterschied bestand in der postoperativen Krankenaufenthaltsdauer. Diese betrug im Mittelwert in der transatrial kanülierten Gruppe 9 Tage, in der Vergleichsgruppe hingegen 11 Tage ($p = 0,009$). Die postoperative Krankenaufenthaltsdauer ist somit bei der neuen Kanülierungsmethode signifikant kürzer. Weitere Parameter wie der postoperative Blutverlust (850ml transatrial vs. 950ml andere Kanülierungsmethoden, $p = 0,738$) oder die postoperative Beatmungszeit (62h vs. 64h, $p = 0,54$) zeigten keine signifikanten Unterschiede.

	Alle Patienten (n=420)	Andere Kanülierungsmethoden (n=185 / 44 %)	Transatriale Kanülierung des linken Ventrikels (n=235 / 56 %)	p-Wert
48 h-Drainagen Verlust [ml]	900 (500;1500)	950 (500;1500)	850 (500;1525)	0,738
Postoperative Bluttransfusion	302 (73,7%)	130 (73,4%)	172 (73,8%)	0,932
Postoperatives gefrorenes Frischplasma	211 (51,5%)	94 (53,1%)	117 (50,2%)	0,562
Postoperative Thrombozytenkonzentrate	192 (46,9%)	69 (39,0%)	123 (53,0%)	0,005

	Alle Patienten (n=420)	Andere Kanülier- ungsmethoden (n=185 / 44 %)	Transatriale Kanülierung des linken Ventrikels (n=235 / 56 %)	p-Wert
24 h-Anzahl der Erythrozytenkonzentrate, unit	1 (0-17)	0 (0-15)	1 (0-17)	0,945
24 h-Anzahl gefrorenes Frischplasma, unit	0 (0-24)	0 (0-23)	0 (0-24)	0,751
24 h-Anzahl Thrombozytenkonzentrate, unit	0 (0-10)	0 (0-6)	0 (0-10)	0,735
Gesamtzahl Erythrozytenkonzentrate, unit	3.5 (0-56)	3 (0-56)	4 (0-48)	0,340
Gesamtzahl gefrorenes Frischplasma, unit	1.5 (0-76)	2 (0-69)	1 (0-76)	0,982
Gesamtzahl Thrombozytenkonzentrate, unit	0 (0-20)	0 (0-15)	1 (0-20)	0,001
Hämatokrit	31,1 (28,1;34,5)	30 (27;34)	32 (29;35)	0,003
Beatmungszeit [h]	63 (19;192)	64 (23;172)	62 (18;207)	0,540
Zeit auf der Intensivstation [d]	5 (2;11)	5 (2;11)	6 (2;12)	0,250
Postoperative Tage	10 (7;18)	11 (7;19)	9 (5;17)	0,009

Tabelle 8: Postoperatives Management

3.3.2 Postoperative Komplikationen

Bezüglich postoperativer Komplikationen gab es nur wenige signifikante Unterschiede zwischen beiden Gruppen. Innerhalb der Gruppe der transatrialen Kanülierung zeigten die Patienten deutlich häufiger postoperativ bronchopulmonale Infekte (18,3% vs. 8,6%, p = 0,005). Des

Weiteren erhielten die Patienten dieser Gruppe postoperativ deutlich länger eine temporäre Di-alyse (im Durchschnitt 6,5 Tage vs. 3 Tage, $p = 0,017$). Ebenfalls erhielten die Patienten die transatrial kanüliert wurden deutlich mehr Reinterventionen als die Patienten der Vergleichsgruppe (11,5% vs. 5,9%, $p = 0,049$). Neurologische Komplikationen wie ein postoperatives Delir oder das Auftreten eines Schlaganfalls oder einer TIA zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen. In der Gruppe der transatrial kanülierten Patienten hatten 20,2% postoperativ ein Delir und 20,4% der Patienten erlitten einen Schlaganfall oder eine TIA. In der Vergleichsgruppe zeigten sich 16,2% mit einem postoperativen Delir und 25,4% der Patienten erlitten einen Schlaganfall oder eine TIA ($p = 0,3$ bzw. $p = 0,226$). Komplikationen wie Wundinfektionen ($p = 0,705$) oder akutes Nierenversagen ($p = 0,658$) zeigten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede. Außerdem zeigte sich in Folgeeingriffen wie Reintubationen (15,3% transatrial vs. 19,5% andere Kanülierungsmethoden, $p = 0,264$) oder Tracheotomien (26,4% vs. 21,1%, $p = 0,207$) kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen, ebenso in der Rate der Reopertationen (32,8% vs. 29,7%, $p = 0,506$) und Rethorakotomien (19,1% vs. 16,8%, $p = 0,527$).

	Alle Patienten (n=420)	Andere Kanülierungsmethoden (n=185 / 44 %)	Transatriale Kanülierung des linken Ventrikels (n=235 / 56 %)	p-Wert
IABP/ECLS	11 (2,7%)	7 (4,0%)	4 (1,7%)	0,217
Reintubation	72 (17,1%)	36 (19,5%)	36 (15,3%)	0,264
Tracheotomie	101 (24,0%)	39 (21,1%)	62 (26,4%)	0,207
Wiederaufnahme auf Intensivstation	39 (9,3%)	19 (10,3%)	20 (8,5%)	0,526
Wiederaufnahme postoperativer Tag	5 (2;8)	5,5 (2;8)	5 (1;9)	0,755
Postoperatives Delir	77 (18,4%)	30 (16,2%)	47 (20,2%)	0,300
Postoperativer Myokardinfarkt	6 (1,4%)	1 (0,5%)	5 (2,1%)	0,235
TIA/Schlaganfall	95 (22,6%)	47 (25,4%)	48 (20,4%)	0,226
Elektrische Kardioversion	28 (6,7%)	12 (6,5%)	16 (6,8%)	0,886
CPR	27 (6,4%)	15 (8,1%)	12 (5,1%)	0,213

	Alle Patienten (n=420)	Andere Kanülierungsmethoden (n=185 / 44 %)	Transatriale Kanülierung des linken Ventrikels (n=235 / 56 %)	p-Wert
Bronchopulmonale Infekte	59 (14,0%)	16 (8,6%)	43 (18,3%)	0,005
Bakteriämie/Sepsis	19 (4,5%)	7 (3,8%)	12 (5,1%)	0,517
Rethorakotomie	76 (18,1%)	31 (16,8%)	45 (19,1%)	0,527
Reoperation	132 (31,4%)	55 (29,7%)	77 (32,8%)	0,506
Reintervention	38 (9,0%)	11 (5,9%)	27 (11,5%)	0,049
Sternale Wundinfektion/VAC Revision	7 (1,7%)	4 (2,2%)	3 (1,3%)	0,705
AKI KDIGO	87 (20,9%)	40 (21,9%)	47 (20,1%)	0,658
AKI KDIGO Stadien				0,057
1	1 (1,2%)	0 (0,0%)	1 (2,3%)	----
2	5 (6,0%)	0 (0,0%)	5 (11,4%)	----
3	77 (92,8%)	39 (100%)	38 (86,4%)	----
Neuer Beginn einer Hämodialyse	89 (21,2%)	40 (21,7%)	49 (20,9%)	0,825
Temporäre Dialyse [d]	4,5 (2,3;14,0)	3,0 (2,0;6,8)	6,5 (3,5;16,0)	0,017
Sinusrhythmus	316 (75,2%)	133 (71,9%)	183 (77,9%)	0,159
Vorhofflimmern	44 (10,5%)	19 (10,4%)	25 (10,6%)	0,933
Anderer Rhythmus	12 (2,9%)	4 (2,2%)	8 (3,4%)	0,454
Schrittmacherpatient	23 (5,5%)	9 (4,9%)	14 (6,0%)	0,625

Tabelle 9: Postoperative Komplikationen

3.3.3 Postoperative Mortalität

Untersucht wurden hinsichtlich der postoperativen Mortalität die 7-Tages-Mortalität, die 30-Tages-Mortalität, die generelle Krankenhausmortalität und die jeweiligen Todesursachen. Hierbei zeigte die Gruppe der transatrial kanülierten Patienten eine signifikant niedrigere 7-Tages-

Mortalität ($p = 0,050$). Diese lag in dieser Gruppe bei 8,5%, wobei in der Vergleichsgruppe die 7-Tages-Mortalität 14,6% betrug. Trotz gering niedrigerer Werte in der Gruppe der transatrialen Kanülierung, zeigten die 30-Tages-Mortalität und die generelle Mortalität während des Krankenhausaufenthaltes keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen. 15,3% der Patienten, die transatrial kanüliert wurden, verstarben nach 30 Tagen, 18,9% der Patienten, bei denen eine der anderen Kanülierungstechniken angewendet wurde ($p = 0,328$). Während des Krankenaufenthaltes starben 13,6% der Patienten, die transatrial kanüliert wurden, 18,4% der Vergleichsgruppe verstarben während dieser Zeit ($p = 0,330$). Die Patienten starben aufgrund von kardialen oder zerebralen Ursachen oder aufgrund von Sepsis oder eines Multiorganversagens. Die Abbildungen 8 und 9 stellen die unterschiedlichen Todesursachen grafisch dar.

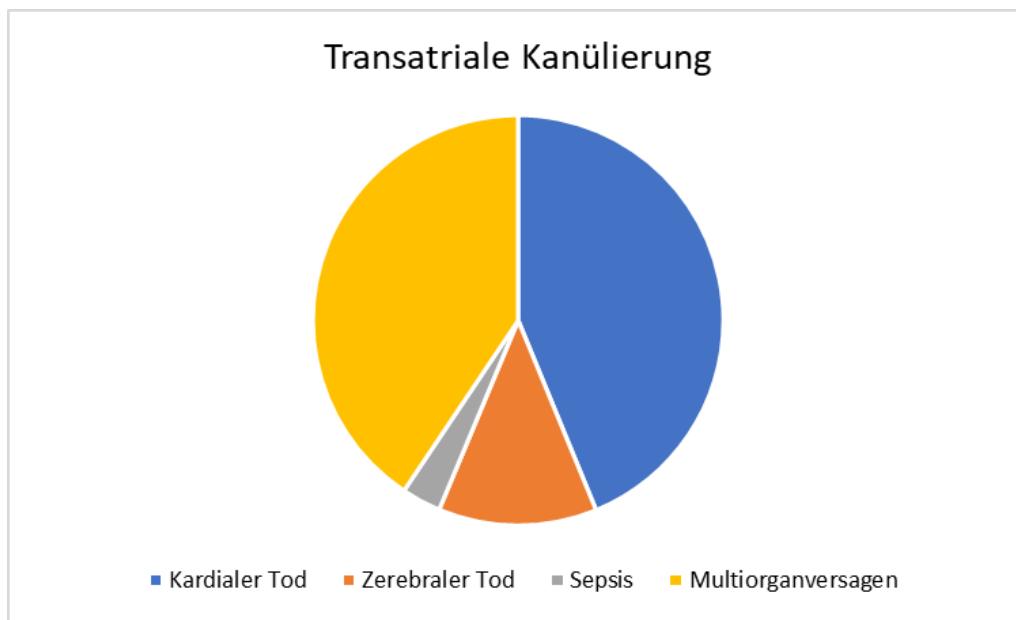


Abbildung 8: Todesursachen (transatriale Kanülierung)

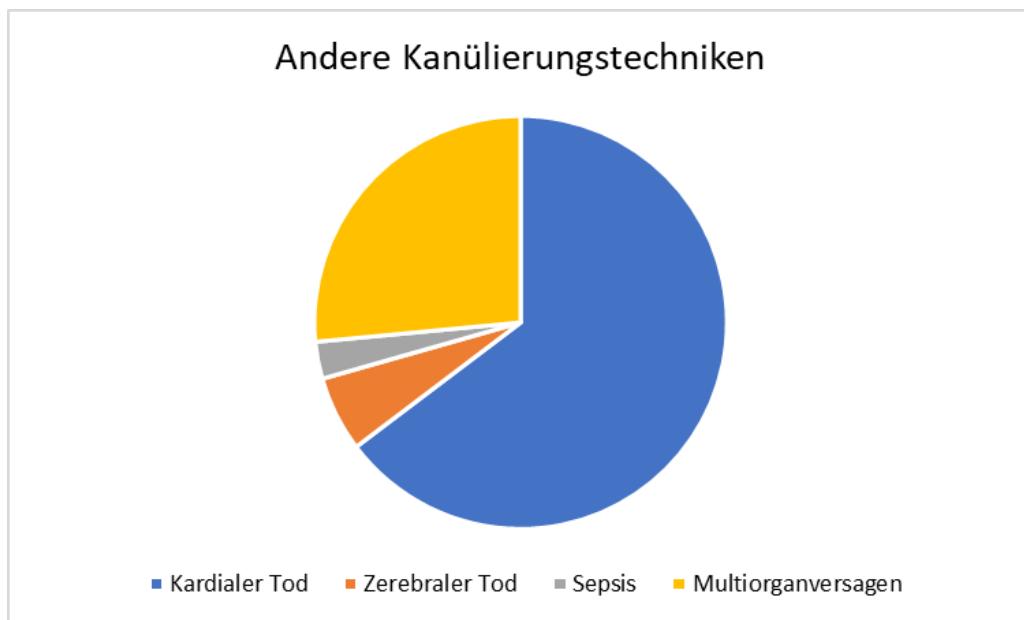


Abbildung 9: Todesursachen (andere Kanülierungstechniken)

	Alle Patienten (n=420)	Andere Kanülier- ungsmethoden (n=185 / 44 %)	Transatriale Kanülierung des linken Ventrikels (n=235 / 56 %)	p-Wert
7-Tages-Mortalität	47 (11,2%)	27 (14,6%)	20 (8,5%)	0,050
30-Tages-Mortalität	71 (16,9%)	35 (18,9%)	36 (15,3%)	0,328
Krankenhaus Mortalität	66 (15,7%)	34 (18,4%)	32 (13,6%)	0,330
Kardiogener Tod	36 (54,5%)	22 (64,7%)	14 (43,8%)	-----
Cerebraler Tod	6 (9,1%)	2 (5,9%)	4 (12,5%)	-----
Sepsis	2 (3,0%)	1 (2,9%)	1 (3,1%)	-----
Multiorganversagen	22 (33,3%)	9 (26,5%)	13 (40,6%)	-----

Tabelle 10: Postoperative Mortalität

Nach Adjustierung von Komorbiditäten, Alter und Geschlecht zeigte sich, dass die transatriale Kanülierung den anderen Kanülierungsmethoden hinsichtlich des 30-Tages-Outcomes weder überlegen noch unterlegen ist. Tabelle 11 veranschaulicht, welche präoperativen Parameter die

30-Tages-Mortalität wesentlich beeinflussen: Eine stattgefundene Reanimation, präoperative neurologische Erkrankungen sowie die Beatmung bei der Aufnahme ins Krankenhaus. Die transatriale Kanülierung zeigte sich nach Adjustierung für Alter, Geschlecht und andere Confounder nicht als Prädiktor für die 30-Tage-Sterblichkeit.

Variable	Odds Ratio	Konfidenzintervall	p-Wert
Transatriale Kanülierung	0,872	0,473 - 1,609	0,662
Reanimation (<48 h präoperativ)	11,383	4,080 - 31,758	< 0,001
Beatmet bei Aufnahme	3,402	1,351 - 8,564	0,009
Neurologische Erkrankung präoperativ	2,096	1,039 - 4,225	0,039

Tabelle 11: Ergebnisse der logistischen Regressionsanalyse mit Zielgröße 30-Tage Sterblichkeit

3.3.4 Langzeitüberleben und Follow-up

Die Follow-up Zeit der beiden Gruppen unterschied sich höchst signifikant. In der Gruppe der transatrial kaniulierten Patienten betrug diese im Mittel 2,4 Jahre und war somit wesentlich kürzer als die Follow-up-Zeit der Patienten, die eine der anderen Kanülierungstechniken erhielten (6,6 Jahre im Durchschnitt) ($p < 0,001$). Dies ist vor allem dadurch begründet, dass die transatriale Kanülierung erst seit 2010 verwendet wird und daher kein längeres Follow-up Intervall bei diesen Patienten zu erzielen war.

Follow-up	Alle Patienten (n=420)	Andere Kanülier- ungsmethoden (n=185 / 44 %)	Transatriale Kanülierung des linken Ventrikels (n=235 / 56 %)	p-Wert
Überleben /Follow-up Zeit (Jahre)	3,6 (0,6;7,6)	6,6 (0,6;10,7)	2,4 (0,6;5,7)	<0,001

Tabelle 12: Follow-up

Das Langzeitüberleben hingegen zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen ($p = 0,569$). In Graphik 10 ist das geschätzte kumulative Überleben in Prozent in

Abhängigkeit von der Zeit in Jahren angegeben. Dieses ist in den ersten 8 Jahren annährend gleich im Vergleich der beiden Gruppen. Zwischen den Jahren 8 und 12 zeigt sich, dass das kumulative Überleben in der Gruppe der transatrial kanülierten Patienten etwas höher ist. Letztendlich ist das kumulative Überleben bei beiden Gruppen am Ende der beobachteten Zeit bei ungefähr 40%. Da die Follow-up Dauer allerdings in der Gruppe der anderen Kanülierungsmethoden deutlich länger ist, gibt es zu dieser Gruppe auch Werte bis 18 Jahre postoperativ, was im Fall der transatrialen Kanülierung nicht so ist. In der Tabelle 13 sind die Überlebenszeiten bis 10 Jahre nach der Operation aufgeführt und zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen.

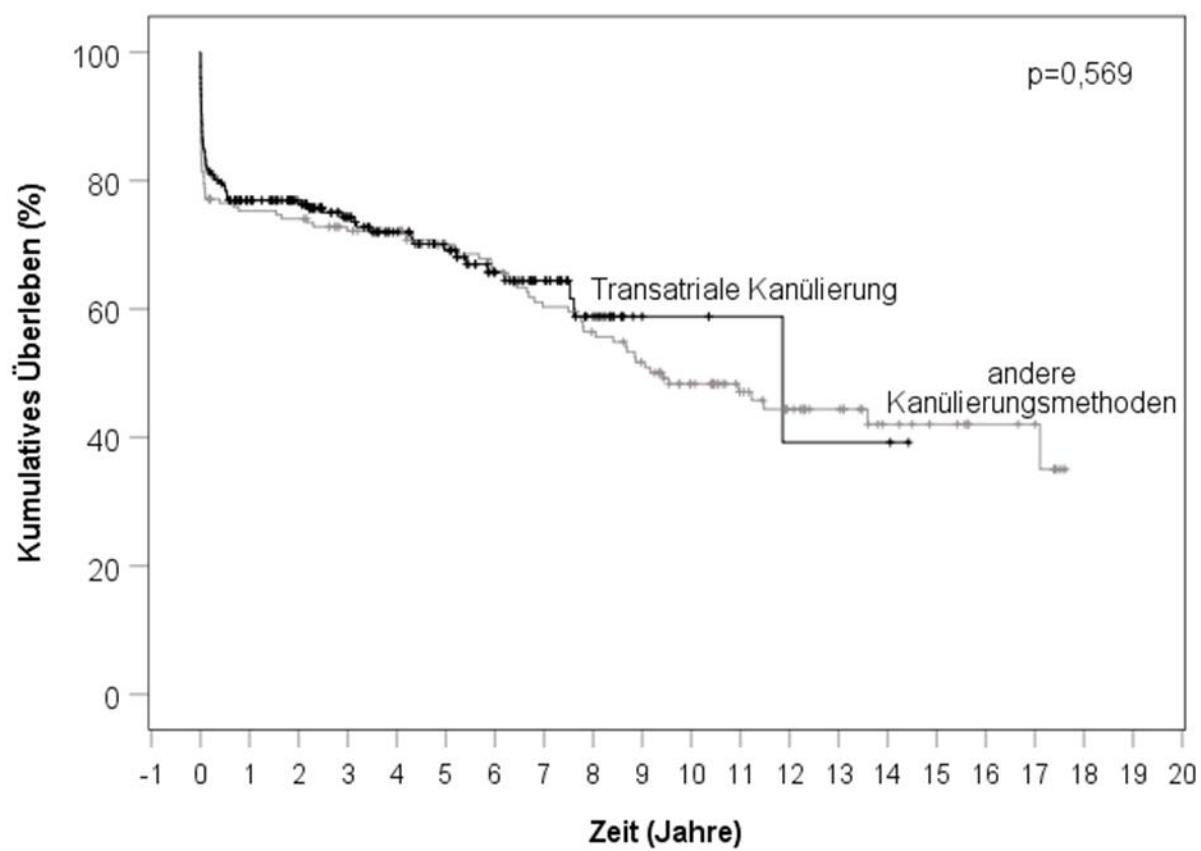


Abbildung 10: Langzeitüberleben

Zeit (Jahre)	1	2	3	5	7	10
TA-Kanülierung (n=226)						
Patienten unter Risiko	217	145	119	77	44	5
Überleben (%)	76	76	73	68	63	59
Andere Kanülierungsmethoden (n=166)						
Patienten unter Risiko	165	123	118	102	89	59
Überleben (%)	75	74	72	70	60	48

Tabelle 13: Langzeitüberleben

4 Diskussion

Akute Aortendissektionen Typ A sind ein Notfall in der Herzchirurgie. Nach wie vor ist die Mortalität insbesondere ohne chirurgische Therapie hoch. Die Therapie der Wahl ist die chirurgische Sanierung, die möglichst schnell erfolgen sollte (Gasser et al. 2021). Rein konservativ behandelt beträgt die Mortalität in den ersten 48 Stunden 50% (Conzelmann et al. 2011). Der Anschluss an die Herz-Lungen-Maschine stellt die Chirurgen allerdings besonders im Fall der AADA vor die Frage, wie am besten arteriell kanüliert werden soll. Hierzu gibt es einige Studien, die verschiedene arterielle Kanülierungen vergleichen. Etz et al. vergleichen beispielsweise die antegrade Kanülierung über die A. axillaris oder die Kanülierung direkt in die Aorta mit der retrograden Kanülierung über die A. femoralis. Ihren Ergebnissen zufolge gab es bei dieser Studie Unterschiede im Langzeitüberleben zugunsten der antegraden Kanülierungsmethoden (Etz et al. 2014). Auch Tiwari et al. stellen sich der Frage, wie bei der Operation der AADA arteriell kanüliert werden sollte. Hierbei wird die Kanülierung der A. femoralis mit der Kanülierung der Aorta ascendens verglichen. Die Studie zeigt, dass die Kanülierung der Aorta ascendens im Vergleich zur Kanülierung der A. femoralis eine niedrigere Mortalitätsrate aufweist (Tiwari et al. 2010). Auch Klotz et al. vergleichen die zentralen Kanülierungsmethoden mit der Kanülierung der A. femoralis. Ihr Ergebnis zeigt aber keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der postoperativen Mortalität zwischen den beiden Vergleichsgruppen (Klotz et al. 2016).

Da nun immer noch die Frage bleibt, welche Kanülierungstechnik die beste für die Operation einer AADA ist und außerdem die Kanülierung der Aorta ascendens mit einem Risiko verbunden ist, das falsche Lumen zu treffen, wird in Kiel seit 2010 eine neue Kanülierungstechnik angewendet. Diese transatriale Kanülierung wurde in unserer retrospektiven Studie mit den anderen Kanülierungstechniken verglichen. Dies wurde bereits im Jahr 2016 von Rahimi-Barfeh et al. in der Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie untersucht. Die früheren Ergebnisse werden nun in dieser Studie mit einem größeren Datensatz und einem längeren Beobachtungszeitraum verglichen.

4.1 Patientenkollektiv

In dieser Studie wurden die Daten von 420 Patienten, die aufgrund einer AADA operiert wurden, erfasst. Davon wurden 235 mit Hilfe der transatrialen Kanülierung kanüliert und 185 Patienten erhielten eine der übrigen Kanülierungen. Der Datensatz von Rahimi-Barfeh et al. umfasst hingegen 119 Patienten, wovon 46 transatrial kanüliert wurden und 73 mit einer der anderen Kanülierungstechniken. Diese Patienten wurden zwischen 2006 und 2013 operiert, wobei seit 2010 die transatriale Kanülierung angewandt wurde (Rahimi-Barfeh et al. 2016). Im Rahmen dieser Studie wurde der Datensatz aktualisiert und die Daten weiterer Patienten im Zeitraum zwischen 2006 und 2019 erhoben. Aufgrund der größeren Anzahl an untersuchten Patienten und einem Untersuchungszeitraum von 14 Jahren sollen hier möglichst repräsentative Ergebnisse dargestellt werden.

Das mediane Alter der untersuchten Patienten in unserer Studie beträgt 63 Jahre (62,1 +/-13,0). Dies passt zu vorherigen Analysen. Hagan et. al berichten von einem medianen Alter von 63,1 Jahren (Hagan et al. 2000). 30% der Betroffenen sind sogar älter als 70 Jahre (Rylski et al. 2014a). Aortendissektionen sind also eher Erkrankungen von älteren Menschen. In unserer Studie bietet das Alter der Patienten nur einen geringen Hinweis auf postoperative Unterschiede der zu vergleichenden Gruppen. Die Patienten, die mit Hilfe der transatrialen Kanülierung operiert wurden, sind etwas jünger als diejenigen, die eine der üblichen Kanülierungsmethoden erhielten (62 vs. 64 Jahre; $p = 0,644$). Dies wurde ebenfalls von Rahimi-Barfeh et al. beobachtet: Die Patienten der neuen Kanülierungsmethode hatten ein mittleres Alter von 61 +/-14, die der übrigen Kanülierungsmethoden hatten eines von 62,1 +/-12,2. Jedoch waren auch diese Ergebnisse statistisch nicht signifikant ($p = 0,95$) (Rahimi-Barfeh et al. 2016). Da sich das Alter zwischen den zwei Vergleichsgruppen nicht signifikant voneinander unterscheidet, stellt das Alter in unserer Klinik kein Entscheidungskriterium für die Wahl der Kanülierungsmethode dar. Hagan et al. berichten, dass zwei Drittel der Patienten mit einer AADA männlich sind (Hagan et al. 2000). Auch dies passt zu unserer Studie: 65,7% der Patienten waren männlich.

Was sich allerdings verändert hat, sind die prozentualen Anteile der verschiedenen Kanülierungstechniken. Zwischen 2006 und 2013 wurden 38,8% transatrial kanüliert, 38,8% wurden über die A. femoralis kanüliert und 22,7% über die Aorta ascendens (Rahimi-Barfeh et al. 2016). Dies hat sich über die weiteren sechs Jahre deutlich verändert: Es wurden in unserer Analyse 56% der Patienten mit einer AADA transatrial kanüliert. Außerdem wurden nur noch

18,1% über die A. femoralis kanüliert und weiterhin 21,9% über die Aorta ascendens. Des Weiteren kamen einige Kanülierungstechniken hinzu, wie die Kanülierung der A. subclavia (0,2%), die Kanülierung des Aortenbogens (2,6%) oder die Kanülierung direkt in den Apex des Ventrikels (1,2%). Somit lässt sich also feststellen, dass sich die transatriale Kanülierung im UKSH in Kiel seit der Einführung 2010 etabliert hat und hier mittlerweile sogar die am meisten angewandte Kanülierungstechnik bei einer Operation einer AADA ist. Die Abbildungen 11 und 12 stellen die Anteile der durchgeführten arteriellen Kanülierungstechniken im Vergleich zwischen unserer Studie und der Studie von Rahimi-Barfeh et al. gegenüber.

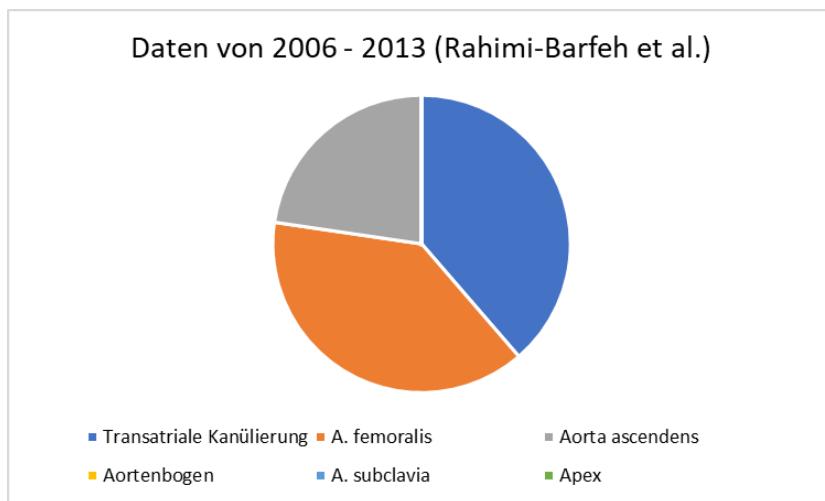


Abbildung 11: Arterielle Kanülierung (Daten von 2006-2013)

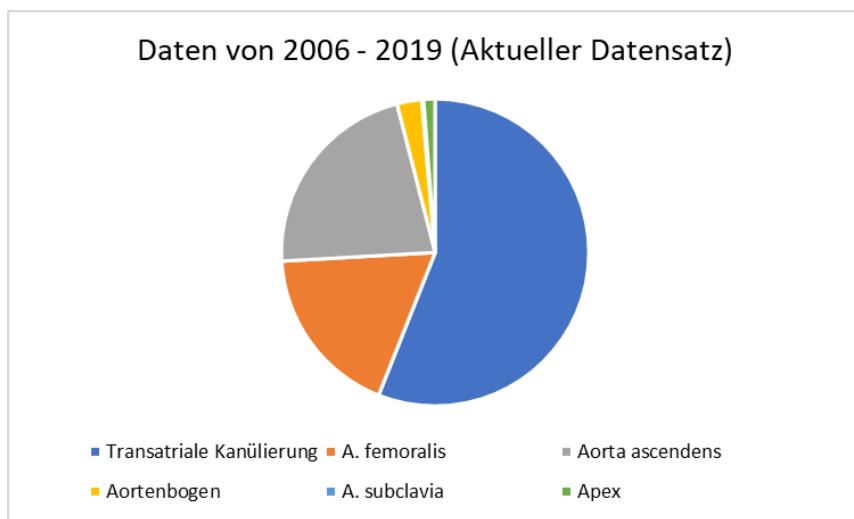


Abbildung 12: Arterielle Kanülierung (Daten von 2006-2019)

4.2 Präoperative Parameter

Hinsichtlich der präoperativen Parameter zeigten sich in dieser Studie einige signifikante Unterschiede zwischen der Gruppe der transatrial kanülierten Patienten und der Gruppe der üblichen Kanülierungsmethoden. Dies betraf Risikofaktoren, die klinische Präsentation bei Aufnahme sowie die durchgeführte Diagnostik. Rahimi-Barfeh et al. haben ebenfalls die präoperativen Parameter untersucht. Sie zeigten, dass die Patienten, die mit Hilfe der üblichen Kanülierungstechniken operiert wurden, präoperativ häufiger Schlaganfälle erlitten (17,1% vs 6,8%, $p = 0,16$). Außerdem waren die Patienten dieser Gruppe häufiger hämodynamisch instabil und erhielten Inotropika (27,8% vs. 17,4%; $p = 0,16$) und waren ebenfalls bei Krankenhausankunft häufiger bereits intubiert (19,2% vs. 8,7%; $p = 0,19$). All diese Beobachtungen waren allerdings statistisch nicht signifikant (Rahimi-Barfeh et al. 2016). Sie deuten aber darauf hin, dass zwischen 2006 und 2013 tendenziell die Patienten, die stabiler waren, eher transatrial kanüliert wurden. Bei den instabileren Patienten wurde eher auf die üblichen Kanülierungsmethoden zurückgegriffen. Die aktuelle Analyse mit dem Datensatz von 2006 bis 2019 kann diese Tendenzen allerdings nur teilweise bestätigen.

Auch in der aktuellen Studie waren bei Krankenhausankunft etwas mehr Patienten, die eine der alten Kanülierungstechniken erhielten, neurologisch auffällig. In unseren Daten wurde allerdings nicht zwischen allgemein neurologischen Defiziten und der Anzahl an Schlaganfällen unterschieden, sodass ein Vergleich zur Arbeit von Rahimi-Barfeh et al. schwierig ist. Krüger et al. berichten, dass es präoperativ bei einer AADA in etwa 25% zu neurologischen Defiziten kommen kann (Krüger et al. 2012). Klotz et al berichten in ihrer Studie von 10,7% (Klotz et al. 2016). In unserer Studie zeigten insgesamt 18,8% der Patienten präoperative neurologische Defizite, was zu den Daten von Krüger et al. und Klotz et al. passt. Insgesamt können wir die Tendenz von Rahimi-Barfeh et al. bestätigen, dass etwas mehr Patienten, die eine der anderen Kanülierungstechniken erhielten, präoperativ neurologische Vorerkrankungen aufwiesen.

Ein Unterschied im Vergleich zu den Daten von Rahimi-Barfeh et al. ist, dass bei Krankenhausankunft mehr Patienten der transatrial kanülierten Gruppe bereits intubiert waren (11,9% vs. 8,7%; $p = 0,286$). Somit kann die Tendenz, dass die Patienten, die eine der anderen Kanülierungstechniken erhielten, etwas instabiler waren, mit Hilfe des größeren Datensatzes nicht bestätigt werden.

Im Vergleich zu der Arbeit von Rahimi-Barfeh et al. zeigte unsere Studie sogar signifikante Unterschiede hinsichtlich einiger präoperativer Parameter. Beispielsweise hatten signifikant mehr Patienten der transatrial kanülierten Gruppe bei Krankenhausankunft eine Perikardtamponade. Die höhere Zahl in dieser Gruppe von 21,3% passt ebenfalls zu den Daten von Krüger et al., die berichten, dass bei einer AADA mehr als 20% das Krankenhaus mit einer Perikardtamponade erreichten (Krüger et al. 2012). Der höhere Anteil der Patienten mit Perikardtamponade in der Gruppe der transatrial kanülierten Patienten, deutet darauf hin, dass auch in dieser Gruppe instabile Patienten mit dieser Kanülierungsmethode operiert wurden.

Risikofaktoren wie Rauchen oder Hyperlipoproteinämie kamen demgegenüber signifikant häufiger in der Gruppe der alten Kanülierungsmethoden vor. Auch statistisch nicht signifikante Risikofaktoren wie arterielle Hypertension kamen häufiger bei diesen Patienten vor. Es wurden somit mehr Patienten, die ein höheres Risiko aufwiesen, eine AADA zu bekommen, mit Hilfe der üblichen Kanülierungstechniken operiert. Wie sich diese Parameter im Vergleich zu dem Zeitraum von 2006 bis 2013 entwickelt haben, kann der Arbeit von Rahimi-Barfeh et al. nicht entnommen werden. Der EuroScore, als prognostischer Faktor für das Risiko innerhalb von 30 Tagen postoperativ zu versterben, unterschied sich jedoch bei den beiden Gruppen nicht.

Ein wichtiger Aspekt ist ebenfalls, ob die Patienten bereits am Thorax operiert wurden oder eine koronararterielle Bypass-Operation hatten. Diese Patienten wurden signifikant häufiger mit einer der anderen Kanülierungstechniken kanüliert. Rahimi-Barfeh et al. konnten ebenfalls diesen Unterschied beobachten, damals noch ohne statistische Signifikanz. Voroperierte Patienten haben häufig Verwachsungen am Herz. Dies erschwert die transatriale Kanülierung, weshalb diese Patienten häufiger über die A. femoralis kanüliert wurden.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass sich im Vergleich zur Studie von Rahimi-Barfeh et al. die präoperative Präsentation der Patienten in beiden Gruppen verändert hat. In den Daten zwischen 2006 und 2013 scheinen die Patienten in der Gruppe der übrigen Kanülierungstechniken präoperativ etwas kräcker gewesen zu sein (Rahimi-Barfeh et al. 2016). Unsere Daten zeigen diesen Unterschied dagegen nicht. Einzelne Parameter deuten darauf hin, dass die transatrial kanülierten Patienten instabiler sind. Andere Parameter zeigen, dass die Patienten der Vergleichsgruppe mehr Risikofaktoren aufweisen. Somit ist hinsichtlich der präoperativen Präsentation der Patienten der Unterschied zwischen beiden Gruppen möglicherweise geringer geworden. Beide Gruppen beinhalten stabile und instabile Patienten, was bedeutet, dass sich die transatriale Kanülierung mittlerweile in unserer Klinik als Standardkanülierungsverfahren bei

der Operation einer AADA etabliert hat. Die Abbildungen 13 und 14 vergleichen einige präoperative Variablen zwischen unserer Studie und der Studie von Rahimi-Barfeh et al. In unserer Studie wurden ergänzend einige weitere Parameter untersucht, wie z.B. das Vorkommen einer Perikardtamponade. Dadurch haben wir in unserer Studie ein besseres Bild von der klinischen Präsentation der Patienten. Einige für unsere Studie wichtige Ergebnisse können somit nicht mit den Daten, von Rahimi-Barfeh et al. verglichen werden.

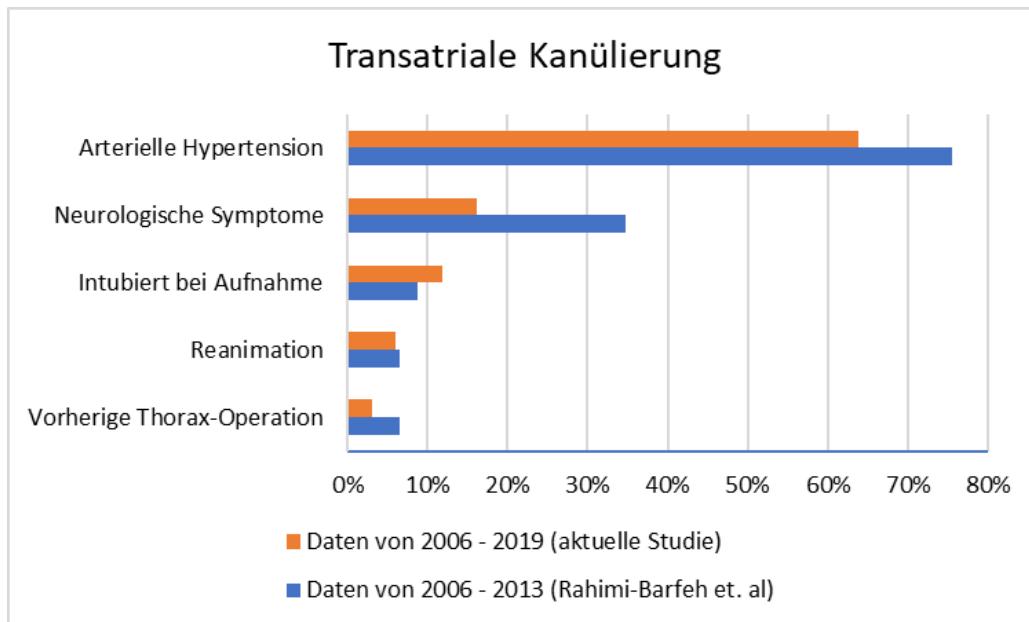


Abbildung 13: Vergleich der präoperativen Parameter zwischen den Studien (transatriale Kanülierung)

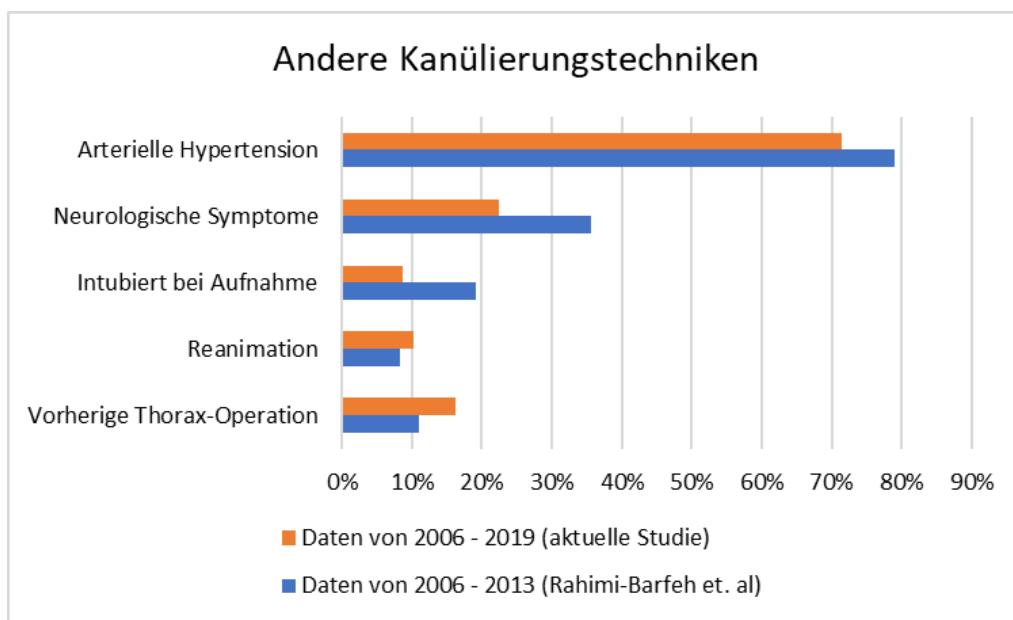


Abbildung 14: Vergleich der präoperativen Parameter zwischen den Studien (andere Kanülierungstechniken)

4.3 Intraoperative Parameter

Hinsichtlich der intraoperativen Parameter haben wir einige signifikante Unterschiede zwischen den beiden beobachteten Gruppen feststellen können. Dies war auch bei den Analysen von Rahimi-Barfeh et al. der Fall, wobei sich einige Ergebnisse durch unsere Daten bestätigen lassen. Die Daten zwischen 2006 und 2013 zeigen, dass die Operationszeiten bei der transatrialen Kanülierung signifikant kürzer waren. Bei den übrigen Kanülierungsmethoden dauerte eine Operation im Schnitt $308,3 \pm 78,2$ Minuten. Bei der transatrialen Kanülierung betrug diese Zeit nur $271,2 \pm 75,4$ Minuten (Rahimi-Barfeh et al. 2016). Dieser signifikante Unterschied ($p = 0,02$) kann durch unsere Ergebnisse bestätigt werden. Die Gruppe der transatrialen Kanülierung wies eine mittlere Operationsdauer von 255 Minuten auf, die Operationen mit einer der anderen Kanülierungsmethoden dauerten durchschnittlich 295 Minuten. Insgesamt kann man also sagen, dass die Operationszeit bei der transatrialen Kanülierung deutlich kürzer als bei den anderen Kanülierungsmethoden ist.

Hinsichtlich der Operationszeiten zeigt sich, dass die transatriale Kanülierung nicht nur in unserer Klinik, sondern auch im Vergleich zu anderen Kliniken und Studien deutlich schneller ist. Klotz et al., die die zentrale und die periphere Kanülierung gegenüberstellen, geben eine mittlere Operationszeit von 417 Minuten an. Hier ist die zentrale Kanülierung (Aorta ascendens, A. axillaris oder die rechte A. carotis communis) ebenfalls schneller als die periphere Kanülierung (A.femoralis). Beide Techniken dauern jedoch deutlich länger als die von unserer Klinik durchgeführte transatriale Kanülierung (Klotz et al. 2016). Dib et al. haben ebenfalls Operationszeiten bei AADA untersucht. Ihre mittlere Operationsdauer betrug 359 ± 142 Minuten. Diese Operationen umfassten besonders die Kanülierung der A. femoralis und die der Aorta ascendens (Dib et al. 2019). Somit ist auch in diesem Fall die transatriale Kanülierung schneller.

Die transatriale Kanülierung ist schneller als die üblichen Kanülierungsmethoden, weil die Sternotomie für die Kanülierung genutzt werden kann und keine weitere Präparation eines Gefäßes erfolgen muss. Die anderen Kanülierungstechniken hingegen beinhalten zu einem großen Teil die Kanülierung der A. femoralis, was die Operationszeit verlängert. Da jedoch oft die Aorta ascendens kanüliert wird, haben sich dadurch auch die Zeiten der übrigen Kanülierungstechniken verkürzt. Bei der Kanülierung direkt in die Aorta ascendens muss ebenfalls kein weiteres Gefäß präpariert werden, und die Kanülierung ist direkt durchführbar. Dies zeigen auch Studien von Kanamori et al. Sie berichten von einer mittleren Operationszeit einer AADA Operation

mit Kanülierung der Aorta ascendens von 241 Minuten (Kanamori et al. 2013). Somit ist diese Methode sogar insgesamt schneller als die transatriale Kanülierung.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die transatriale Kanülierung verglichen mit der Gruppe der anderen Kanülierungsmethoden eine kürzere Operationszeit aufweist. Somit lassen sich die Untersuchungen von Rahimi-Barfeh et al. bestätigen. Betrachtet man allerdings die anderen Kanülierungstechniken differenziert, so zeigt die Studie von Kanamori et al., dass auch die Kanülierung der Aorta ascendens eine kürzere Operationszeit aufweist. Es kommt also darauf an, ob ein weiterer Zugang für die Kanülierung benötigt wird, wodurch besonders im Vergleich zur Kanülierung der A. femoralis Zeit gewonnen werden kann.

Des Weiteren berichten Rahimi-Barfeh et al. über Unterschiede hinsichtlich der durchgeführten Operationstechniken. In der Gruppe der anderen Kanülierungstechniken wurde häufiger ein isolierter suprakoronarer Ersatz der Aorta ascendens eingesetzt (94% vs. 83%; $p = 0,06$). Ebenfalls wurde in dieser Gruppe häufiger ein Teilbogenersatz durchgeführt (23,6% vs. 15,2%; $p = 0,05$). Die sogenannte David-Operation wurde hingegen häufiger in der Gruppe der transatrialen Kanülierung durchgeführt (8,7% vs. 1,4%; $p = 0,08$). Unsere Daten bestätigen, dass der isolierte suprakoronare Ersatz der Aorta ascendens häufiger in der Gruppe der üblichen Kanülierungsmethoden durchgeführt wurde (50,3% vs. 44,3%; $p = 0,22$). Da der p -Wert im Vergleich zu den Daten von 2006 bis 2010 allerdings gestiegen ist, ist der Unterschied zwischen beiden Gruppen etwas geringer geworden. Außerdem können wir bestätigen, dass in der Gruppe der transatrialen Kanülierung häufiger eine David-Operation durchgeführt wurde. In unserer Studie konnte diesbezüglich sogar ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Das lässt sich eventuell dadurch erklären, dass generell häufiger David-Operationen durchgeführt werden, Aubin et al. berichten in ihrer Studie sogar von einem Anteil von 62,2% durchgeführter David-Operationen bei der chirurgischen Behandlung der AADA (Aubin et al. 2019). In der Studie von Klotz et al. wurden bei 11% der AADA Operationen eine David-Operation durchgeführt (Klotz et al. 2016). Insgesamt wurde diese Operation in unserer Klinik deutlich seltener durchgeführt als in den genannten Studien.

Wir können nicht bestätigen, dass in der Gruppe der übrigen Kanülierungstechniken mehr Patienten einen Teilbogenersatz erhalten. Unsere Daten zeigen, dass dies in der Gruppe der transatrial kanülierten Patienten der Fall ist. Die Betroffenen haben außerdem signifikant häufiger komplett Bogenersatze erhalten. Salem et al. haben das postoperative Outcome eines Aorta ascendens Ersatzes mit kompletten Bogenersätzen verglichen. Ihren Ergebnissen zufolge

gibt es zwar hinsichtlich des Outcomes keine signifikanten Unterschiede zwischen den Vergleichsgruppen. Allerdings war die 30-Tages-Mortalität in der Gruppe der totalen Bogenersätze etwas höher. Außerdem traten in dieser Gruppe etwas häufiger bronchopulmonale Infekte auf (Salem et al. 2020). Dass in der Gruppe der transatrial kanülierten Patienten diese Operation deutlich häufiger durchgeführt wurde, kann Auswirkungen auf das postoperative Outcome haben und wird im Folgenden erläutert.

Des Weiteren konnten wir beobachten, dass bei den Patienten, die durch eine der anderen Methoden kanüliert wurden, signifikant häufiger zusätzlich zur Operation der AADA eine koronararterielle-Bypass-Operation durchgeführt wurde. Die Daten von Rahimi-Barfeh et al. zeigen ebenfalls diesen Unterschied, allerdings war zu dem Zeitpunkt diese Beobachtung noch nicht signifikant (Rahimi-Barfeh et al. 2016).

Insgesamt lässt sich somit feststellen, dass es signifikante Unterschiede hinsichtlich der durchgeführten Operationstechniken zwischen beiden Gruppen gibt. Die meisten Ergebnisse von Rahimi-Barfeh et al. konnten anhand unserer Daten bestätigt werden.

Intraoperativ wurden in der Gruppe der transatrialen Kanülierung signifikant weniger FFPs und EKs gegeben. Dies kann nicht mit der Arbeit von Rahimi-Barfeh et al. verglichen werden. Der Unterschied passt aber zu der signifikant kürzeren Operationszeit, wodurch zeitbedingt weniger EKs und FFPs gegeben wurden. Die gesamte Menge an postoperativ gegebenen EKs und FFPs unterscheidet sich nicht signifikant zwischen beiden Gruppen.

Allerdings unterscheiden sich signifikant die venösen Kanülierungstechniken zwischen beiden Gruppen. Alle Patienten, die arteriell transatrial kanüliert wurden, wurden venös über den rechten Vorhof kanüliert. In der Vergleichsgruppe hingegen wurden einige Patienten auch über die V. femoralis oder bicaval kanüliert. Dies ist durch den Zugang bedingt, da es bei der arteriellen transatrialen Kanülierung beispielsweise keinen Sinn macht, noch zusätzlich die V. femoralis zu kanülieren, was wiederum Zeit kostet.

4.4 Postoperative Parameter

Hinsichtlich des postoperativen Outcomes fanden wir im Vergleich zwischen beiden Gruppen einige signifikante Unterschiede in unserer Studie. Darüber berichten auch Rahimi-Barfeh et al. Sie konnten zeigen, dass in der Gruppe der transatrialen Kanülierung signifikant weniger Patienten neurologische Komplikationen aufwiesen (10,9% vs. 33,8%; $p = 0,007$). Davon hatten ebenfalls signifikant weniger Patienten in dieser Gruppe postoperativ einen Schlaganfall (6,5% vs. 26,5%; $p = 0,007$) (Rahimi-Barfeh et al. 2016). Unsere Studie zeigt zwar ebenfalls, dass in der Gruppe der transatrial kanülierten Patienten postoperativ weniger Schlaganfälle oder TIAs auftraten. Allerdings ist dieser Unterschied im Vergleich zu den Daten von Rahimi-Barfeh et al. deutlich geringer und erreicht keine statistische Signifikanz. Des Weiteren haben die transatrial kanülierten Patienten sogar tendenziell etwas häufiger ein postoperatives Delir. Dies wurde von Rahimi-Barfeh et al. nicht beschrieben. Dieses Symptom zählt aber zu postoperativ auftretenden neurologischen Komplikationen. Somit kann nicht bestätigt werden, dass diese nach der transatrialen Kanülierung seltener auftreten. Etz et al. berichten, dass in 16% der operierten AADA Schlaganfälle auftraten (Etz et al. 2014). Wir haben diesen Parameter zusammen mit den TIAs gefasst, sodass unser Wert (20,4%) zu dieser Studie passt. Bei Pagni et al. traten zu 13,6% postoperativ Schlaganfälle auf (Pagni et al. 2013). Zdravkovic et al. berichten von 39,5% postoperativ aufgetretenen neurologischen Komplikationen (Zdravkovic et al. 2020). Im Vergleich dieser Werte muss differenziert werden, ob nur die Anzahl aufgetretener Schlaganfälle oder generell die aufgetretenen neurologischen Komplikationen erfasst wurden. Insgesamt entsprechen diese Studiendaten den Ergebnissen in der vorliegenden Studie. Es lässt sich daraus nicht ableiten, ob die transatriale Kanülierungsmethode den Kanülierungstechniken der genannten Studien in Bezug auf postoperative Komplikationen überlegen ist. Zdravkovic et al. erläutern Risikofaktoren, die das Auftreten postoperativer neurologischer Komplikationen begünstigen, etwa ob die Patienten bereits präoperativ neurologisch auffällig sind, hämodynamisch instabil sind oder postoperativ stark bluten. Des Weiteren vergleichen Zdravkovic et al. die Kanülierung der A. axillaris mit der Kanülierung der A. femoralis. Sie stellen fest, dass bei der Kanülierung der A. axillaris weniger aber nicht signifikant neurologische Komplikationen auftraten (Zdravkovic et al. 2020). Auch Klotz et al. berichten, dass bei der Kanülierung zentraler Arterien im Vergleich zur Kanülierung der A. femoralis weniger neurologische Komplikationen auftraten (Klotz et al. 2016). Somit scheint es generell wichtig zu sein, die Patienten bei der chirurgischen Therapie der AADA mit einer antegraden Kanülierungstechnik arteriell

zu kaniulieren. Außerdem ist es entscheidend, weitere Faktoren zu berücksichtigen, die das Auftreten neurologischer Komplikationen begünstigen.

Rahimi-Barfeh et al. berichten über einen weiteren signifikanten Unterschied zwischen den Vergleichsgruppen. Demnach brauchten die Patienten, die transatrial kaniuliert wurden, seltener postoperativ eine Nierenersatztherapie (20% vs. 32,4%; $p = 0,003$). Dies kann in unserer Studie allerdings nicht bestätigt werden. Unsere Daten zeigen diesbezüglich keinen Unterschied zwischen beiden Gruppen. Patienten, die transatrial kaniuliert wurden, erhielten sogar signifikant länger eine Hämodialyse.

Weitere signifikante Unterschiede konnten Rahimi-Barfeh et al. nicht feststellen. Es wurde beschrieben, dass in der Gruppe der transatrial kaniulierten Patienten etwas mehr Blut über die Drainagen verloren wurde. Demgegenüber zeigen unsere Daten von 2006 bis 2019 sogar, dass der Blutverlust über die Drainagen bei den transatrial kaniulierten Patienten etwas geringer ist als in der Vergleichsgruppe.

Des Weiteren zeigen unsere Daten, dass die Patienten in der Gruppe der transatrialen Kanüllierung signifikant weniger Tage postoperativ im Krankenhaus lagen. Rahimi-Barfeh et al. fanden demgegenüber keine Unterschiede hinsichtlich der Dauer auf der Intensivstation und der generellen postoperativen Krankenhausaufenthaltsdauer. Die Patienten der transatrialen Kanüllierung sind somit schneller entlassungs- beziehungsweise rehafähig, was insgesamt für diese Kanüllierungstechnik spricht. Ein Grund hierfür könnte die kürzere Operationsdauer sein.

Allerdings zeigen sich bei der transatrialen Kanüllierung auch einige postoperative Komplikationen. Beispielsweise erhielten die Patienten dieser Gruppe signifikant mehr TKs. Ob dies daran liegt, dass die Patienten in dieser Gruppe schon präoperativ mehr Gerinnungsprobleme hatten, kann nicht festgestellt werden. Die größere Menge postoperativ verabreichter TKs kann damit korrelieren, dass die transatrial kaniulierten Patienten länger eine Nierenersatztherapie erhielten. Naeem et al. beschreiben, dass wenn mehr als eine TK postoperativ gegeben wird, das Risiko für akutes Nierenversagen steigt (Naeem et al. 2018). Bezuglich des akuten Nierenversagens wurde in unserer Studie im Vergleich zwischen beiden Gruppen kein Unterschied festgestellt. Die vermehrte Gabe der TKs könnte jedoch die längere Dialysezeit begünstigt haben.

Weitere Komplikationen waren, dass die transatrial kaniulierten Patienten postoperativ signifikant mehr bronchopulmonale Infekte aufwiesen und signifikant mehr Reinterventionen bei

ihnen durchgeführt werden mussten. Dies kann nicht mit den vorherigen Daten von Rahimi-Barfeh et al. verglichen werden, da dies nicht erfasst wurde. Möglicherweise hatten die Patienten, die transatrial kanüliert wurden, präoperativ schon häufiger pulmonale Beschwerden, da diese präoperativ bereits etwas häufiger eine COPD hatten (7,7% vs. 5,9%; $p = 0,492$). Außerdem waren etwas mehr Patienten dieser Gruppe bereits bei Krankenhausankunft intubiert (11,9% vs. 8,7%; $p = 0,286$), was auch das häufigere Auftreten bronchopulmonaler Infekte begünstigen kann. Da beide Faktoren aber nicht signifikant sind, sind dies nur mögliche Ursachen.

Die Ursachen für die häufiger benötigten Reinterventionen sind unklar. Ein möglicher Grund könnte die häufiger durchgeführten totalen Bogenersätze in der Gruppe der transatrial kanülierten Patienten sein. Dies spricht dafür, dass diese Patienten generell etwas kräcker zu sein scheinen, was die Reinterventionen postoperativ erklären kann. Ebenso kann dadurch auch das häufigere Auftreten von bronchopulmonalen Infekten erklärt werden. In einer Studie von Salem et al. wurde das postoperative Outcome von totalen Bogenersatz Operationen im Vergleich zu Operationen mit Aorta ascendens Ersätzen untersucht. Ihren Ergebnissen zufolge gab es allerdings keine signifikanten Unterschiede zwischen den Vergleichsgruppen (Salem et al. 2020). Somit kann die häufigere Rate an Reinterventionen in der Gruppe der transatrial kanülierten Patienten auch andere Gründe haben.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die aktuelle Studie die Ergebnisse von Rahimi-Barfeh et al. hinsichtlich des besseren Outcomes im Vergleich zu den übrigen Kanülierungsmethoden nicht bestätigen kann. Der größere Datensatz zeigt keine signifikanten Unterschiede zugunsten der transatrialen Kanülierung bezüglich des neurologischen Outcomes oder der postoperativ durchgeführten Nierenersatztherapie. Außerdem wurden sogar einige postoperative Komplikationen signifikant häufiger bei dieser Kanülierungsmethode aufgefunden. Dies kann allerdings auch an entsprechenden Vorerkrankungen liegen. Außerdem waren im Gegensatz zu den Daten von Rahimi-Barfeh et al. die Patienten mit den übrigen Kanülierungsmethoden in der vorliegenden Studie präoperativ nicht kräcker. Hinsichtlich einiger Parameter, wie das Vorliegen einer Perikardtamponade, wiesen die Patienten, die transatrial kanüliert wurden, sogar mehr präoperative Komplikationen auf. Dies könnte die Ursache dafür sein, dass das von Rahimi-Barfeh et al. beschriebene bessere Outcome in der Gruppe mit transatrialer Kanülierung in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden konnte. Außerdem gab es gegenüber der Studie von Rahimi-Barfeh et al. signifikante Unterschiede in den durchgeführten Operationstechniken zwischen beiden Gruppen, die möglicherweise das postoperative Outcome beeinflusst haben

könnten. Ein entscheidender Vorteil der transatrialen Kanülierung ist die Anzahl der postoperativen Tage, die bei der neuen Kanülierungsmethode signifikant kürzer ist.

4.5 Mortalität

Aortendissektionen Typ A haben prä- und postoperativ nach wie vor hohe Mortalitätsraten. Easo et al. berichten beispielsweise von einer Gesamtmortalität von 20,2% (Easo et al. 2013). Deswegen ist das Ziel, die Mortalität durch die neue transatriale Kanülierung zu senken. Rahimi-Barfeh et al. konnten bei der Analyse ihrer Daten von 2006 bis 2013 einen signifikanten Unterschied der Gesamtmortalität feststellen. Die Mortalität der transatrial kanülierten Patienten betrug 17,7%, wohingegen die Mortalität der Patienten, die mit Hilfe einer der übrigen Kanülierungsmethoden kanüliert wurden, 45,2% betrug ($p = 0,003$). Die Gesamtmortalität kann jedoch nicht mit unseren Daten verglichen werden, da sich das Follow-up der beiden Gruppen signifikant voneinander unterscheidet.

Des Weiteren berichten Rahimi-Barfeh et al., dass sich sowohl die intraoperative Mortalität als auch die 30-Tages-Mortalität zwischen den Vergleichsgruppen nicht signifikant unterscheidet. Jedoch ist auch hier die Mortalität bei der neuen Kanülierungsmethode etwas niedriger (Rahimi-Barfeh et al. 2016).

Die Tendenz, dass die 30-Tages-Mortalität bei der transatrialen Kanülierung etwas niedriger ist, können wir bestätigen. Allerdings erreicht dieser Parameter auch in unserem Datensatz keine Signifikanz. Im Vergleich zur Studie von Rahimi-Barfeh et al. ist die 30-Tages-Mortalität jedoch gestiegen (15,3% bei unseren Daten vs. 8,9% in der Studie von Rahimi-Barfeh et al.). Dies liegt vermutlich daran, dass es in unserer Studie hinsichtlich der präoperativen Risikofaktoren weniger Unterschiede zwischen beiden Gruppen gab. Allerdings ist auch die 30-Tages-Mortalität der Vergleichsgruppe gestiegen (18,9% bei unseren Daten vs. 10,3% in der Studie von Rahimi-Barfeh et al.) (Rahimi-Barfeh et al. 2016). Die insgesamt gesteigerte 30-Tages-Mortalität könnte dadurch erklärt werden, dass die Patienten in unserer Studie etwas älter waren als in der Studie von Rahimi-Barfeh et al. Obwohl der Unterschied nicht groß ist, kann dies das Outcome verschlechtert haben. Eine weitere Ursache könnte sein, dass in unserem Datensatz

der Anteil durchgeföhrter totaler Bogenersätze größer ist. Zwischen 2006 und 2013 erhielten 5% der Patienten einen totalen Bogenersatz (Rahimi-Barfeh et al. 2016). In unserem größeren Datensatz erhielten 14% einen totalen Bogenersatz. Jedoch konnten Salem et al. in Ihren Analysen keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der 30-Tages-Mortalität im Vergleich zwischen der Operation eines totalen Bogenersatzes und eines Ersatzes der Aorta ascendens feststellen (Salem et al. 2020). Außerdem ist die 30-Tages-Mortalität in der Gruppe der transatrial kanülierten Patienten sogar etwas niedriger als in der Vergleichsgruppe, obwohl die transatrial kanülierten Patienten signifikant häufiger einen kompletten Bogenersatz erhielten. Somit scheint die totale Bogenersatz Operation, wenn überhaupt, nur ein geringer Faktor der gestiegerten 30-Tages-Mortalität zu sein. Andere Faktoren, wie beispielsweise das unterschiedliche Alter, könnten diesbezüglich von größerer Bedeutung sein.

Einen signifikanten Unterschied konnten wir hingegen bei der 7-Tages-Mortalität feststellen. Diese ist in der Gruppe der transatrial kanülierten Patienten deutlich niedriger. Somit scheint das unmittelbare postoperative Outcome in dieser Gruppe besser zu sein. Hinsichtlich des 30-Tages Überlebens oder auch hinsichtlich des Langzeitüberlebens (bis 10 Jahre) zeigt sich allerdings kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen, sodass das Gesamtüberleben nicht abhängig von den durchgeföhrten arteriellen Kanülierungsmethoden zu sein scheint. Jedoch ist auch in der Analyse des Langzeitüberlebens die Mortalität in der Gruppe der transatrial kanülierten Patienten etwas niedriger.

Auch im Vergleich zu anderen Studien zeigt sich, dass die Mortalität der transatrialen Kanülierung etwas niedriger ist als bei den durchgeföhrten anderen Kanülierungsmethoden. Klotz et al. berichten von einer 30-Tages Mortalität von 16,8% (Klotz et al. 2016), Conzelmann et al. berichten in ihrer Studie von einer 30-Tages Mortalität von 16,9% (Conzelmann et al. 2016) und Rylski et al. untersuchen die 30-Tages Mortalität je nach Alter und kommen auf Ergebnisse zwischen 11% und 25% (Rylski et al. 2014b). Somit liegt die von uns untersuchte 30-Tages-Mortalität der transatrialen Kanülierung (15,3%) im unteren bis mittleren Bereich verglichen mit den genannten Studien.

Insgesamt deuten diese Ergebnisse darauf hin, dass das frühe Überleben nach operativer Therapie der AADA mit transatrialer Kanülierung den übrigen Methoden überlegen sein könnte. Hinsichtlich der 30-Tages-Mortalität oder des Langzeitüberlebens zeigt sich zwischen beiden Vergleichsgruppen jedoch kein signifikanter Unterschied, obwohl bei allen Parametern die transatriale Kanülierung eine etwas niedrigere Mortalität aufweist. Somit deuten unsere

Ergebnisse darauf hin, dass hinsichtlich der Mortalität und des Langzeitüberlebens die verglichenen Kanülierungstechniken gleichwertig sind.

Die postoperative Mortalität wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Conzelmann et al. zeigten, dass das Alter, die Anzahl der malperfundierten Organe, eine kardiopulmonale Reanimation sowie die Operationszeit entscheidende Risikofaktoren für ein schlechteres Outcome und eine höhere 30-Tages-Mortalität sind (Conzelmann et al. 2016). Da die Operationsdauer bei der transatrialen Kanülierung signifikant kürzer ist, könnte dies die Tendenzen zu den niedrigeren Mortalitätsraten bei dieser Kanülierungstechnik erklären. Mit Hilfe unserer logistischen Regressionsanalyse konnten wir bestätigen, dass die 30-Tages-Mortalität von anderen Faktoren als von der Kanülierungstechnik abhängig ist. In unserer Studie waren dies die Intubation bei Aufnahme, eine präoperativ stattgefundene Reanimation oder das Vorhandensein von präoperativen neurologischen Erkrankungen. Da die transatriale Kanülierung in der vorliegenden Studie hinsichtlich des postoperativen Überlebens den anderen Kanülierungstechniken mindestens gleichwertig war und zudem die Krankenhausliegedauer signifikant kürzer, ist diese Kanülierungsmethode weiterhin eine adäquate Methode, deren Anwendung in der chirurgischen Behandlung der AADA eine wichtige Bedeutung zukommt.

Die folgenden Abbildungen 15 und 16 vergleichen einige postoperative Variablen zwischen unserer Studie und der Studie von Rahimi-Barfeh et al. Da wir auch hinsichtlich der postoperativen Parameter ergänzende Variablen erfasst haben, können auch in diesen Graphiken nicht alle wichtigen Parameter verglichen werden. Die oben genannten Ergebnisse können durch die Graphiken dennoch nachvollzogen werden.

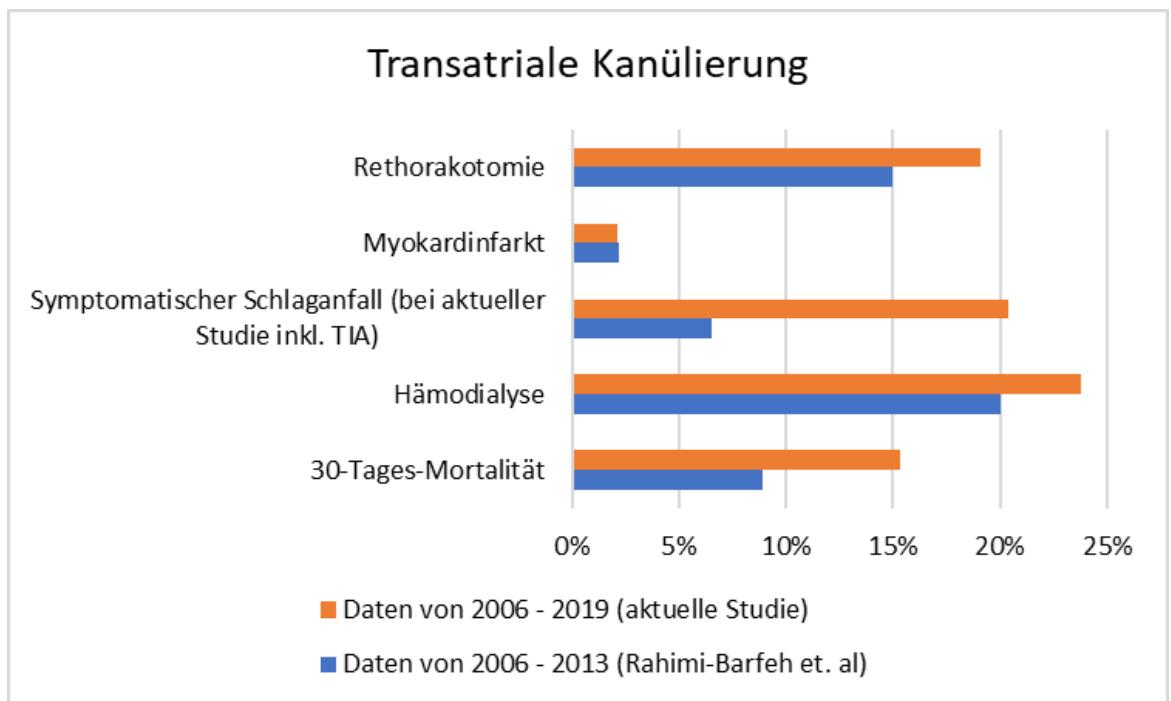


Abbildung 15: Vergleich postoperativer Parameter zwischen den Studien (transatriale Kanülierung)

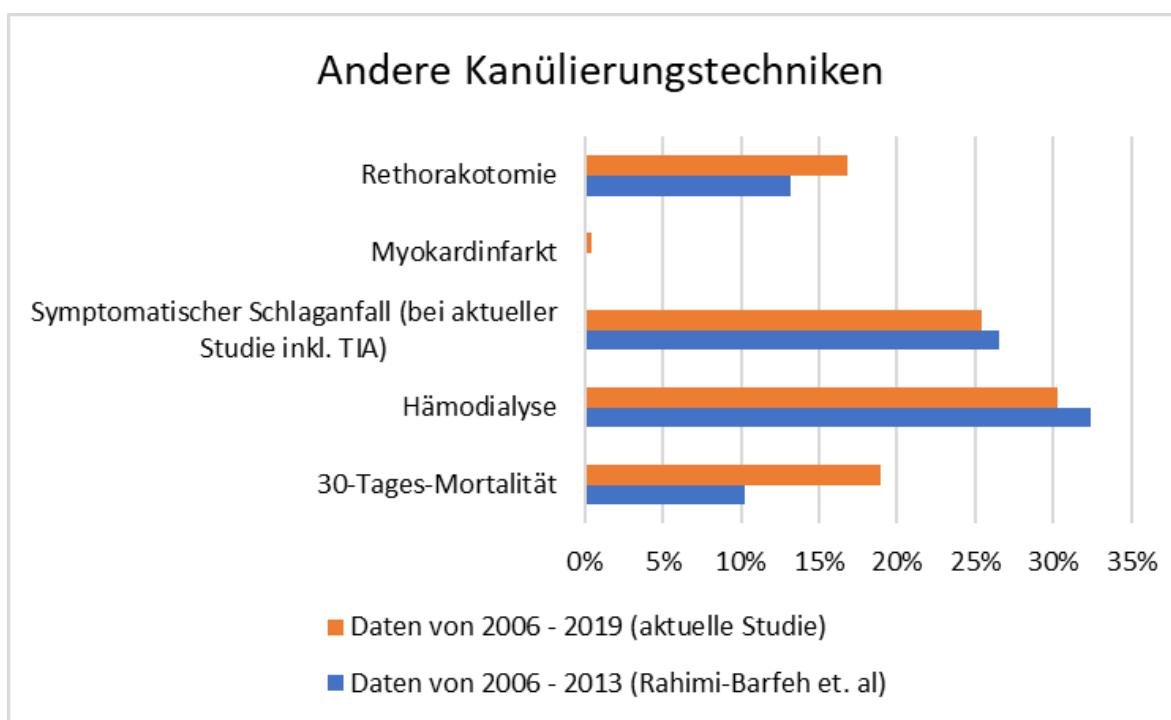


Abbildung 16: Vergleich postoperativer Parameter zwischen den Studien (andere Kanülierungstechniken)

4.6 Limitationen der Studie

Diese Studie hat einige Limitationen, die beachtet werden sollten, wenn die Ergebnisse interpretiert werden. Zum einen handelt es sich bei dieser Studie um eine retrospektive Studie. Somit wurden die Daten anhand von OP-Berichten, Arztbriefen oder anderen Dokumentationen erhoben. Durch das Fehlen einer Randomisierung können bei retrospektiven Studien Verzerrungen der Ergebnisse durch bekannte oder nicht bekannte Störgrößen (Confounder) vorkommen. Darauf haben wir den adjustierten Einfluss der transatrialen Kanülierungsmethode anhand einer multivariablen Analyse untersucht. Außerdem wurden die Daten im Rahmen dieser Single-Center-Studie nur im UKSH Kiel erhoben und ausgewertet. Es handelt sich also nicht um eine Multicenter Studie. Insgesamt ist aber unsere Studie deutlich umfangreicher als die Vergleichsstudie von Rahimi-Barfeh et al. Da allerdings einige Parameter nicht in beiden Studien erfasst wurden, ist der Vergleich teilweise schwierig. Des Weiteren haben wir in unserer Studie die transatriale Kanülierung mit allen weiteren durchgeführten Kanülierungstechniken verglichen. Die einzelnen Kanülierungstechniken in der Vergleichsgruppe unterscheiden sich allerdings stark voneinander. Zum Beispiel berichten Tiwari et al. in einem Vergleich der verschiedenen Kanülierungstechniken, dass die arterielle Kanülierung der Aorta ascendens niedrigere Mortalitätsraten als die Kanülierung der A. femoralis aufweist. Ebenfalls weise die Kanülierung der A. axillaris weniger Komplikationen auf als die Kanülierung der A. femoralis (Tiwari et al. 2010). Deswegen wäre ein weiterer Vergleich der transatrialen Kanülierung mit den einzelnen Kanülierungstechniken (Aorta ascendens, A. axillaris, A. femoralis) interessant. Außerdem ist das Follow-up der Patienten, die transatrial kanüliert wurden, im Schnitt deutlich kürzer als das Follow-up der Patienten, die eine der übrigen Kanülierungstechniken erhielten. Somit wäre in einigen Jahren ein weiterer Vergleich anhand eines noch umfangreicheren Datensatzes mit einer längeren Follow-up Dauer in Hinblick auf Parameter wie Langzeitüberleben und Langzeitfolgen interessant.

5 Zusammenfassung

Akute Aortendissektionen Typ A sind Notfälle in der Herzchirurgie. Die Mortalitätsraten sind nach wie vor sehr hoch. Eine sofortige chirurgische Sanierung ist die einzige Therapie. Hierbei erfolgt ein Anschluss an die Herz-Lungen-Maschine. Die arterielle Kanülierung stellt die Operateure besonders bei der AADA vor große Herausforderungen. Bisherige Kanülierungsmethoden hatten einige Nachteile. Beispielsweise ist das Schlaganfallrisiko bei der Kanülierung der A. femoralis sehr hoch. Die Kanülierung der Aorta ascendens führt zu einem antegraden Blutfluss, bringt allerdings das Risiko der Kanülierung des falschen Lumens mit sich. Somit müssen die Chirurgen stark abwägen für welche Kanülierungstechnik sie sich entscheiden. 2010 wurde deshalb in Kiel eine weitere arterielle Kanülierungstechnik entwickelt: Rahimis transatriale Kanülierung. Bereits im Jahr 2016 wurden Daten zwischen 2006 und 2013 analysiert und dabei die transatriale Kanülierung mit den vorherigen Kanülierungstechniken verglichen. Signifikante Ergebnisse waren, dass die Patienten, die transatrial kanüliert wurden, postoperativ weniger neurologische Komplikationen hatten und weniger Patienten eine Nierenersatztherapie benötigten. Ebenfalls wurden signifikant kürzere Operationszeiten beobachtet. Ein großer Vorteil zeigte sich zudem in der Gesamt mortalität, die in der Gruppe der transatrial kanülierten Patienten signifikant geringer war. Unsere Studie hat ebenfalls die transatriale Kanülierung mit den vorherigen Kanülierungstechniken verglichen. Die Daten von Rahimi-Barfeh et al. wurden erweitert, sodass wir nun einen deutlich größeren Datensatz hatten und mehr Parameter analysiert haben. Einige Beobachtungen von Rahimi-Barfeh et al. konnten in dieser Studie bestätigt werden, andere allerdings nicht. Zu unseren wichtigsten Ergebnissen zählen folgende: Die Patienten in der Gruppe der transatrialen Kanülierung wurden unter anderem signifikant kürzer operiert. Zwar konnten wir keinen signifikanten Unterschied in der 30-Tage-Mortalität feststellen, jedoch ist die 7-Tage-Mortalität in der Gruppe der transatrial kanülierten Patienten signifikant geringer. Auch sind die Tage, die diese Patienten postoperativ im Krankenhaus verbringen mussten, signifikant kürzer. Allerdings konnten wir auch einige Komplikationen feststellen, die in der Gruppe der neuen Kanülierungstechnik häufiger vorkamen: Die transatrial kanülierten Patienten erhielten postoperativ mehr Thrombozytenkonzentrate, sie benötigten häufiger Reinterventionen, mussten länger eine Nierenersatztherapie erhalten und erlitten häufiger bronchopulmonale Infekte. Entgegen den positiven Ergebnissen von Rahimi-Barfeh et al. bezüglich des neurologischen Outcomes konnten wir keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen feststellen.

Insgesamt sind die Ergebnisse unserer Studie nach transatrialer Kanülierung nicht so überlegen, wie die Ergebnisse von Rahimi-Barfeh et al. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Patienten in der Studie von Rahimi-Barfeh, die mit Hilfe einer der übrigen Kanülierungstechniken kanüliert wurden, tendenziell kräcker schienen, was möglicherweise die positiven Ergebnisse dieser Studie erklärt, auch wenn diese Ergebnisse nicht signifikant waren. In unserer Studie hingegen gab es diese präoperative Tendenz nicht, zudem hatten signifikant mehr Patienten, in der Gruppe der transatrial kanülierten Patienten präoperativ eine Perikardtamponade. Das könnte die häufiger auftretenden Komplikationen erklären.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die transatriale Kanülierung eine gute Alternative zu den bisherigen Kanülierungstechniken darstellt. Die neue Kanülierungsmethode ist allerdings anderen Techniken nicht überlegen. Es wurden sogar einige Komplikationen signifikant häufiger beobachtet, was nach der Durchführung dieser Methode beachtet werden sollte. Dennoch hat die transatriale Kanülierung entscheidende Vorteile, besonders hinsichtlich der Operationszeit und der daraus resultierenden positiven Ergebnisse bezüglich der Mortalitätsanalysen. Da die arterielle Kanülierung bei AADA Operationen eine große Herausforderung ist, ist es von großem Nutzen, hiermit eine weitere Möglichkeit zu haben. Nach nun 11 Jahren Erfahrung ist die transatriale Kanülierung weiterhin die erste Wahl der arteriellen Kanülierung bei der Operation einer AADA in unserer Klinik. Dies wird auch weiterhin der Fall sein. Größere Studien in mehreren Standorten könnten klären, ob diese Methode auch für andere Kliniken eine gute Alternative darstellt.

Erklärung

Hiermit erkläre ich, Julia Zollenkopf, dass ich die vorliegende Doktorarbeit selbstständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Unterschrift

Literaturverzeichnis

- Aubin, Hug; Akhyari, Payam; Rellecke, Philipp; Pawlitza, Christina; Petrov, George; Lichtenberg, Artur; Kamiya, Hiroyuki (2019): Valve-Sparing Aortic Root Replacement as First-Choice Strategy in Acute Type a Aortic Dissection. In: *Frontiers in surgery* 6, S. 46. DOI: 10.3389/fsurg.2019.00046.
- Bossone, Eduardo; Corteville, David C.; Harris, Kevin M.; Suzuki, Toru; Fattori, Rossella; Hutchison, Stuart et al. (2013): Stroke and outcomes in patients with acute type A aortic dissection. In: *Circulation* 128 (11 Suppl 1), S175-9. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.112.000327.
- Bossone, Eduardo; LaBounty, Troy M.; Eagle, Kim A. (2018): Acute aortic syndromes. Diagnosis and management, an update. In: *European heart journal* 39 (9), 739-749d. DOI: 10.1093/eurheartj/ehx319.
- Conzelmann, L. O.; Krüger, T.; Hoffmann, I.; Rylski, B.; Easo, J.; Oezkur, M. et al. (2011): German Registry for Acute Aortic Dissection Type A (GERAADA). Initial results. In: *Herz* 36 (6), S. 513–524. DOI: 10.1007/s00059-011-3512-x.
- Conzelmann, Lars Oliver; Weigang, Ernst; Mehlhorn, Uwe; Abugameh, Ahmad; Hoffmann, Isabell; Blettner, Maria et al. (2016): Mortality in patients with acute aortic dissection type A. Analysis of pre- and intraoperative risk factors from the German Registry for Acute Aortic Dissection Type A (GERAADA). In: *European journal of cardio-thoracic surgery : official journal of the European Association for Cardio-thoracic Surgery* 49 (2), e44-52. DOI: 10.1093/ejcts/ezv356.
- Criado, Frank J. (2011): Aortic dissection. A 250-year perspective. In: *Texas Heart Institute journal* 38 (6), S. 694–700.
- Dib, Bashar; Seppelt, Philipp Christian; Arif, Rawa; Weymann, Alexander; Veres, Gábor; Schmack, Bastian et al. (2019): Extensive aortic surgery in acute aortic dissection type A on outcome - insights from 25 years single center experience. In: *Journal of cardiothoracic surgery* 14 (1), S. 187. DOI: 10.1186/s13019-019-1007-7.
- Easo, Jerry; Weigang, Ernst; Hölzl, Philipp P. F.; Horst, Michael; Hoffmann, Isabell; Blettner, Maria; Dapunt, Otto E. (2013): Influence of operative strategy for the aortic arch in DeBakey type I aortic dissection - analysis of the German Registry for Acute Aortic Dissection type A (GERAADA). In: *Annals of cardiothoracic surgery* 2 (2), S. 175–180. DOI: 10.3978/j.issn.2225-319X.2013.01.03.
- Erbel, R. (2018): Aortic diseases. Modern diagnostic and therapeutic strategies. In: *Herz* 43 (3), S. 275–290. DOI: 10.1007/s00059-018-4694-2.
- Erbel et al. (2015): Kommentar zur Leitlinie (2014) der Europäischen Gesellschaft für Kardiologie zur Diagnose und Therapie von Aortenerkrankungen.
- Etz, Christian D.; Aspern, Konstantin von; da Rocha E Silva, Jaqueline; Girrbach, Felix F.; Leontyev, Sergey; Luehr, Maximilian et al. (2014): Impact of perfusion strategy on outcome after repair for acute type a aortic dissection. In: *The Annals of thoracic surgery* 97 (1), S. 78–85. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2013.07.034.

Finkelmeier, B. A.; Marolda, D. (2001): Aortic dissection. In: *The Journal of cardiovascular nursing* 15 (4), S. 15–24. DOI: 10.1097/00005082-200107000-00003.

Gasser, Simone; Stastny, Lukas; Kofler, Markus; Krapf, Christoph; Bonaros, Nikolaos; Grimm, Michael; Dumfarth, Julia (2021): Rapid Response in Type A Aortic Dissection. Is There a Decisive Time Interval for Surgical Repair? In: *The Thoracic and cardiovascular surgeon* 69 (1), S. 49–56. DOI: 10.1055/s-0039-1700967.

Gawinecka, Joanna; Schönrath, Felix; Eckardstein, Arnold von (2017): Acute aortic dissection. Pathogenesis, risk factors and diagnosis. In: *Swiss medical weekly* 147, w14489. DOI: 10.4414/smw.2017.14489.

Golledge, Jonathan; Eagle, Kim A. (2008): Acute aortic dissection. In: *Lancet (London, England)* 372 (9632), S. 55–66. DOI: 10.1016/S0140-6736(08)60994-0.

Groth, Kristian A.; Stochholm, Kirstine; Hove, Hanne; Kyhl, Kasper; Gregersen, Pernille A.; Vejlstrup, Niels et al. (2017): Aortic events in a nationwide Marfan syndrome cohort. In: *Clinical research in cardiology : official journal of the German Cardiac Society* 106 (2), S. 105–112. DOI: 10.1007/s00392-016-1028-3.

Hagan, P. G.; Nienaber, C. A.; Isselbacher, E. M.; Bruckman, D.; Karavite, D. J.; Russman, P. L. et al. (2000): The International Registry of Acute Aortic Dissection (IRAD). New insights into an old disease. In: *JAMA* 283 (7), S. 897–903. DOI: 10.1001/jama.283.7.897.

Hines, George; Dracea, Cristina; Katz, Douglas S. (2011): Diagnosis and management of acute type A aortic dissection. In: *Cardiology in review* 19 (5), S. 226–232. DOI: 10.1097/CRD.0b013e3182203ed9.

K.-P. Mellwig et al: Akute Aortendissektion (Stanford A) mit Perikardtamponade – Ausdehnung der Dissektion nach notfallmäßiger Perikardpunktion 1998.

Kanamori, Taro; Ichihara, Tetsuya; Sakaguchi, Hidehito; Inoue, Takehiko (2013): A safe and rapid direct true lumen cannulation for acute type A aortic dissection. In: *General thoracic and cardiovascular surgery* 61 (6), S. 336–339. DOI: 10.1007/s11748-013-0222-8.

Klotz, Stefan; Bucsky, Bence S.; Richardt, Doreen; Petersen, Michael; Sievers, Hans H. (2016): Is the outcome in acute aortic dissection type A influenced by of femoral versus central cannulation? In: *Annals of cardiothoracic surgery* 5 (4), S. 310–316. DOI: 10.21037/acs.2016.07.09.

Kotelis, D.; Geisbüsch, P.; Hakimi, M.; Böckler, D. (2012): Thoracic aortic aneurysm. In: *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin* 83 (4), 395-404; quiz 405. DOI: 10.1007/s00104-011-2242-1.

Kreibich, Maximilian; Rylski, Bartosz; Czerny, Martin; Pingpoh, Clarence; Siepe, Matthias; Beyersdorf, Friedhelm et al. (2020): Type A Aortic Dissection in Patients With Bicuspid Aortic Valve Aortopathy. In: *The Annals of thoracic surgery* 109 (1), S. 94–100. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2019.05.022.

Krüger, T.; Conzelmann, L. O.; Bonser, R. S.; Borger, M. A.; Czerny, M.; Wildhirt, S. et al. (2012): Acute aortic dissection type A. In: *The British journal of surgery* 99 (10), S. 1331–1344. DOI: 10.1002/bjs.8840.

Levy, David; Goyal, Amandeep; Grigorova, Yulia; Le, Jacqueline K. (2020): Aortic Dissection. In: StatPearls. Treasure Island (FL).

- Naeem, Syed S.; Sodha, Neel R.; Sellke, Frank W.; Ehsan, Afshin (2018): Impact of Packed Red Blood Cell and Platelet Transfusions in Patients Undergoing Dissection Repair. In: *The Journal of surgical research* 232, S. 338–345. DOI: 10.1016/j.jss.2018.06.048.
- Nienaber, Christoph A.; Clough, Rachel E. (2015): Management of acute aortic dissection. In: *Lancet (London, England)* 385 (9970), S. 800–811. DOI: 10.1016/S0140-6736(14)61005-9.
- Norton, Elizabeth L.; Khaja, Minhaj S.; Williams, David M.; Yang, Bo (2019): Type A aortic dissection complicated by malperfusion syndrome. In: *Current opinion in cardiology* 34 (6), S. 610–615. DOI: 10.1097/HCO.0000000000000667.
- Oderich, Gustavo S.; Kärkkäinen, Jussi M.; Reed, Nanette R.; Tenorio, Emanuel R.; Sandri, Giuliano A. (2019): Penetrating Aortic Ulcer and Intramural Hematoma. In: *Cardiovascular and interventional radiology* 42 (3), S. 321–334. DOI: 10.1007/s00270-018-2114-x.
- Pagni, Sebastian; Ganzel, Brian L.; Trivedi, Jaimin R.; Singh, Ramesh; Mascio, Christopher E.; Austin, Erle H. et al. (2013): Early and midterm outcomes following surgery for acute type A aortic dissection. In: *Journal of cardiac surgery* 28 (5), S. 543–549. DOI: 10.1111/jocs.12170.
- Pape, Hans-Christian; Kurtz, Armin; Silbernagl, Stefan (Hg.) (2018): Physiologie. 8. Aufl. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- Pape, Linda A.; Awais, Mazen; Woznicki, Elise M.; Suzuki, Toru; Trimarchi, Santi; Evangelista, Arturo et al. (2015): Presentation, Diagnosis, and Outcomes of Acute Aortic Dissection. 17-Year Trends From the International Registry of Acute Aortic Dissection. In: *Journal of the American College of Cardiology* 66 (4), S. 350–358. DOI: 10.1016/j.jacc.2015.05.029.
- Paulsen, F.; Waschke, J. (2017): Sobotta. Innere Organe. 24. Aufl. München: Elsevier.
- Pugsley, M. K.; Tabrizchi, R. (2000): The vascular system. An overview of structure and function. In: *Journal of pharmacological and toxicological methods* 44 (2), S. 333–340. DOI: 10.1016/s1056-8719(00)00125-8.
- Raab, B. W.; Vosshenrich, R.; Fischer, U.; Funke, M.; Grabbe, E. (2001): Intramural hematomas of the aorta. In: *Der Radiologe* 41 (8), S. 653–659. DOI: 10.1007/s001170170114.
- Rahimi-Barfeh, Azizolah; Grothusen, Christina; Haneya, Assad; Schöttler, Jan; Eide, Arne M.; Erdmann, Maria et al. (2016): Transatrial Cannulation of the Left Ventricle for Acute Type A Aortic Dissection. A 5-Year Experience. In: *The Annals of thoracic surgery* 101 (5), S. 1753–1758. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2015.10.043.
- Rylski, Bartosz; Hoffmann, Isabell; Beyersdorf, Friedhelm; Suedkamp, Michael; Siepe, Matthias; Nitsch, Brigitte et al. (2014a): Acute aortic dissection type A. Age-related management and outcomes reported in the German Registry for Acute Aortic Dissection Type A (GER-AADA) of over 2000 patients. In: *Annals of surgery* 259 (3), S. 598–604. DOI: 10.1097/SLA.0b013e3182902cca.
- Rylski, Bartosz; Hoffmann, Isabell; Beyersdorf, Friedhelm; Suedkamp, Michael; Siepe, Matthias; Nitsch, Brigitte et al. (2014b): Acute aortic dissection type A. Age-related management and outcomes reported in the German Registry for Acute Aortic Dissection Type A (GER-AADA) of over 2000 patients. In: *Annals of surgery* 259 (3), S. 598–604. DOI: 10.1097/SLA.0b013e3182902cca.

Salameh, Maya J.; Black, James H. 3rd; Ratchford, Elizabeth V. (2018): Thoracic aortic aneurysm. In: *Vascular medicine (London, England)* 23 (6), S. 573–578. DOI: 10.1177/1358863X18807760.

Salem, Mohamed; Friedrich, Christine; Rusch, Rene; Frank, Derk; Hoffmann, Grischa; Lutter, Georg et al. (2020): Is total arch replacement associated with an increased risk after acute type A dissection? In: *Journal of thoracic disease* 12 (10), S. 5517–5531. DOI: 10.21037/jtd-20-871.

Siewert, J. Rüdiger; Allgöwer, Martin (2006): Chirurgie. Mit integriertem Fallquiz - 40 Fälle nach neuer AO. 8., komplett überarbeitete Aufl. Berlin: Springer (Springer-Lehrbuch).

Stanger, Olaf (2012): Kompendium der modernen Herzchirurgie beim Erwachsenen. Wien: Springer.

Stock, Sina; Mohamed, Salah A.; Sievers, Hans-Hinrich (2019): Bicuspid aortic valve related aortopathy. In: *General thoracic and cardiovascular surgery* 67 (1), S. 93–101. DOI: 10.1007/s11748-017-0821-x.

Tiwari, Kaushal K.; Murzi, Michele; Bevilacqua, Stefano; Glauber, Mattia (2010): Which cannulation (ascending aortic cannulation or peripheral arterial cannulation) is better for acute type A aortic dissection surgery? In: *Interactive cardiovascular and thoracic surgery* 10 (5), S. 797–802. DOI: 10.1510/icvts.2009.230409.

Tsai, T. T.; Trimarchi, S.; Nienaber, C. A. (2009): Acute aortic dissection. Perspectives from the International Registry of Acute Aortic Dissection (IRAD). In: *European journal of vascular and endovascular surgery : the official journal of the European Society for Vascular Surgery* 37 (2), S. 149–159. DOI: 10.1016/j.ejvs.2008.11.032.

Zdravkovic, Djordje; Nesic, Ivan; Zivkovic, Igor Slavoljub; Kaitovic, Marko; Vukovic, Petar; Milacic, Petar (2020): Risk factors for neurological dysfunctions after surgical repair of acute aortic dissection type A. In: *Kardiochirurgia i torakochirurgia polska = Polish journal of cardio-thoracic surgery* 17 (2), S. 70–75. DOI: 10.5114/kitp.2020.97261.

Zheng, Jiayu; Lu, Shuyang; Sun, Xiaoning; Hong, Tao; Yang, Shouguo; Lai, Hao; Wang, Chunsheng (2013): Surgical management for acute type A aortic dissection in patients over 70 years-old. In: *Journal of cardiothoracic surgery* 8, S. 78. DOI: 10.1186/1749-8090-8-78.

Zhu, Yuanjia; Lingala, Bharathi; Baiocchi, Michael; Tao, Jacqueline J.; Toro Arana, Veronica; Khoo, Jason W. et al. (2020): Type A Aortic Dissection-Experience Over 5 Decades. JACC Historical Breakthroughs in Perspective. In: *Journal of the American College of Cardiology* 76 (14), S. 1703–1713. DOI: 10.1016/j.jacc.2020.07.061.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die zur Entstehung meiner Dissertation beigetragen haben.

Zunächst bedanke ich mich bei dem Direktor der Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein, Campus Kiel, Herrn Professor Dr. med. Jochen Cremer, für die Überlassung des Promotionsthemas.

Meinem Doktorvater Prof. Dr. med. Assad Haneya danke ich für die Unterstützung bei der Erstellung der Doktorarbeit. Ich danke ihm für die gute Betreuung, was maßgeblich zum Gelingen der Arbeit beigetragen hat.

Auch möchte ich meiner Betreuerin Dr. Christine Friedrich danken. Die vielen - oft telefonischen - Fragestunden haben mir sehr geholfen. Ich bedanke mich für die viele Zeit und ständige Erreichbarkeit.

Ebenfalls möchte ich Herrn Prof. Dr. med. Thomas Pühler danken, der mir besonders in der Anfangsphase helfen konnte.

Ich möchte auch meiner Kommilitonin Lea Herbers danken. Der rege Austausch über das Erstellen einer Dissertation hat mir sehr geholfen. Auch vielen Dank für das Korrekturlesen.

Besonders danken möchte ich meiner Familie, insbesondere meinen Eltern Kathrin Schirwagen und Michael Zollenkopf für die Ermöglichung meines Studiums und die Unterstützung in den letzten Jahren. Vielen Dank für die viele Zeit und Mühe beim Korrekturlesen.

Zu guter Letzt möchte ich meinem Freund Paul Menge für die tägliche Unterstützung, die Motivation beim Schreiben und auch für Kritik und Tipps bezüglich dieser Arbeit danken.