

# UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF

Klinik für Gefäßmedizin

Direktor: Prof. Dr. E. Sebastian Debus

Frühergebnisse der t-Branch Stentprothese bei elektiven, dringlichen und notfallmäßigen Versorgung von thorakoabdominellen Aortenaneurysmen

## **Dissertation**

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

vorgelegt von:

Mohamed Hatm

Hamburg 2023

## **Annahmevermerk**

Angenommen von der  
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 28-10-2024

Veröffentlicht mit Genehmigung der  
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: Priv.-Doz. Dr. med. Maxim Bester

Prüfungsausschuss, zweite/r Gutachter/in: Prof. Dr. rer. nat. Friederike Cuello

Prüfungsausschuss, dritte/r Gutachter/in: Prof. Dr. med. Yskert von Kodolitsch

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	IV
Abbildungsverzeichnis .....	V
Tabellenverzeichnis .....	VI
Arbeitshypothese und Fragestellung .....	VII
1 Einleitung .....	1
1.1 Definition thorakoabdomineller Aortenaneurysmen .....	2
1.2 Epidemiologie .....	4
1.3 Pathogenese und Ätiologie .....	6
1.4 Symptomatik .....	8
1.5 Diagnostik .....	9
1.6 Vorsorge und operative Behandlung .....	13
2 Material und Methoden .....	15
2.1 Probanden .....	15
2.2 Endovaskuläre Eingriffe und Verfahren .....	16
2.3 Definitionen .....	16
2.4 Endpunkte .....	18
2.5 Statistische Analyse und Verfahren .....	19
3 Ergebnisse .....	19
3.1 Patienteneigenschaften.....	19
3.2 Eingriffsmerkmale .....	23
3.3 Frühzeitige Sterblichkeit (30 Tage).....	28
3.4 Frühzeitige Morbidität (30 Tage) .....	28
3.5 Frühzeitige Target Vessel- Offenheit .....	32
3.6 Follow-up .....	34
4 Diskussion .....	37

5	Zusammenfassung .....	42
6	Literaturverzeichnis .....	43
7	Danksagung .....	50
8	Lebenslauf .....	51
9	Eidesstattliche Erklärung.....	52

## Abkürzungsverzeichnis

AAA	-	Abdominelles Aortenaneurysma
ASA	-	American Society of Anesthesiologists
BES	-	Ballonexpandierbarer Stent (balloon-expandable stent)
BMI	-	Body-Mass-Index
BEVAR	-	gebranchte Endovaskuläre Aneurysmreparatur
CA	-	Truncus coeliacus (celiac artery)
CABG	-	Koronare Bypass-Operation (coronary artery bypass graft)
CAD	-	Koronare Herzkrankheit (coronary artery disease)
CHF	-	Herzinsuffizienz (chronic heart failure)
CKD	-	Chronische Nierenkrankheit (chronic kidney disease)
CMD	-	patientenindividuell gefertigten Stentprothesen (custom-made-device)
COPD	-	Chronisch obstruktive Lungenerkrankung (chronic obstructive pulmonary disease)
CSF	-	Cerebrospinale Flüssigkeit (cerebrospinal fluid - Liquor)
CT	-	Computertomographie
CTA	-	CT-Angiographie
CTD	-	Bindegewebserkrankung (connective tissue disorder)
DSA	-	Digitale Subtraktionsangiographie
DGG	-	Deutsche Gesellschaft für Gefäßchirurgie
EKG	-	Elektrokardiogramm
EVAR	-	Endovaskuläre Aneurysmreparatur
FEV1	-	Forciertes expiratorisches Volumen in einer Sekunde
GFR	-	Glomeruläre Filtrationsrate
IBD	-	Iliakal verzweigte Stentprothese (iliac branch device)
ICU	-	Intensivstation (intensive care unit)
Ind.	-	Industries
KHK	-	Koronare Herzkrankheit
LCCA	-	linke Arteria carotis communis (left common carotid artery)
LRA	-	linke Nierenarterie (left renal artery)
LSA	-	linke Arteria subclavia (left subclavian artery)
MRT	-	Magnetresonanztomographie
OAR	-	Offene Aortenreparatur
OTS	-	off the shelf
PAD	-	periphere arterielle Verschlusskrankheit (peripheral arterial disease)
RRA	-	rechte Nierenarterie (right renal artery)
SCI	-	Rückenmarksischämie (spinal cord ischemia)
SES	-	selbstexpandierbarer Stent self-expandable stent)
SMA	-	Arteria mesenterica superior (superior mesenteric artery)
TAA	-	Thorakales Aortenaneurysma
TAAA	-	Thorakoabdominelles Aortenaneurysma
TEVAR	-	thorakale endovaskuläre Aneurysmreparatur
TIA	-	transitorische ischämische Attacke
TVs	-	Zielgefäße (target vessels)

## **Abbildungsverzeichnis**

<b>Abbildung 1: Zenith t-Branch Stentprothese .....</b>	<b>2</b>
<b>Abbildung 2: Modifizierte Crawford Klassifikation des TAAA.....</b>	<b>4</b>
<b>Abbildung 3: Bildgebung der Versorgung eines TAAA .....</b>	<b>10</b>
<b>Abbildung 4: Klassifikation der Endleaktypen .....</b>	<b>18</b>
<b>Abbildung 5: Kaplan-Meier-Schätzung der kumulativen Gesamtüberlebensrate .....</b>	<b>34</b>
<b>Abbildung 6: Kaplan-Meier-Schätzung der kumulativen Reinterventionenfreiheit ....</b>	<b>35</b>

## **Tabellenverzeichnis**

<b>Tabelle 1a:</b>	<b>Demografie und kardiovaskuläre Risikofaktoren .....</b>	<b>21</b>
<b>Tabelle 1b:</b>	<b>Voroperationen und Morphologie des Aneurysmas .....</b>	<b>22</b>
<b>Tabelle 2:</b>	<b>Anwendung der Bridging-Covered-Stents in den drei Gruppen .....</b>	<b>25</b>
<b>Tabelle 3:</b>	<b>Prozedurale Details aller Gruppen.....</b>	<b>27</b>
<b>Tabelle 4:</b>	<b>Demographische und klinische Daten für Patienten mit SCI (elektive Gruppe) .....</b>	<b>29</b>
<b>Tabelle 5:</b>	<b>Demographische und klinische Daten für Patienten mit SCI (dringende Gruppe) .....</b>	<b>30</b>
<b>Tabelle 6:</b>	<b>Demographische und klinische Daten für Patienten mit SCI (notfallmäßige Gruppe) .....</b>	<b>31</b>
<b>Tabelle 7:</b>	<b>Frühe Outcomes ( 30 Tage) der drei Gruppen.....</b>	<b>33</b>

## Arbeitshypothese und Fragestellung

Thorakoabdominelle Aortenaneurysmen (TAAAs) stellen eine potentiell tödliche Bedrohung für Patienten dar. Die endovaskuläre Behandlung dieser Pathologien mit gebräuchlichen Stentprothesen (BEVAR) ist nach den aktuellen Leitlinien die Behandlung der ersten Wahl, wenn der maximale Durchmesser 5,5cm erreicht. Eine BEVAR kann sowohl mit patientenindividuell gefertigten Stentprothesen, sogenannten *custom-made-devices* (CMD) erfolgen, die jedoch eine längere Planungs- und Lieferzeit erfordern, oder durch standardisierte *off-the-shelf* Stentprothesen (OTS), die auch für Notfallbehandlungen bereitgehalten werden können.

Die vorliegende Studie untersucht die Ergebnisse von Patienten, die mit der bis 2021 einzigen in Europa kommerziell erhältlichen OTS Stentprothese (t-Branch, Cook Medical, Bjaeverskov, Dänemark) behandelt wurden abhängig von der Dringlichkeit der Behandlung. Bis zur Durchführung dieser Studie lagen lediglich Ergebnisse von Studien vor, die Patienten, die mit einer t-Branch Stentprothese behandelt wurden, in zwei Gruppen bezüglich der Behandlungsdringlichkeit eingeteilt haben: elektive und dringliche Fälle. Hierbei wurden in der Regel unter „dringlichen“ Fällen sowohl Notfälle im Sinne von rupturierten TAAAs und dringliche Fälle, also symptomatische TAAAs und TAAAs mit sehr großem Querdurchmesser ( $\geq 8\text{cm}$ ) zusammengefasst. Da diese beiden Untergruppen sich aber in wesentlichen Behandlungsmerkmalen und damit in den zu erwartenden Behandlungsergebnissen unterscheiden, haben wir in der vorliegenden Studie erstmalig die Behandlungsergebnisse der t-Branch Stentprothese unter Differenzierung von drei Behandlungsdringlichkeiten: „elektiv“, „dringlich“, „notfallmäßig“, untersucht.

Arbeitshypothese:

Die frühe Morbidität und Mortalität der Therapie von TAAAs mit der t-Branch Stentprothese unterscheidet sich abhängig von der Dringlichkeit des Eingriffs. Elektive und dringliche Eingriffe haben vergleichbare Ergebnisse. Notfallmäßige Eingriffe eine höhere Morbidität und Mortalität.

Die Fragestellung der vorliegenden Arbeit lautet:

Wie unterscheiden sich die Frühergebnisse der Therapie von TAAAs mit der t-Branch-Stentprothese abhängig von der Dringlichkeit des Eingriffs bei Berücksichtigung von drei Behandlungsdringlichkeiten: elektiv, dringlich und notfallmäßig?

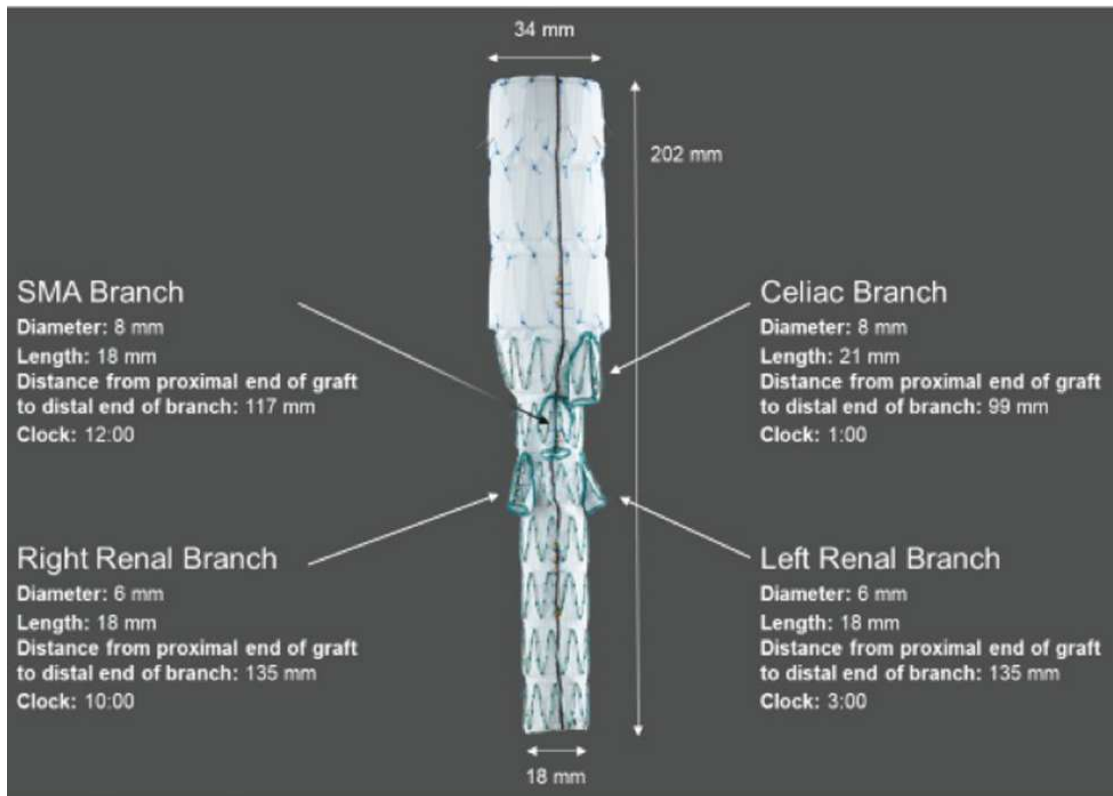


## 1 Einleitung

Thorakoabdominelle Aortenaneurysmen (TAAAs) sind krankhafte Erweiterungen der Aorta, die sowohl die thorakale als auch die abdominelle Aorta betreffen. Zur Vorbeugung der gefürchteten Komplikation einer Aneurysmaruptur, bei der ein hohes Sterblichkeitsrisiko besteht, wurden seit den 1970er Jahren Therapieoptionen entwickelt, zunächst im Sinne einer offenen chirurgischen Aneurysmreparatur (OAR) v.a. durch E. Stanley Crawford. Seit dieser Pionierzeit haben sich die Behandlungsmethoden von TAAAs erheblich weiterentwickelt. Die Einführung endovaskulärer Verfahren Anfang der 1990er Jahre (Dake et al. 1994) hat bei der Behandlung von Aortenpathologien, aufgrund der deutlich geringeren Invasivität zu einer Abnahme von Mortalität und Morbidität bei der Behandlung geführt. Diese ersten Stentprothesen zur endovaskulären Therapie waren einfache tubuläre Implantate, die nur in Aortenabschnitten verwendet werden konnten, die keine größeren Seitenäste haben.

Da bei TAAAs die großen abdominellen Organarterien: Truncus coeliacus (CA), Art. mesenterica sup. (SMA) und Nierenarterien (RAs) in die Aortenpathologie einbezogen sind, konnten diese Erkrankungen erst mit Erhältlichkeit von verzweigten oder gefensterten Stentprothesen vollständig endovaskulär behandelt werden (Chuter et al. 2001). Diese nun als komplex bezeichneten Stentprothesen standen zunächst nur als Maßanfertigungen zur Verfügung, so dass durch die längeren Fertigungszeiten Patienten in der Regel nur elektiv behandelt werden konnten.

Die t-Branch Stentprothese ist eine seit 2012 CE-zertifizierte mehrfach verzweigte thorakoabdominelle Stentprothese, die eine sofort verfügbare, endovaskuläre Behandlungsmöglichkeit bei den meisten TAAAs bietet (Abb.1).



**Abbildung 1: Zenith t-Branch Stentprothese (William Cook Europe ApS, Bjaeverskov, Denmark) zur Behandlung von thorakoabdominellen Aneurysmen mit vier Seitenästen für die abdominellen Organarterien**

Quelle: M. Bosiers et al., 2021, Journal of Vascular Surgery. 74(4):1081-1089

### 1.1 Definition thorakoabdomineller Aortenaneurysmen

Unter einem TAAA versteht man eine krankhafte Erweiterung der thorakalen und abdominellen Aorta auf  $\geq 3\text{cm}$  oder um mindestens 50% des normalen Gefäßdurchmessers im Vergleich zu einem normal-kalibrigen gesunden proximalen Segment der Aorta (Johnston et al 1991). Eine operative Behandlung von TAAAs wird in den Leitlinien von nordamerikanischen und europäischen Fachgesellschaften ab einem Durchmesser von 6 cm empfohlen (Isselbacher et al, 2022, Riambau et al. 2017). TAAAs werden basierend auf der nach Safi modifizierten Crawford

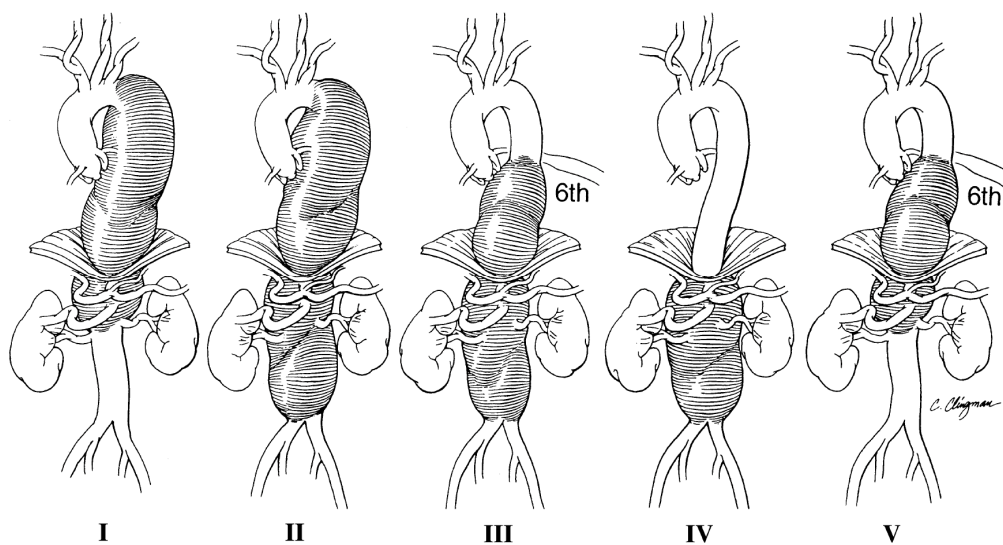
Klassifikation in fünf Typen unterteilt (Abb. 2) (Frederick und Woo, 2012; Stoecker und Wang, 2021):

- Typ I: betrifft die absteigende thorakale Aorta von oberhalb des sechsten Interkostalraums, sowie die obere abdominelle Aorta. Das Aneurysma endet oberhalb der Nierenarterien.
- Typ II: betrifft die absteigende thorakale Aorta von oberhalb des sechsten Interkostalraums, sowie die abdominelle Aorta bis unterhalb der Nierenarterien.
- Typ III: betrifft die absteigende thorakale Aorta von unterhalb des sechsten Interkostalraums, sowie die abdominelle Aorta bis unterhalb der Nierenarterien.
- Typ IV: betrifft nur den untersten Abschnitt der thorakalen Aorta von knapp oberhalb des Zwerchfells bis in die abdominelle Aorta ober- oder unterhalb der Nierenarterien.
- Typ V: betrifft die absteigende thorakale Aorta von unterhalb des sechsten Interkostalraums, sowie die abdominelle Aorta bis oberhalb der Nierenarterien.

Die nach Safi modifizierte Crawford Klassifikation (Abb. 2) ist hilfreich, da sich die für die unterschiedlichen TAAA-Typen notwendigen operativen Eingriffe erheblich unterscheiden und die Erfolgsaussichten und Behandlungsrisiken der Eingriffe durch diese Klassifikation gut beschrieben werden können (Safi und Miller 1999, Coselli et al., 2018).

Die Morphologie von Aortenaneurysmen wird meist entweder als sackförmig (sacculär) oder als spindelförmig (fusiform) beschrieben. Die sackförmige Morphologie bezeichnet dabei eine fokal begrenzte Aufweitung eines Abschnitts der Aorta, während die spindelförmige Morphologie eine gleichmäßige Erweiterung des gesamten Umfangs der Aorta beschreibt (Pande und Beckman, 2013). Die Mehrzahl der TAAAs sind spindelförmig, die Erweiterung betrifft hierbei gleichmäßig alle Wandschichten. Im Gegensatz dazu imponieren sackförmige Aneurys-

men als fokale Dilatationen der Aorta, der ein Trauma oder eine Plaqueruptur vorausgegangen sein kann. Es handelt sich daher häufig um Pseudoaneurysmen, deren Wandschichten nicht in allen Abschnitten vollständig sind (Stoecker und Wang, 2021).



**Abbildung 2: Modifizierte Crawford Klassifikation der TAAA**

Quelle: Safi und Miller; Ann Thorac Surg 1999; 67:1937–1939

### 1.2 Epidemiologie

Die Inzidenz und Prävalenz von TAAAs sind spärlich erfasst, da in der Literatur verhältnismäßig wenige epidemiologische Untersuchungen hinsichtlich TAAAs zu finden sind oder nur über TAAAs berichtet wird, bei denen ein chirurgischer Eingriff vorgenommen wurde. Die tatsächliche Inzidenz von TAAAs, die in Deutschland mit 5,9 Fällen auf 100.000 pro Jahr angegeben wurde (Kalder et al., 2016), ist aufgrund des asymptomatischen Krankheitsverlaufs (Stoecker und

Wang, 2021) mit großer Wahrscheinlich höher. TAAAs verbleiben daher oft jahrelang unentdeckt und nicht selten ist die Aneurysmaruptur das erste Symptom der Erkrankung (Stein und Elefteriades, 2011).

Männer erkranken häufiger an einem TAAA als Frauen. Im Vergleich zum abdominalen Aortenaneurysma (AAA), bei dem Männer viermal häufiger als Frauen betroffen sind (Wanhainen et al. 2019), ist dieser Unterschied jedoch weniger ausgeprägt – das Verhältnis beträgt beim TAAA 1,7:1 (Bickerstaff et al. 1982).

Frauen entwickeln TAAAs im Allgemeinen später im Leben als Männer, haben aber ein höheres Risiko für eine Ruptur. Bei beiden Geschlechtern ist ein höheres Alter ebenfalls mit einem höheren Rupturrisiko verbunden (Frederick und Woo, 2012).

Epidemiologisch ist zudem interessant, dass TAAAs vor allem in soziodemographisch wohlhabenderen Gesellschaftsschichten diagnostiziert werden, was gemäß der Literatur vor allem mit dem besseren Zugang zu Einrichtungen des Gesundheitssystems und einer dadurch frühzeitigen Erkennung des Krankheitsbilds zu erklären ist (Stoecker und Wang, 2021).

Das am häufigsten verwendete Maß für das Risiko einer Ruptur eines TAAA ist der Aortendurchmesser. Das Rupturrisiko steigt ab einem Durchmesser von etwa 5,5cm exponentiell an (Frederick und Woo, 2012; Stein und Elefteriades, 2011). Patienten mit einem rupturierten TAAA haben ein hohes Sterblichkeitsrisiko. Bei Patienten, die sich nach Ruptur eines TAAAs einer operativen Versorgung unterziehen können, liegt die perioperative Sterblichkeitsrate bei bis zu 46% (Geisbüsch et al., 2019) und ist damit deutlich höher als bei nicht rupturierten TAAAs (15,9 %) (Geisbüsch et al., 2019).

In Bezug auf die Komorbiditäten hat sich gezeigt, dass eine chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD) die Wahrscheinlichkeit einer Ruptur erhöht (Juvonen et al. 1997). Die Identifizierung von Biomarkern, die auf das Vorhandensein von

TAAAs hinweisen und die damit Früherkennung und Intervention begünstigen und somit die Prognose verbessern können ist bisher nicht zufriedenstellend gelungen (Deng et al. 2020).

Neben der Ruptur stellen akute Dissektionen die hauptsächlichen Komplikationsrisiken des TAAA dar. Zafar et al. konnten im Jahre 2019 im Rahmen einer Studie an 907 Patienten mit thorakalen Aortenaneurysmen (TAA) und TAAA ein durchschnittliches Wachstum des Durchmessers von 0,19 cm pro Jahr zeigen. Der mittlere Durchmesser beim Auftreten einer akuten Aortendissektion betrug 4,1 cm, wobei etwa 80% der Dissektionen unterhalb eines Durchmessers von 5 cm auftraten. 93% der Rupturen traten jedoch bei einem Durchmesser von über 5 cm auf. Ein Aneurysmadurchmesser größer als 6 cm war vergesellschaftet mit einer jährlichen Rate von Ruptur, Dissektion oder Tod in Höhe von 19% (Zafar et al., 2021).

### **1.3 Pathogenese und Ätiologie**

Die Tunica media der Aortenwand, die hauptsächlich aus Strukturproteinen wie Kollagen und Elastin besteht, trägt zur Elastizität der Aorta bei und spielt damit eine wichtige Rolle für die Windkesselfunktion der Aorta, die für den diastolischen Blutdruck und Blutfluss entscheidend ist. Der Abbau dieser Strukturproteine oder ein Defekt in ihrer Zusammensetzung führt zu einer Degeneration der Tunica media und damit zur Schwächung der Aortenwand. Die anschließende Dilatation resultiert aus hämodynamischen Kräften auf die degenerierte Aortenwand (Frederick und Woo, 2012). Nach dem Laplace-Gesetz ist die Wandspannung proportional zum Druck multipliziert mit dem Radius des Gefäßes; wenn also der Durchmesser der Aorta zunimmt, erhöht sich die Wandspannung, wodurch ein Teufelskreis entsteht, da die Wandspannung hierdurch exponentiell zunimmt (Frederick und Woo, 2012). Verstärkend kann sich ein unzureichend medikamentös behandelte Bluthochdruck auf diesen Prozess auswirken.

Die Entstehung von Aortenaneurysmen ist multifaktoriell. Es spielen sowohl erworbene Faktoren, wie die altersbedingte Degeneration der Gefäßwand, ein Nikotinabusus und infektiöse Erkrankungen, als auch angeborene Störungen, wie eine bikuspidale Aortenklappe und syndromale Bindegewebserkrankungen wie das Marfan-Syndrom, das Ehlers-Danlos-Syndrom und das Loeys-Dietz-Syndrom eine Rolle (Gunn et al 2019). So entwickeln beispielsweise Patienten mit einem Marfan-Syndrom, einer autosomal dominanten Erkrankung, die zu abnormalem Fibrillin führt, häufig Aortenaneurysmen (Meester et al. 2017). Auch das Ehlers-Danlos-Syndrom, eine Kollagenerkrankung, verursacht bei einigen Patienten ähnliche klinische Befunde (Meester et al. 2017).

Der genaue kausale Zusammenhang zwischen Atherosklerose und der Bildung von Aneurysmen ist bisher nicht ausreichend geklärt. Auch wenn dieser Zusammenhang jedoch nicht kausal wäre, treten beide Erkrankungen bei der Mehrheit der Patienten gleichzeitig auf (Frederick und Woo, 2012). Die große Mehrheit der Aortenaneurysmen wird als Folge einer degenerativen atherosklerotischen Grunderkrankung verstanden.

Die Risikofaktoren für Aortenaneurysmen sind ähnlich wie die für Atherosklerose und umfassen einen Nikotinkonsum, Bluthochdruck, Fettleibigkeit, Hyperlipidämie, COPD und eine familiäre Vorbelastung (Frederick und Woo, 2012).

Diese Risikofaktoren unterscheiden sich allerdings in Bezug auf die Entstehung, Wachstumsgeschwindigkeit oder das Rupturrisiko von Aortenaneurysmen. Während für die Entstehung eines AAA die familiäre Vorbelastung, Hypercholesterinämie, Bluthochdruck sowie das Rauchen im Vordergrund stehen, sind für die Wachstumsgeschwindigkeit ein fortgeschrittenes Alter (mehr als 70 Jahre), eine frühere Nieren- oder Herztransplantation, frühere Schlaganfälle sowie die koronare Herzkrankheit (KHK) relevante Risikofaktoren (Upchurch und Schaub 2006). Für das Rupturrisiko stellen eine frühere Nieren- oder Herztransplantation, ein geringes forciertes expiratorisches Volumen in einer Sekunde (FEV1), das weibliche Geschlecht, sowie die Dauer des Nikotinkonsums signifikante Risikofaktoren dar (Upchurch und Schaub 2006). Während bei Patienten mit AAA eine KHK bei über 70 % vorliegt, haben weniger als 30% der Patienten mit TAAAs

eine KHK. Dieses weist darauf hin, dass sich die Ätiologie der Aortenaneurysmen zwischen der thorakalen und der abdominellen Aorta unterscheidet (Ito et al., 2008; Davies et al., 2002). Eine stattgehabte Aortendissektion ist ein weiterer Risikofaktor für die Entwicklung von TAAAs. Bis zu 40% der Patienten mit chronischer Aortendissektion benötigen schließlich eine Operation (Escobar und Upchurch 2011). Bluthochdruck, insbesondere ein diastolischer Blutdruck von mehr als 100 mmHg, scheint der wichtigste Risikofaktor zu sein, der mit einer Dissektion und der Bildung eines Aneurysmas einhergeht (Juvonen et al. 1999; Dapunt et al. 1994).

#### **1.4 Symptomatik**

Die meisten Patienten mit Aortenaneurysmen sind beschwerdefrei (Stoecker und Wang, 2021). Auftretende Symptome sind in erster Linie Schmerzen, die durch eine drohende oder eingetretene Ruptur verursacht werden. Eine Kompression benachbarter Organe oder sonstiger Strukturen tritt selten auf. Trotzdem kann z.B. eine aneurysmabedingte Hohlvenenkompression Anzeichen einer Einflusstauung verursachen, eine zugbedingte Läsion des N. laryngeus recurrens, der in enger räumlicher Nähe zum Aortenbogen verläuft, kann zu Heiserkeit führen. Zudem können Schluckstörungen die Folge einer Kompression des Ösophagus sein (Schneider und Beuckelmann, 2009). Weitere Symptome des TAA sind gemäß Sieber (2020) Brustschmerz, (Blut-)Husten, Luftnot sowie eine Aortenklappeninsuffizienz. Im Falle des AAA gelten Bauch-, Rücken- und Flankenschmerzen sowie Ischialgie und Parästhesien zu den gängigen Symptomen. Im Falle einer Ruptur sind akuter thorakaler oder abdomineller Vernichtungsschmerz mit akutem Blutdruckabfall Symptome, die auftreten können (Sieber, 2020).

Selten können auch Embolien von thrombotischen Wandanlagerungen aus einem Aneurysma oder einer Aortendissektion zu Symptomen führen und organtypische ischämische Beschwerden verursachen. Beispielsweise kann ein Aortenbogenaneurysma durch eine Embolie zu einem Schlaganfall oder ein TAAA zu Nieren- oder Mesenterialinfarkten führen (Sieber, 2020).

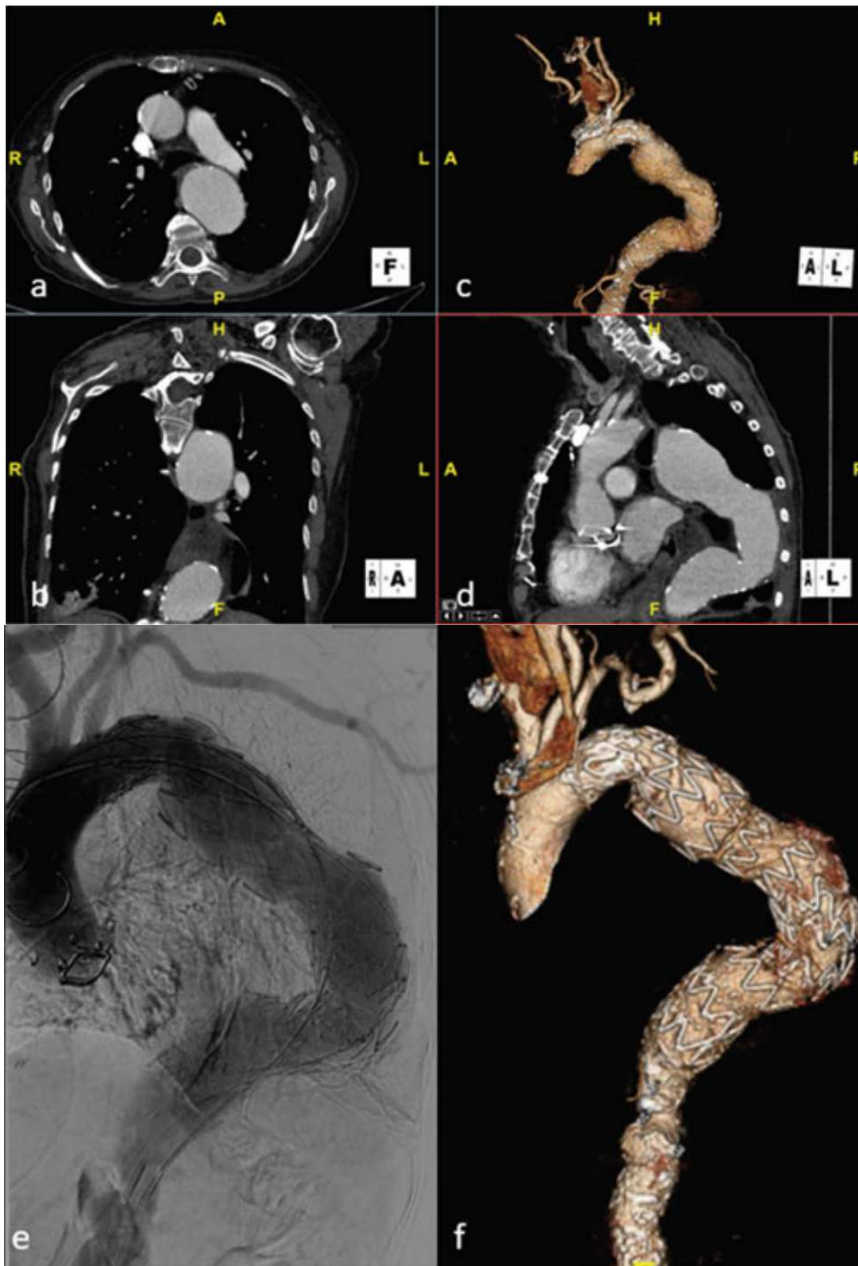


## 1.5 Diagnostik

Die Diagnose eines TAAA ist in der Regel ein Zufallsbefund, der bei Untersuchungen aus anderer Ursache zu Tage tritt. Ultraschalluntersuchungen, konventionelle Röntgenuntersuchungen, Computertomografie (CT) oder Magnetresonanztomografie (MRT) können Hinweise auf das Vorliegen eines TAAA geben, auch wenn diese auf Grund anderer Erkrankungen veranlasst wurden. Insbesondere die gestiegene Zahl an Schnittbilduntersuchungen (CT und MRT) haben in den letzten Jahrzehnten zu einer gestiegenen Anzahl von diagnostizierten asymptomatischen TAAAs geführt. (Sieber, 2020)

### CT Angiographie

Die Computertomographie (CT) mit Kontrastmittel hat einen hohen Stellenwert in der Primärdiagnostik des TAAA. Da zur Gefäßdarstellung jodhaltiges Kontrastmittel zum Einsatz kommt, ist die vorherige Abklärung des Patienten auf Begleiterkrankungen wie Hyperthyreose oder Niereninsuffizienz erforderlich. Die Vorteile der CT sind die geringe Invasivität und die schnelle Untersuchungszeit. Es werden detaillierte Informationen über Größe, Form und Lage von TAAAs bereitgestellt, so dass eine schnelle Diagnose und effektive Behandlungsplanung ermöglicht wird. Die Untersuchungsmethode ist zudem nützlich zur Erkennung von Komplikationen von TAAAs, wie das Auftreten von Ruptur oder Dissektion, die oft sofortige medizinische Maßnahmen erfordern. Die nachfolgende Abbildung (Abb.3) zeigt beispielhaft eine CT, sowie eine intraoperative digitale Subtraktionsangiographie (DSA) der Aorta und eine postoperative 3D-CT-Rekonstruktion.



**Abbildung 3: a-d CT/Angiografie bei TAAA; e Abschlussangiografie intraoperativ; f postoperative Kontrolle**

Quelle: F. Heidemann et al., 2019 Aneurysmen der Aorta descendens und der thorakoabdominellen Aorta: Endovaskuläre Therapie und Hybridverfahren. In: Debus, E., Gross-Fengels, W. (eds) Operative und interventionelle Gefäßmedizin. Springer Reference Medizin. Springer, Berlin, Heidelberg., S. 641

Allerdings hat die CT auch bekanntermaßen Nachteile. Die Verwendung von ionisierender Strahlung setzt Patienten einem Gesundheitsrisiko aus. Fortschritte in der CT-Technologie wie die Dual-Energy-CT und Low-Dose-CT können dazu beitragen, die mit der Strahlenexposition verbundenen Risiken zu reduzieren (Vlahos et al., 2012). Zudem können Patienten eine allergische Reaktion auf das Kontrastmittel entwickeln, das bei CT-Untersuchungen verwendet wird (Fletcher et al., 2013; Caschera et al., 2016). Eine etwaige Kontrastmittelallergie sollte daher vorab unbedingt erfragt werden.

### MRT

Als weitere schnittbildgebende Methode kann eine MRT als gering invasives Verfahren zur Diagnostik von Aortenaneurysmen eingesetzt werden. Vorteile des Verfahrens liegen in der Bilderfassung ohne Einsatz ionisierender Strahlung, allerdings um den Preis langer Untersuchungszeiten in beengten Verhältnissen, die die Untersuchung für Patienten mit Platzangst ungeeignet erscheinen lässt. Die MRT-Untersuchungen haben allerdings eine niedrigere Ortsauflösung, verglichen mit der CTA. In der Diagnostik von TAAAs und der Behandlungsplanung spielt jedoch diese Ortsauflösung eine wichtige Rolle, so dass der CTA in der Regel der Vorzug gegeben wird. Zur besseren Gefäßdarstellung ist auch in der MRT die Gabe von Gadolinium-haltigem Kontrastmittel möglich. Hier bestehen jedoch ebenfalls Einschränkungen bei der Verwendung insbesondere bei hochgradig niereninsuffizienten Patienten.

### Echokardiographie

Die Echokardiographie ist ein Ultraschallverfahren, das im Bereich der proximalen aufsteigenden Aorta sowie der absteigenden Aorta eine gute Diagnosemethode darstellt. Methodenbedingt kann es jedoch nicht zur Abbildung der kranialen Anteile des Aortenbogens sowie die distale Aorta ascendens angewendet werden (Schneider und Beuckelmann, 2009). Ein Vorteil der Echokardiographie besteht darin, dass sie ohne ionisierende Strahlung oder Kontrastmittel auskommt,

was die Gesundheitsrisiken für Patienten verringert. Die Echokardiographie wird insbesondere bei Aortendissektionen intraoperativ zur Behandlungskontrolle und –steuerung eingesetzt.

#### Angiographie/ DSA

Die Angiographie wird als invasives Verfahren bei der Diagnostik von TAAAs selten verwendet. Das Verfahren ist im Gegensatz zu schnittbildgebenden Verfahren nicht in der Lage den Durchmesser eines Aneurysmas adäquat wiederzugeben, da der Querdurchmesser des Gefäßes durch parietale Schichtthromben unterschätzt werden kann (Schneider und Beuckelmann, 2009). Die Methode findet aktuell nur periinterventionell Anwendung und ist nicht als diagnostisches Instrument geeignet.

#### Sonografie

Die Abdomensonografie ist der Standard für die nichtinvasive Screening-Untersuchung auf ein AAA (Sieber, 2020). Da das Screening für Männer von 65-74 Jahren und für Frauen ab 65 Jahren bei positiver Raucheranamnese oder kardiovaskulärer Familienanamnese leitliniengerecht empfohlen wird, werden viele TAAAs auf diesem Wege erstdiagnostiziert. Dennoch muss hier zur vollständigen Darstellung häufig eine CTA ergänzt werden. Die Sonografie hat wie die Echokardiografie den Vorteil nicht invasiv zu sein und keine ionisierenden Strahlen einzusetzen.

#### Präoperative Risikostratifizierung

Viele TAAA-Patienten sind multimorbide. Aus diesem Grund ist präoperativ auch nach der Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Gefäßchirurgie (DGG) eine Abschätzung des perioperativen Risikos wichtig. Zu den am häufigsten auftretenden Komplikationen bei der operativen Versorgung von TAAAs gehören Myokardinfarkt, respiratorische Insuffizienz, Nierenversagen, Schlaganfall und Paraplegie/Paraparese. Um das Risiko für das Auftreten dieser Komplikationen für den Patienten zu bewerten und gegebenenfalls durch gezielte Maßnahmen zu reduzie-

ren, ist also neben der Diagnostik des TAAA selber auch eine umfassende präoperative Beurteilung der kardialen, pulmonalen, renalen und zerebrovaskulären Funktion erforderlich (Koeppel et al. 2010).

Die kardiale Diagnostik umfasst hierbei ein Elektrokardiogramm (EKG), Echokardiographie und ggfs. zusätzlichen Stressuntersuchungen wie Myokard-Szintigrafie oder Stress-MRT. Die pulmonale Diagnostik beinhaltet eine Spirometrie und Blutgasanalyse zur Bewertung der Lungenfunktion. Rauchen und chronische Lungenerkrankungen stellen wichtige Prädiktoren für postoperative Komplikationen dar und müssen daher erfragt werden. Die renale Diagnostik ist wichtig, um eine präexistente Niereninsuffizienz und das Risiko eines postoperativen Nierenversagens abzuschätzen. (Koeppel et al., 2010).

### **1.6 Vorsorge und operative Behandlung**

Die Kontrolle der Risikofaktoren sowie regelmäßige Verlaufskontrollen stellen die konservativen Therapiemöglichkeiten bei asymptomatischen Aortenaneurysmen ohne OP-Indikation dar. Eine OP-Indikation ist dann gegeben, wenn Aortenaneurysmen entsprechende Schwellenwerte überschreiten (>6 cm-Durchmesser der Aorta descendens), Symptome auftreten oder auch eine schnelle Progression (>10mm/Jahr) vorliegt (Riambau, et al; 2017). Die Schwellenwerte dieser Indikation können jedoch geringer ausfallen, wenn es sich um Hochrisikopatienten (z. B. Patienten mit Marfan-Syndrom, positiver Familienanamnese oder bikuspiden Aortenklappe) handelt (Riambau, et al; 2017).

Teile der Forschungsliteratur verdeutlichen, dass Betablocker einen positiven Einfluss auf eine verlangsamte Progression von Aortenaneurysmen haben können (Aggarwal et al., 2011).

Weitere Behandlungsmöglichkeiten umfassen operative und endovaskuläre Verfahren oder Kombinationen dieser beiden Therapieformen (sog. Hybridoperationen). Konkret stehen dabei die nachfolgenden Optionen zur Verfügung (Riambau, et al; 2017):

1. Offene Aneurysma Reparatur (OAR) unter Verwendung einer Gefäßprothese
2. Endovaskuläre Aneurysmaausschaltung mittels fenestrierter/gebranchter Stentprothese
3. Hybridoperationen als Kombination aus OAR und endovaskulärer Ausschaltung

Diese verschiedenen Therapiemöglichkeiten des TAAA bieten den Ärzten eine breite Palette an Optionen, um die bestmögliche Behandlung für jeden Patienten individuell zu gestalten. Die Wahl des geeigneten Therapieverfahrens hängt von vielen Faktoren ab, einschließlich der Ausdehnung des Aneurysmas, des individuellen Gesundheitszustands und der Präferenzen des Patienten. Eine sorgfältige Abwägung von Risiko und Nutzen jedes dieser Therapieverfahren ist entscheidend, um die beste Behandlungsoption für jeden einzelnen Patienten zu finden. Die DGG-Leitlinie betont insbesondere, dass offene TAAA-Eingriffe aufgrund ihrer Komplexität (Mitbeteiligung der Viszeral- und Nierenarterien), ihrer Invasivität (erforderliche Thorakolaparotomie mit Ein-Lungen-Beatmung) und des häufig langen Aortenersatzes (Risiko der Rückenmarksischämie) mit einer hohen Morbidität und Mortalität verbunden sind. Daher sind bei dieser Behandlung Maßnahmen zur Organprotektion, wie die extrakorporale Zirkulation zur distalen Aortenperfusion/ selektive Organperfusion (durch Verwendung einer Herz-Lungenmaschine und Hypothermie), die Anlage einer Liquordrainage sowie ein intraoperatives Neuromonitoring erforderlich (Koeppel et al., 2010).

Die endovaskuläre Therapie mit fenestrierten/gebranchten Stentprothesen zeigt gute Ergebnisse in den kurz- bzw. mittelfristigen Verlaufskontrollen mit akzeptablen Raten für sekundäre Reinterventionen. Das Ein-Jahres-Überleben beträgt zwischen 76% und 87% und ist stark abhängig von der Patientenselektion. (Riambau, et al; 2017) Die t-Branch Stentprothese (Abb.1) ist die heute am häu-

figsten eingesetzte gebrachte thorakoabdominelle Stentprothese, die zur elektiven, dringlichen und zur notfallmäßigen Versorgung von Patienten mit TAAAs verwendet werden kann (Kölbel et al. 2021).

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Probanden**

Im Rahmen dieser retrospektiven Untersuchung wurden sämtliche Patienten eingeschlossen, welche im Zeitraum zwischen September 2012 und Juni 2019 mit einer t-Branch-Stentprothese aufgrund von TAAAs im Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf behandelt wurden. Diese Patienten wurden basierend auf der Dringlichkeit des notwendigen Eingriffes in drei Gruppen eingeteilt. In die elektive Gruppe wurden asymptomatische Patienten mit einem maximalen Durchmesser des TAAA von unter 80 mm inkludiert, während sich in der dringenden Gruppe Patienten mit Schmerzen oder peripherer Embolisierung sowie einem TAAA-Durchmesser von über 80 mm befanden, unabhängig davon, ob Symptome vorhanden waren. Die notfallmäßige Gruppe umfasste Patienten mit rupturierten TAAAs. Da es sich um eine retrospektive Analyse anonymisierter Routinedaten handelt, war eine lokale Ethikkommissionsgenehmigung nicht erforderlich. Die Patientendaten, darunter die Demografie, die Krankheitsgeschichte, das kardiovaskuläre Risikoprofil sowie prozedurale Details der Operation, wurden in einer Datenbank erfasst und anonymisiert. Die Patienten wurden anhand der modifizierten Crawford-Klassifikation, welche zur Klassifikation von TAAAs dient, kategorisiert (Safi und Miller 1999). Prä- und postoperative CTA wurden mithilfe einer spezialisierten Software (Aquarius Intuition; TeraRecon, Foster City, Kalifornien) analysiert, um die Behandlungsstrategie festzulegen und die postoperativen Ergebnisse auszuwerten.

## **2.2 Endovaskuläre Eingriffe und Verfahren**

Alle Eingriffe wurden unter Vollnarkose in speziellen Hybrid-Operationssälen durchgeführt. Heparin-Natrium wurde intravenös mit einer Dosis von 100 U/kgKG verabreicht, wobei eine Activated clotting time (ACT) von >250 Sekunden angestrebt wurde. Der Standard-Implantationstechnik folgend wurden zunächst die Haupt-Aorten-Stentprothesen von proximal nach distal implantiert, bevor die Seitenäste angeschlossen wurden. Als selbstexpandierende gecoverte Stents wurden Viabahn-Stents (W. L. Gore & Associates, Flagstaff, Ariz), Fluency- (Bard Peripheral Vascular, Tempe, Ariz) und Covera-Stents (Bard Peripheral Vascular) verwendet. Der ballon-expandierbare gecoverte Advanta-Stent (Atrium Maquet Getinge Group, Mijdrecht, Niederlande) wurde bei Bedarf zusätzlich eingesetzt. Eine Relining-Technik wurde nach Ermessen des Operateurs verwendet, wenn Knickbildungen, signifikante Winkel oder ein großer Abstand zwischen Zielgefäßostium und dem Seitenast-Abgang vorlag. Zur besseren Fixierung der gecoverten Stents wurden gelegentlich ballon-expandierbare oder selbstexpandierende Stents wie Genesis-Palmaz (Cordis Corp, a Cardinal Health Co, Milpitas, Calif), Protégé-EverFlex (Medtronic/Covidien, Minneapolis, Minn) und Wallstent (Boston Scientific Corp, Marlborough, Mass) verwendet. Falls ein Abgang der Stentprothese nicht benötigt wurde, wurde er mit einem Amplatzer-vascular plug (St. Jude Medical, St. Paul, Minn) ggfs. nach Verlängerung mit einem ballon-expandierbaren gecoverten Stent verschlossen.

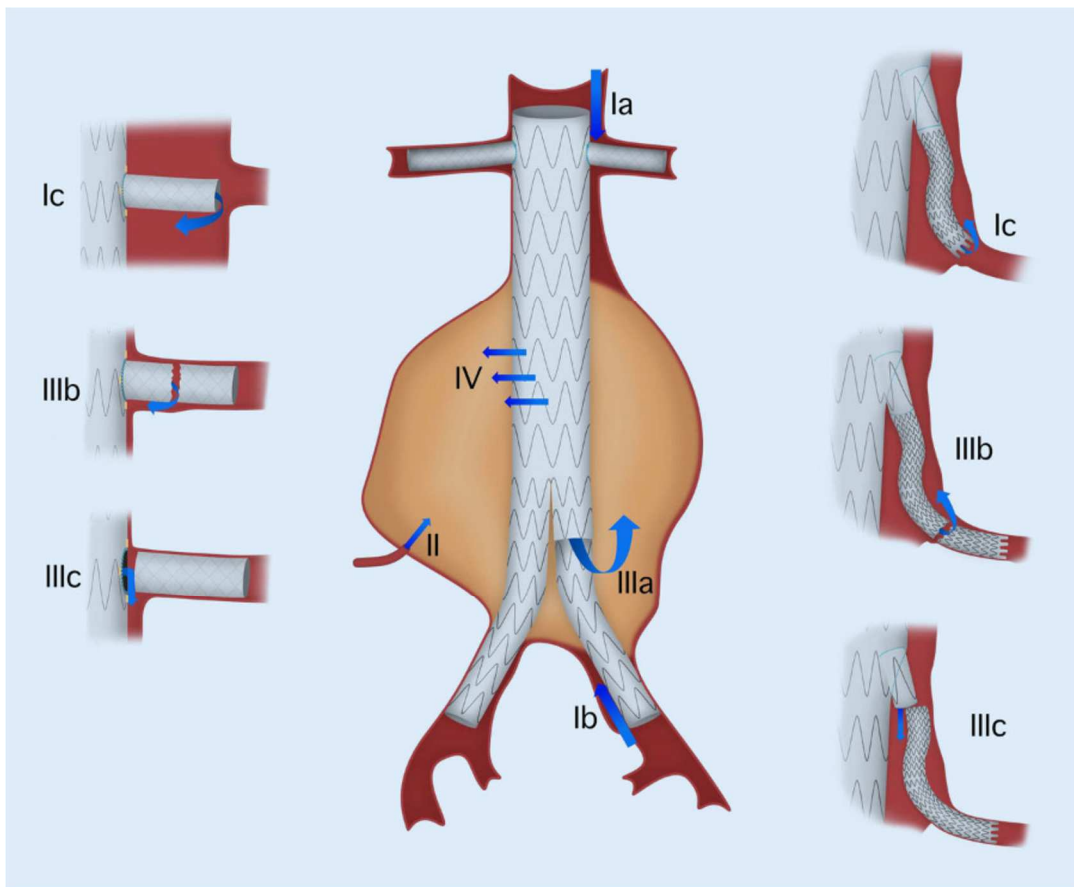
## **2.3 Definitionen**

In dieser Studie wurde der technische Erfolg als erfolgreiche Implantation der t-Branch Stentprothese und der Bridging-Covered-Stents mit einer Offenheit aller vorgesehenen Abzweigungen in der Abschluss-DSA definiert, bei gleichzeitigem Überleben des Patienten während der Operation. Seitenast-Instabilität (TAI) wurde als kombinierter Endpunkt definiert, welcher jede Abzweigungs-bezogene Komplikation einschließt, die zu Aneurysmaruptur, Tod oder Verschluss führt, sowie Stentmigration, Stenose, Knick oder Endoleckage, die eine erneute Intervention erforderlich machen. Eine Rückenmarksischämie (SCI) wurde als ein neues



neurologisches Defizit der unteren Extremitäten definiert, für das keine andere Erklärung vorlag. Der Schweregrad der SCI wurde gemäß Greenberg et al. (2008) als Paraplegie oder Paraparese klassifiziert. Die Rückenmarksischämien wurden in sofortige (innerhalb der ersten 12 Stunden postoperativ) und verzögerte (mehr als 12 Stunden postoperativ) unterteilt. Eine akute Nierenschädigung wurde als eine Verringerung der glomerulären Filtrationsrate um mehr als 30% gegenüber dem Ausgangswert definiert, wobei die Verwendung einer Nierenersatztherapie entweder als vorübergehend oder dauerhaft kategorisiert wurde. Blutungskomplikationen wurden als Blutungen definiert, die durch die Liquordrainage, eine arterielle Verletzung oder ein Problem an den Zugangswegen verursacht wurden und entweder konservativ oder chirurgisch behandelt werden mussten.

Häufige Komplikation einer endovaskulären Versorgung von Aortenaneurysmen mittels Stentprothesen sind sogenannte Endoleckagen (Endoleaks). Diese werden, je nach dem Ort ihres Auftretens eingeteilt. Nähere Informationen dazu sind der Abbildung zu entnehmen (Abb. 4).



**Abbildung 4: Klassifikation der Endoleaktypen**

Quelle: S. R. Hauck et al.; Endovaskuläre Aortenreparatur bei Endoleaks; Radiologie 2022; 62:592-600.

## 2.4 Endpunkte

Die primären Endpunkte dieser Studie waren der technische Erfolg und die Mortalität innerhalb von 30 Tagen nach dem Eingriff. Die sekundären Endpunkte umfassten die frühe Morbidität, die Offenheit der Zielgefäße, das Vorhandensein von Endoleckagen, das Gesamtüberleben und die Freiheit von erneuten Interventionen während des Nachbeobachtungszeitraums. Die jeweiligen Ergebnisse wurden zwischen den drei Dringlichkeitsgruppen verglichen.

## **2.5 Statistische Analyse und Verfahren**

Die Daten werden als Durchschnittswert  $\pm$  Standardabweichung oder als Median mit Range oder Interquartilen-Range wiedergegeben. Kategorische Variablen werden durch absolute Zahlen und Prozentanteil innerhalb der Studienpopulation dargestellt. Die statistische Signifikanz zwischen den Gruppen wurde für die kontinuierlichen Variablen mit einem unabhängigen t-Test für normalverteilte Daten und einem Mann-Whitney-U-Test für nicht normalverteilte Daten bestimmt. Für kategorische Variablen wurde der exakte Fisher-Test verwendet. Das Überleben und die Notwendigkeit für Korrekturingriffe wurden mithilfe der Kaplan-Meier-Methode analysiert. P-Werte von weniger als .05 wurden als Hinweis auf statistische Signifikanz angesehen. Die statistische Analyse wurde mit der Software SPSS, Version 22.0 für Windows (IBM Corp, Armonk, NY), durchgeführt.

## **3 Ergebnisse**

### **3.1 Patienteneigenschaften**

Während des Untersuchungszeitraums wurden 100 Patienten mit einer t-Branch Stentprothese behandelt. Von diesen Patienten wurden 30 elektiv behandelt (73% männlich; durchschnittliches Alter,  $65 \pm 10$  Jahre), 49 dringend behandelt (54% männlich; durchschnittliches Alter,  $72 \pm 7$  Jahre) und 21 notfallmäßig behandelt (81% männlich; durchschnittliches Alter,  $75 \pm 9$  Jahre). Von den 21 Patienten in der Notfallgruppe war ein Patient präoperativ hämodynamisch instabil, 20 Patienten waren hämodynamisch stabil. Von den 49 Patienten in der dringenden Gruppe wurden 20 (40,8%) aufgrund eines Aneurysmadurchmessers von  $\geq 8$  cm eingeschlossen; 9 dieser Patienten waren symptomatisch und 11 waren asymptomatisch. Die restlichen 29 Patienten der dringlichen Gruppe waren symptomatisch mit einem Aneurysmadurchmesser von  $< 8$  cm. Die demografischen Daten und Nebenerkrankungen der Patienten sind in Tabelle 1 aufgeführt. Eine hohe Risikoklassifizierung nach der American Society of Anesthesiologists (ASA) von III bis V war in der Notfallgruppe (20 von 21; 95%) häufiger als in der elektiven Gruppe (22 von 30; 73%) und als in der dringenden Gruppe (41 von 49; 84%) (P

= .04). Der mediane Aneurysmadurchmesser betrug 6,25 cm (Spannweite, 4,8-7,6 cm) in der elektiven Gruppe, 7,2 cm (Spannweite, 3,8-11,4 cm) in der dringenden Gruppe und 7,4 cm (Spannweite, 3,7-13,4 cm) in der Notfallgruppe (P = .336).

**Tabelle 1a: Demografie und kardiovaskuläre Risikofaktoren<sup>1</sup>**

<b>Variable</b>	<b>Elektiv (n = 30)</b>	<b>Dringend (n = 49)</b>	<b>Notfallmäßig (n = 21)</b>	<b>p-Wert</b>
<i><b>Demografie</b></i>				
Alter (Jahre)	65 ± 10	72 ± 7	75 ± 9	,092
Männliches Geschlecht	22 (73%)	26 (53%)	17 (81%)	,802
BMI ( kg/m <sup>2</sup> )	26 ± 5	26 ± 5	24 ± 3	,104
<i><b>Kardiovaskuläre Risikofaktoren</b></i>				
Zigarettenrauchen	12 (40%)	16 (33%)	9 (43%)	,663
Aktives Rauchen	9 (30%)	10 (20%)	8 (38%)	,282
Hypertonie	4 (13%)	12 (24%)	4 (19%)	,481
Hypercholesterinämie	9 (30%)	11 (22%)	4 (19%)	,625
Koronare Herzkrankheit	8 (27%)	17 (35%)	5 (24%)	,590
Myokardinfarkt	0 (0%)	5 (10%)	1 (5%)	,173
Koronare Bypass-Operation	1 (3%)	10 (20%)	1 (5%)	,04
Chronisch obstruktive Lungenerkrankung	9 (30%)	9 (18%)	4 (19%)	,635
Periphere arterielle Verschlusskrankheit	5 (17%)	9 (18%)	0 (0%)	,816
Bindegewebserkrankung	4 (13%)	1 (2%)	1 (5%)	,352
Diabetes mellitus	3 (10%)	3 (6%)	2 (10%)	,793
Herzinsuffizienz	3 (10%)	4 (8%)	2 (10%)	,958
Apoplex/TIA	6 (20%)	3 (6%)	1 (5%)	,104
Chronische Nierenkrankheit Stufe III-V	5 (17%)	16 (33%)	3 (14%)	,207
Kreatinin (mg/dL)	1,51 ± 1,49	1,4 ± 1,2	1,2 ± 0,6	,531
GFR (mL/min/1.73 m <sup>2</sup> )	57 ± 26	52 ± 22	53 ± 23	,883
ASA-Klasse III-V	22 (73%)	41 (84%)	20 (95%)	,04

**Tabelle 1b: Voroperationen und Morphologie des Aneurysmas<sup>1</sup>**

<b>Variable</b>	<b>Elektiv (n = 30)</b>	<b>Dringend (n = 49)</b>	<b>Notfallmäßig (n = 21)</b>	<b>p-Wert</b>
<b><i>Aortale Voroperationen</i></b>				
Offene AAA Reparatur	5 (17%)	7 (14%)	3 (14%)	,815
EVAR	4 (13%)	4 (8%)	1 (5%)	,537
Offene Reparatur deszendierende TAA	1 (3%)	1 (2%)	0 (0%)	,931
TEVAR	6 (20%)	7 (14%)	2 (10%)	,649
Offene Reparatur Aorta ascendens	1 (3%)	2 (4%)	0 (0%)	,873
Offene Reparatur Aortenbogen	2 (7%)	1 (2%)	0 (0%)	,712
<b><i>Aneurysmamorphologie</i></b>				
Maximaler Aortendurchmesser (cm)	7,6	11,4	13,4	
<b><i>Aneurysma-Klassifikation</i></b>				
Crawford- I	3 (10%)	6 (12%)	3 (14%)	
Crawford- II	5 (17%)	9 (18%)	6 (29%)	
Crawford- III	3 (10%)	6 (12%)	1 (5%)	
Crawford- IV	8 (27%)	10 (20%)	2 (10%)	
Crawford- V	3 (10%)	4 (8%)	0 (0%)	
Juxtarenales AAA	2 (7%)	5 (10%)	3 (14%)	
Pararenales AAA	6 (20%)	9 (18%)	6 (29%)	

Quelle: Eigene Darstellung.

<sup>1</sup> Abkürzungen: AAA, abdominales Aortenaneurysma; ASA, American Society of Anesthesiologists; BMI, Body-Mass-Index; EVAR, endovaskuläre Aortenreparatur; GFR, glomeruläre Filtrationsrate; TAA, thorakales Aortenaneurysma; TEVAR, thorakale endovaskuläre Aortenreparatur; TIA, transitorische ischämische Attacke.

### 3.2 Eingriffsmerkmale

Eine präventive, präoperative, lumbale Liquordrainage wurde bei 22 von 30 Patienten (73%) in der elektiven Gruppe, bei 29 von 49 Patienten (59%) in der dringenden Gruppe und bei 11 von 21 Patienten (52%) in der Notfallgruppe verwendet ( $p = .356$ ). Eine therapeutische postoperative Liquordrainage war bei keinem Patienten erforderlich. Ein komplett transfemoraler Zugang mit steuerbarer Schleuse zur Vermeidung der Manipulation im Aortenbogen, wurde häufiger zur Zielgefäß-Katheterisierung in der elektiven Gruppe verwendet als in den dringenden- und Notfallgruppen (57% gegenüber 8% bzw. 5%;  $p = .021$ ). Die mittlere Operationszeit betrug  $338 \pm 138$  Minuten in der elektiven Gruppe,  $438 \pm 159$  Minuten in der dringenden Gruppe und  $387 \pm 156$  Minuten in der Notfallgruppe ( $p = .229$ ). Die mittlere Fluoroskopiezeit betrug  $81 \pm 38$  Minuten in der elektiven Gruppe,  $86 \pm 47$  Minuten in der dringenden Gruppe und  $69 \pm 29$  Minuten in der Notfallgruppe ( $p = .149$ ). Das durchschnittliche Dosisflächenprodukt betrug  $521 \pm 334$  Gy  $\text{cm}^2$  in der elektiven Gruppe,  $657 \pm 105$  Gy  $\text{cm}^2$  in der dringenden Gruppe und  $656 \pm 112$  Gy  $\text{cm}^2$  in der Notfallgruppe ( $p = .997$ ). Das durchschnittliche Kontrastmittelvolumen betrug  $138 \pm 40$  ml in der elektiven Gruppe,  $152 \pm 84$  ml in der dringenden Gruppe und  $153 \pm 91$  ml in der Notfallgruppe ( $p = .961$ ). Die Gesamtzahl der angeschlossenen Zielgefäße betrug 111 von 120 (93%) in der elektiven Gruppe, 185 von 196 (94%) in der dringenden Gruppe und 82 von 84 (98%) in der Notfallgruppe. Die durchschnittliche Anzahl der Zielgefäße betrug  $3,6 \pm 0,4$  in der elektiven Gruppe,  $3,6 \pm 0,4$  in der dringenden Gruppe und  $3,8 \pm 0,4$  in der Notfallgruppe ( $p = .946$ ). Der Truncus coeliacus war bei 14 Patienten präoperativ verschlossen (5 in der elektiven Gruppe, 7 in der dringenden Gruppe und 2 in der Notfallgruppe). Die rechte Nierenarterie war präoperativ bei drei Patienten verschlossen (einer in der elektiven Gruppe und zwei in der dringenden Gruppe) mit einer funktionierenden linken Niere. Die linke Nierenarterie war präoperativ bei sechs Patienten verschlossen (drei in der elektiven Gruppe und drei in der dringenden Gruppe) mit einer funktionierenden rechten Niere. Bei diesen Patienten wurde der entsprechende Seitenast der Prothese mit Amplatzer Vascular Plugs (St. Jude Medical) geplant verschlossen. Bei einem Patienten in der

dringenden Gruppe wurde der Ast für den Truncus coeliacus verwendet, um eine zusätzliche rechte Nierenarterie zu verbinden.

Entsprechend der Morphologie des TAAA wurden folgende zusätzliche Eingriffe durchgeführt: in 12 von 30 (40%), 5 von 49 (10%) und 3 von 21 (14%) Patienten der elektiven, dringenden und Notfall-Gruppe wurde eine zusätzliche proximale thorakale Stentprothese implantiert ( $p = .069$ ). Eine Bypass-Operation von der linken Arteria carotis communis zur linken Arteria subclavia wurde in 4 (13%), 8 (16%) und 3 (14%) Patienten der elektiven, dringenden und Notfall-Gruppe durchgeführt ( $p = .932$ ). Bei Patienten der elektiven, dringenden und Notfall-Gruppe wurden bei 4 (13%), 4 (8%) und 5 (24%) Patienten iliakal verzweigte Stentprothesen implantiert ( $p = .091$ ). Die Art von Bridging-Covered-Stents, Relining-Stents, die frühe Offenheit und Seitenast-Instabilität während der Nachuntersuchung sind in Tabelle 2 für die drei Gruppen zusammengefasst.



**Tabelle 2: Anwendung der Bridging-Covered-Stents in den drei Gruppen<sup>2</sup>**

Variable	SES	BES	Kombiniert	Relining	Frühe Offenheit	Seitenast-Instabilität
<b><i>Elektive Gruppe</i></b>						
CA (n = 25)	18 (72%)	0 (0%)	7 (28%)	18 (72%)	25 (100%)	0 (0%)
SMA (n = 30)	27 (90%)	2 (7%)	1 (3%)	24 (80%)	29 (97%)	2 (7%)
RRA (n = 29)	10 (34%)	0 (0%)	19 (66%)	17 (59%)	29 (100%)	5 (17%)
LRA (n = 27)	13 (48%)	1 (4%)	13 (48%)	16 (59%)	27 (100%)	3 (11%)
<b><i>Dringliche Gruppe</i></b>						
CA (n=42)	25 (60%)	8 (19%)	9 (21%)	26 (62%)	42 (100%)	2 (5%)
SMA (n=49)	33 (67%)	6 (13%)	10 (20%)	31 (66%)	49 (100%)	2 (4%)
RRA (n=47)	31 (66%)	4 (8%)	12 (26%)	30 (64%)	46 (98%)	1 (2%)
LRA (n=46)	24 (52%)	6 (13%)	16 (35%)	28 (60%)	45 (98%)	3 (7%)
<b><i>Notfallmäßige Gruppe</i></b>						
CA (n = 19)	15 (79%)	3 (16%)	1 (5%)	10 (53%)	19 (100%)	1 (5%)
SMA (n = 21)	11 (52%)	3 (14%)	5 (24%)	14 (67%)	21 (100%)	0 (0%)
RRA (n = 21)	11 (52%)	1 (5%)	9 (43%)	13 (62%)	20 (95%)	2 (10%)
LRA (n = 21)	11 (52%)	3 (14%)	7 (33%)	15 (71%)	21 (100%)	2 (10%)

Quelle: Eigene Darstellung.

<sup>2</sup> Abkürzungen: BES, ballonexpandierbarer Stent; CA, Truncus Coeliacus; LRA, linke Nierenarterie; RRA, rechte Nierenarterie; SES, selbstexpandierbarer Stent; SMA, Arteria mesenterica superior (Obere Darmarterie).

Der technische Erfolg wurde in 29 von 30 Patienten (97%), 48 von 49 Patienten (98%) bzw. 20 von 21 Patienten (95%) in der elektiven, dringenden und Notfall-Gruppe erreicht ( $p = .652$ ). Technisches Versagen war bei zwei Patienten (einer in der elektiven Gruppe und einer in der dringenden Gruppe) auf den erfolglosen Versuch zurückzuführen, den Truncus coeliacus zu katheterisieren, sowie bei einem Patienten der Notfallgruppe auf den erfolglosen Versuch, die linke Nierenarterie zu katheterisieren. Die durchschnittliche Verweildauer auf der Intensivstation war in den elektiven und dringenden Gruppen kürzer als in der Notfall-Gruppe ( $6 \pm 6$  Tage;  $6 \pm 6$  Tage;  $21 \pm 13$  Tage;  $p = .004$ ). Die durchschnittliche Gesamtverweildauer im Krankenhaus betrug  $12 \pm 10$  Tage,  $19 \pm 13$  Tage bzw.  $22 \pm 16$  Tage in der elektiven, dringenden und Notfall-Gruppe ( $p = .381$ ). Die Verfahrensdetails sind in der nachfolgenden Tabelle 3 zusammengefasst.

**Tabelle 3: Prozedurale Details aller Gruppen<sup>3</sup>**

Variable	Elektiv (n = 30)	Dringend (n = 49)	Notfallmäßig (n = 21)	P-Wert
Liquordrainage	22 (73%)	29 (59%)	11 (52%)	0,356
Rechter Brachialzugang	13 (43%)	45 (92%)	20 (95%)	0,072
Transfemorale Zugang	17 (57%)	4 (8%)	1 (5%)	0,021
Iliofemorales Conduit	0 (0%)	2 (4%)	0 (0%)	0,794
Kontrastmittelmenge (ml)	138 ± 40	152 ± 84	153 ± 91	0,961
Gesamt-OP-Zeit (min)	338 ± 138	438 ± 159	387 ± 156	0,229
Gesamt-Fluoroskopie-Zeit (min)	81 ± 38	86 ± 47	69 ± 29	0,149
Dosisflächenprodukt (Gy·cm <sup>2</sup> )	521 ± 334	657 ± 105	656 ± 112	0,997
TVs pro Patient	3,6 ± 0,4	3,6 ± 0,4	3,8 ± 0,4	0,946
TVs	111	185	82	
CA	25	42	19	
SMA	30	49	21	
RRA	29	47	21	
LRA	27	46	21	
Zusätzliche Arterien	0	1	0	
<b>Zusätzliche Verfahren</b>				
TEVAR	12 (40%)	5 (10%)	3 (14%)	0,069
LCCA-LSA-Bypass	4 (13%)	8 (16%)	3 (14%)	0,932
IBD	4 (13%)	4 (8%)	5 (24%)	0,091
Technischer Erfolg	29 (97%)	48 (98%)	20 (95%)	0,652
Intensivstationsaufenthalt (Tage)	6 ± 6	7 ± 7	21 ± 13	0,004
Krankenhausaufenthalt (Tage)	12 ± 10	19 ± 13	22 ± 16	0,381

Quelle: Eigene Darstellung.

<sup>3</sup> Abkürzungen: IBD, Iliac branched device (iliakale verzweigte Stentprothese); LCCA, linke Arteria carotis communis; LRA, linke Nierenarterie; LSA, linke Arteria subclavia; RRA, rechte Nierenarterie; SMA, Arteria mesenterica superior (Obere Darmarterie); TEVAR, Thoracic endovascular repair (Endovaskuläre Reparatur thorakaler Aortenaneurysmen); TVs, target vessels (Zielgefäße); CA, Truncus Coeliacus.

### **3.3 Frühzeitige Sterblichkeit (30 Tage)**

Die 30-Tage-Sterblichkeitsrate war in der elektiven Gruppe (7%; n=2) niedriger als in den Gruppen mit dringendem (16%; n=8) und notfallmäßigem (24%; n=5) Handlungsbedarf (p=0.05). Die Todesursache in der elektiven Gruppe waren bei einem Patienten eine Sepsis und Multiorganversagen, bei dem weiteren Patienten ein akuter Herzstillstand. Die Todesursache in der Gruppe mit dringendem Handlungsbedarf umfasste Sepsis bei einem Patienten, Multiorganversagen bei drei Patienten, Myokardinfarkt bei einem Patienten, Herzinsuffizienz bei einem Patienten, Schlaganfall bei einem Patienten und eine Aortenruptur bei einem Patienten. Die Todesursache in der Gruppe mit notfallmäßigem Handlungsbedarf umfasste Sepsis bei einem Patienten, Multiorganversagen bei zwei Patienten, Lungenentzündung bei einem Patienten und akuter Herzstillstand bei einem Patienten.

### **3.4 Frühzeitige Morbidität (30 Tage)**

Die Rate des akuten Nierenversagens war in der elektiven Gruppe (7%; n=2) niedriger als in den Gruppen mit dringendem Handlungsbedarf (22%; n=11) und notfallmäßigem Handlungsbedarf (38%; n=8; p=0.002). Die Rate der Rückenmark-Ischämie war zwischen den Gruppen nicht signifikant unterschiedlich, allerdings war die Rate der Paraplegie in der elektiven Gruppe (3%; n=1) und der Gruppe mit dringendem Handlungsbedarf (2%; n=1) signifikant niedriger als in der Gruppe mit notfallmäßigem Handlungsbedarf (14%; n=3; p=0.038). Die demografischen und klinischen Daten der Patienten mit SCI in den elektiven, dringenden und notfallmäßigen Gruppen sind jeweils in den ergänzenden Tabellen 4 bis 6 zusammengefasst. Die Rate von Blutungskomplikationen war in der elektiven Gruppe (3%; n=1) niedriger als in der Gruppe mit dringendem Handlungsbedarf (10%; n=5) und notfallmäßigem Handlungsbedarf (33%; n=7; p=0.025).

**Tabelle 4: Demographische und klinische Daten für Patienten mit SCI (elektive Gruppe)<sup>4</sup>**

<b>Alter/ Geschlecht</b>	72/M	78/M	57/M	78/F	75/F
<b>Begleiterkrankungen</b>	CHD, HTN, COPD, TIA	HTN, DM, Schlaganfall	HTN, PAD, Dialyse	Vorhofflimmern, HTN	HTN, COPD
<b>Vorherige Aorteneingriffe</b>	Nein	Nein	EVAR nach offener OP	Aortenbogensersatz	Aortenbogensersatz
<b>Crawford-Typ</b>	I	I	V	V	I
<b>Aortale Abdeckung [mm]</b>	332	448	500	364	422
<b>Liquordrainage</b>	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
<b>OP-Dauer [min]</b>	595	356	607	220	390
<b>Klassifikation</b>	Paraplegie	Paraparese	Paraparese	Paraparese	Paraparese
<b>Auftreten SCI</b>	Sofort	Sofort	Sofort	Sofort	Sofort

Quelle: Eigene Darstellung.

<sup>4</sup> Abkürzungen: CHD, Herzinsuffizienz; COPD, chronisch obstruktive Lungenerkrankung; DM, Diabetes mellitus; EVAR, endovaskuläre Aortenreparatur; HTN, Hypertonie; M, männlich; PAD, periphere arterielle Verschlusskrankheit; TIA, transitorische ischämische Attacke; SCI, Rückenmarksischämie; F, weiblich.

**Tabelle 5: Demographische und klinische Daten für Patienten mit SCI (dringende Gruppe)<sup>5</sup>**

<b>Alter/ Geschlecht</b>	<b>78/M</b>	<b>77/M</b>	<b>77/F</b>	<b>75/M</b>	<b>67/F</b>
<b>Begleiter- krankungen</b>	<b>HTN, COPD, NI</b>	<b>CHF, MI, HTN, NI</b>	<b>HTN</b>	<b>CAD, CHF, CABG, HTN, NI</b>	<b>HTN</b>
<b>Vorherige Aorteneingriffe</b>	<b>Nein</b>	<b>EVAR</b>	<b>Nein</b>	<b>TEVAR</b>	<b>Nein</b>
<b>Crawford-Typ</b>	<b>V</b>	<b>IV</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>II</b>
<b>Aortale Ab- deckung [mm]</b>	<b>400</b>	<b>397</b>	<b>397</b>	<b>390</b>	<b>447</b>
<b>Liquordrainage</b>	<b>Nein</b>	<b>Ja</b>	<b>Nein</b>	<b>Nein</b>	<b>Ja</b>
<b>OP-Dauer [min]</b>	<b>405</b>	<b>420</b>	<b>315</b>	<b>465</b>	<b>277</b>
<b>Klassifikation</b>	<b>Paraparese</b>	<b>Paraparese</b>	<b>Paraparese</b>	<b>Paraplegie</b>	<b>Paraparese</b>
<b>Auftreten SCI</b>	<b>Sofort</b>	<b>Sofort</b>	<b>Sofort</b>	<b>Sofort</b>	<b>Sofort</b>

Quelle: Eigene Darstellung.

<sup>5</sup> Abkürzungen: CHF, Herzinsuffizienz; COPD, chronisch obstruktive Lungenerkrankung; EVAR, endovaskuläre Aortenreparatur; HTN, Hypertonie; M, männlich; MI, Myokardinfarkt; TEVAR, thorakale endovaskuläre Aortenreparatur; NI, Niereninsuffizienz; SCI, Rückenmarksischämie; F, weiblich; CABG, Koronare Bypass-Operation; CAD, Koronare Herzkrankheit

**Tabelle 6: Demographische und klinische Daten für Patienten mit SCI (notfallmäßige Gruppe)<sup>6</sup>**

<b>Alter/ Geschlecht</b>	70/ F	77/ M	70/ M	90/ M	90/ M	68/ M	65/ M	73/ M
<b>Begleiter- krankungen</b>	CHF, HTN	CHF, MI, HTN, NI	HTN, AF, Dialyse	CAD, CHF, HTN, COPD, NI, Apoplex	AF, HTN, NI	HTN	HTN	HTN, CAD, AF
<b>Vorherige Aorteneingriffe</b>	ARR	AAE, offene OP der DTA	Nein	Offene AAA, juxtarenal	Nein	Nein	Nein	AAA- OAR
<b>Crawford-Typ, Aneurysma- lokalisation</b>	II	IV	infrarenal	juxtarenal	II	Para- renal	Para- renal	IV
<b>Aortale Ab- deckung [mm]</b>	499	397	386	481	365	227	436	370
<b>Liquor- drainage</b>	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Nein
<b>OP-Dauer [min]</b>	355	570	535	590	313	420	565	305
<b>Klassifikation</b>	Para- parese	Paraplegie	Paraplegie	Paraparese	Para- parese	Para- plegie	Para- parese	Para- parese
<b>Auftreten SCI</b>	Sofort	Verzögert	Verzögert	Sofort	Sofort	Sofort	Sofort	Sofort

Quelle: Eigene Darstellung.

<sup>6</sup> Abkürzungen: AF, Vorhofflimmern; CAD, Koronare Herzkrankheit; CHF, Herzinsuffizienz; COPD, Chronisch obstruktive Lungenerkrankung; DTA, Deszendierende thorakale Aorta; F, weiblich; HTN, Hypertonie; M, männlich; MI, Myokardinfarkt; AAE, Aorta ascendens Ersatz; ARR, Aortenwurzelersatz; OAR, offene Aortenreparatur; AAA, Abdominelles Aortenaneurysma; SCI, Rückenmarksischämie; NI, Niereninsuffizienz

### **3.5 Frühzeitige Target Vessel- Offenheit**

Die frühzeitige Zielgefäß-Offenheit (target vessel - TV) betrug 110 von 111 (99%) in der elektiven Gruppe, 183 von 185 (99%) in der Gruppe mit dringendem Handlungsbedarf und 81 von 82 (99%) in der Gruppe mit notfallmäßigem Handlungsbedarf ( $p=0.951$ ). Die Rate frühzeitiger Endoleaks Typ I und III betrug 14% (4 von 30) in der elektiven Gruppe, 16% (8 von 49) in der Gruppe mit dringendem Handlungsbedarf und 15% (3 von 21) in der Gruppe mit notfallmäßigem Handlungsbedarf ( $p=0.915$  bzw.  $p=0.737$ ). Die frühen Ergebnisse sind in Tabelle 7 aufgeführt.



Tabelle 7: Frühe Outcomes (30 Tage) der drei Gruppen<sup>7</sup>

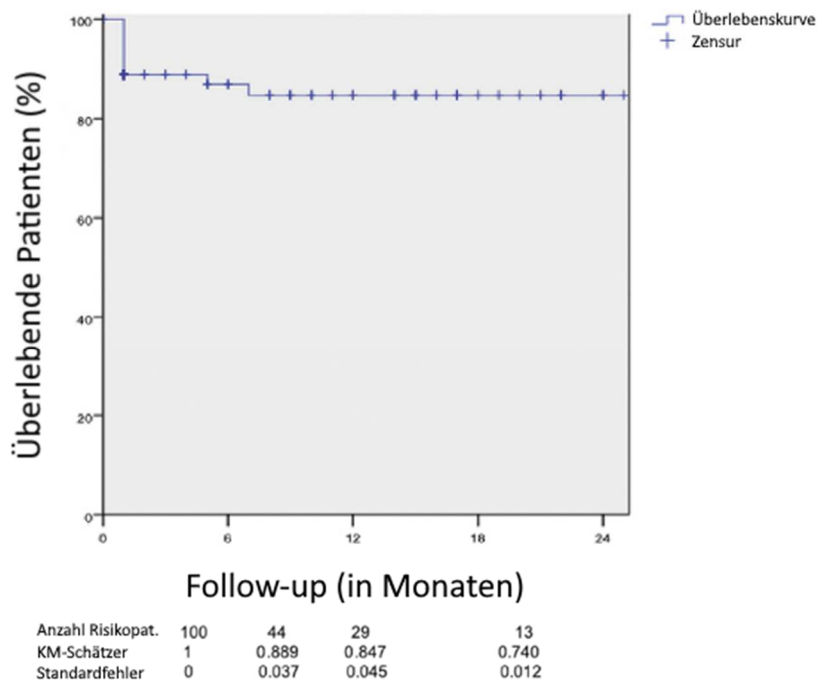
Variable	Elektiv (n=30)	Dringend (n=49)	Notfall (n=21)	P-Wert
Mortalität	2 (7%)	8 (16%)	5 (24%)	0,05
<i>schwere Komplikationen</i>				
Sepsis	2 (7%)	8 (16%)	3 (14%)	0,497
Akutes Nierenversagen	2 (7%)	11 (22%)	8 (38%)	0,002
Keine Dialyse	2 (7%)	9 (18%)	4 (19%)	0,057
Temporäre Dialyse	0 (0%)	2 (4%)	3 (14%)	0,055
Dauerhafte Dialyse	0 (0%)	0 (0%)	1 (5%)	0,103
Apoplex/TIA	1 (3%)	3 (6%)	1 (5%)	0,875
Atemversagen	1 (3%)	6 (12%)	1 (5%)	0,685
Rückenmark-Ischämie	5 (17%)	5 (10%)	8 (38%)	0,051
<i>Klassifikation</i>				
1-2 (Paraparese)	4 (13%)	4 (8%)	5 (24%)	0,081
3a-c (Paraplegie)	1 (3%)	1 (2%)	3 (14%)	0,038
<i>Auftreten</i>				
Sofort	5 (17%)	5 (10%)	6 (29%)	0,073
Verzögert	0 (0%)	0 (0%)	2 (10%)	0,067
Myokardinfarkt	0 (0%)	2 (4%)	0 (0%)	0,345
Herzinsuffizienz	0 (0%)	1 (2%)	0 (0%)	0,603
Zugangsassozierte Komplikation	4 (13%)	6 (12%)	2 (10%)	0,167
Wundinfektion	4 (13%)	4 (8%)	1 (5%)	0,466
Blutungskomplikation	1 (3%)	5 (10%)	7 (33%)	0,025
Darm-Ischämie	2 (7%)	0 (0%)	2 (10%)	0,119
Frühes Endoleak	10 (33%)	12 (24%)	7 (33%)	0,984
Typ I	2 (7%)	4 (8%)	1 (5%)	0,915
Typ II	6 (20%)	6 (12%)	3 (14%)	0,89
Typ III	2 (7%)	4 (8%)	2 (10%)	0,737
Frühe TV- Offenheit	110/111 (99%)	183/185 (99%)	81/82 (99%)	0,951

Quelle: Eigene Darstellung.

<sup>7</sup> Abkürzungen: TIA, transitorische ischämische Attacke, TV, Zielgefäß

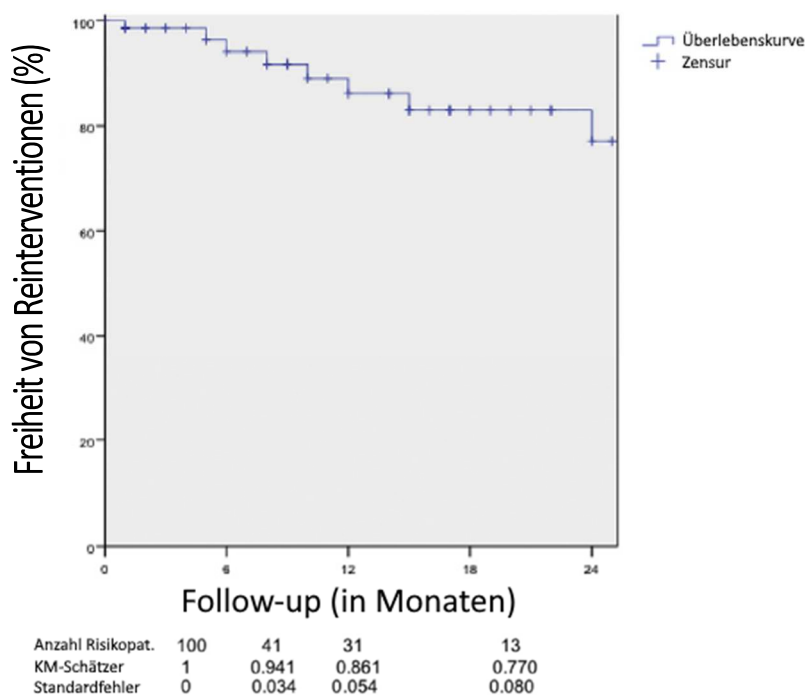
### 3.6 Follow-up

Die mediane Nachbeobachtungszeit betrug 8 Monate (Interquartilen-Range 3,2-18,5 Monate). Die kumulative Gesamtüberlebensrate betrug 95%, 87% und 87% nach 6, 12 und 24 Monaten (Abb. 5). Die kumulative Freiheit von Reinterventionen während des Nachbeobachtungszeitraums betrug 92%, 86% und 77% nach 6, 12 und 24 Monaten, (Abb. 6).



**Abbildung 5: Kaplan-Meier-Schätzung der kumulativen Gesamtüberlebensrate der Patienten für die Gesamtsterblichkeit während des Follow-ups**

Quelle: Eigene Darstellung.



**Abbildung 6: Kaplan-Meier-Schätzung der kumulativen Freiheit von Reinterventionen während des Follow-ups**

Quelle: Eigene Darstellung.

Während des Follow-ups waren bei sechs Patienten (6%) aortenbezogene Reinterventionen erforderlich. In der elektiven Gruppe war bei einem Patienten ein Typ-Ib-Endoleak zu verzeichnen, das mit einer iliakalen Stentprothesen-Verlängerung behandelt wurde. In der Gruppe mit dringendem Handlungsbedarf wurde bei einem Patienten ein geplanter Verschluss eines zuvor zur Rückenmarksprotektion offengelassenen Seitenastes durchgeführt. Zwei Patienten mit Typ-Ia-Endoleak wurden mit einer proximalen Stentprothesen-Verlängerung behandelt, einer von ihnen mit Anlage eines Bypasses von der linken Arteria carotis communis zur linken Arteria subclavia (Carotis-Subclavia-Bypasses). In der Gruppe mit notfallmäßigem Handlungsbedarf wurde ein Patient mit einem Typ-III-Endoleak mit einem Relining durch TEVAR behandelt, ein weiterer Patient musste sich einer Notfall-TEVAR und Laparotomie mit Darmresektion aufgrund einer Aorto-duodenalen

Fistel unterziehen. Das Vorkommen von Seitenast-Instabilitäten in der elektiven Gruppe lag bei 10 von 111 TV (9%), in der Gruppe mit dringendem Handlungsbedarf bei 8 von 185 TV (4%) und in der Gruppe mit notfallmäßigem Handlungsbedarf bei 5 von 82 TV (6%) ( $p=0.672$ ). Alle Seitenast-Instabilitäten wurden elektiv durch endovaskuläre Verfahren behandelt.

## 4 Diskussion

In dieser Studie wurden die kurz- und mittelfristigen Ergebnisse der Behandlung von TAAAs mit der t-Branch Stentprothese in elektiven, dringenden und notfallmäßigen Fällen untersucht. Es handelt sich dabei um die bisher größte publizierte Single-Center-Vergleichsstudie von TAAA-Patienten, die mit der t-Branch Stentprothese behandelt wurden, in der die Daten für die elektiven, dringenden und notfallmäßigen Patienten getrennt analysiert wurden. Es wurde festgestellt, dass die 30-Tage-Mortalitätsrate und die SCI-Rate in der notfallmäßigen Gruppe eine klare Tendenz zu einem höheren Vorkommen hatte, mit p-Werten von 0.05 und 0.051. Auch die akute Nierenschädigungsrate und der Anteil der Blutungskomplikationen bei notfallmäßigen Patienten war signifikant höher als bei den elektiven und dringenden Patienten. Der Aufenthalt auf der Intensivstation bei der notfallmäßigen Gruppe war ebenfalls signifikant länger. Der verlängerte Intensivaufenthalt und die höhere Rate an Organkomplikationen erklären sich aufgrund der Ruptur und der damit verbundenen kardiopulmonalen Instabilität der Patienten. Die signifikant erhöhten Raten von schwerer SCI sind wahrscheinlich auf die, bei der Notfallgruppe obligate, sofortige Vervollständigung der Stentprothesenimplantation zur Aneurysmaausschaltung zurückzuführen. Hingegen ist es bei elektiven Fällen sonst möglich, eine Prothesenöffnung temporär zum Staging offen zu belassen, um eine Restperfusion des Aneurysmas zur Adaptation an die veränderten Durchblutungsverhältnisse zu erreichen. Eine Komplettierung erfolgt in diesen elektiven Fällen meistens im Intervall von ca. 2-6 Wochen. Des Weiteren muss im Notfall meistens auf die Anlage einer Liquordrainage verzichtet werden, welche sonst eines der integralen Bestandteile des Managements zur Vermeidung von SCI darstellt. Die Ergebnisse dieser Studie bestätigen, dass die Dringlichkeit der Versorgung die frühen Ergebnisse beeinflusst und dass Patienten mit der Indikation von dringenden (nicht rupturierten) TAAAs eine separate Gruppe darstellen. Die technische Erfolgsrate war in allen drei Gruppen hoch, was indirekt zeigt, dass die schlechteren Ergebnisse in Bezug auf Mortalität und Morbidität nicht auf das Verfahren selbst zurückzuführen sind, sondern auf die durch die Ruptur verursachte eingeschränkte hämodynamische Kompensationsfähigkeit der Patienten.

Mögliche Faktoren, die zur Mortalität beitragen können, sind die Schwere der klinischen Symptomatik sowie die postoperativen Komplikationen wie akute Nierenschädigung und SCI. Diese Variablen wurden zuvor bereits in anderen Studien als wichtige Faktoren für die Mortalität beschrieben, allerdings nur nach offener TAAA-Reparatur (Coselli et al. 2016).

Eine frühere Studie aus unserem Zentrum hat gezeigt, dass nur etwas mehr als die Hälfte der Patienten mit dringlich zu versorgenden TAAAs die formalen anatomischen Eignungskriterien der Anwendungsanforderungen (Instructions for use) für eine t-Branch Stentprothese erfüllt hat. Die Ergebnisse in Bezug auf Mortalität und Morbidität in dieser Studie waren jedoch nicht mit den anatomischen Eignungskriterien assoziiert (Spanos et al. 2018). Dies könnte darauf hindeuten, dass die angenommenen anatomischen Eignungskriterien der t-Branch Stentprothese in klinisch dringlich oder notfallmäßigen Situationen nur von begrenzter Relevanz sind.

Die Behandlung von Fällen außerhalb der eigentlichen Anwendungsanforderungen (Instructions for use) kann technisch anspruchsvoller sein, längere Operationsdauern und Fluoroskopiezeiten mit sich bringen, sowie eine Behandlung in erfahrenen Zentren erfordern. Gegenwärtig ist in unserem Zentrum üblich, die t-Branch Stentprothese für dringende Fälle unabhängig von der Ausdehnung der proximalen Erkrankung oder der Zielgefäßanatomie zu verwenden. Allerdings haben Silingardi et al. (2018) in einer Studie über die Behandlung von 41% elektiven TAAAs im Vergleich zu 32% dringenden und notfallmäßigen Fällen mit der t-Branch Stentprothese festgestellt, dass die letzteren Gruppen signifikant längere Operations- und Fluoroskopiezeiten sowie größere Kontrastmittelvolumina erforderten, was auch mit einer erhöhten Mortalität und unerwünschten Ereignissen verbunden war (Silingardi et al. 2018).

Die SCI bleibt das Hauptproblem bei der endovaskulären Therapie von TAAAs. In der vorliegenden Studie lag die Inzidenz von SCI insgesamt bei 18% und bei notfallmäßigen TAAA-Fällen sogar bei 38%. Eine systematische Übersichtsarbeit von sieben Studien zur t-Branch Stentprothese ergab eine Gesamtrate von 12,2% SCI (Konstantinou et al. 2020). Bei einem ähnlich hohen Anteil dringlicher und

notfallmäßiger Patienten, kann dieser Unterschied in der SCI-Rate zwischen unserer Studie und der genannten Metaanalyse möglicherweise an einer anderen Aneurysmaausdehnung mit implizit höherer aortaler Überdeckung oder der differierenden klinischen Interpretation von leichten oder nur intermittierenden SCI-Symptomen liegen. In unserem Zentrum werden Patienten nach endovaskulärer Versorgung eines TAAA bei geringsten neurologischen Beschwerden fachneurologisch untersucht

Es besteht ein zentrumsspezifisches Protokoll zur Vermeidung von SCI. Dieses Protokoll beinhaltet unter anderem die postoperative Anhebung des mittleren arteriellen Blutdruckes (MAP) auf  $> 80$  mmHg, die selektive prä- oder therapeutische postoperative Anlage einer Liquordrainage sowie Indikationsgrenzen für Bluttransfusionen.

Die Erhaltung des Blutflusses zur linken A. subclavia und A. iliaca interna beidseits ist wichtig um das Risiko einer SCI zu verringern, da diese Gefäße zum Kollateralsystem der A. spinalis anterior beitragen. Besteht bei der endovaskulären Versorgung eines TAAA die Notwendigkeit der Überdeckung einer dieser Abgänge, wird dieser in der Regel durch einen Carotis-Subclavia-Bypass und/oder die Verwendung einer Iliakalen Seitenastprothese revaskularisiert (Spanos et al. 2019). Beim Vorliegen von Stenosen der A. iliaca interna, wird intraoperativ die Indikation zur Stentangioplastie in der Regel großzügig gestellt (Gronert et al. 2022).

Im Allgemeinen ist das Risiko für eine SCI hoch, wenn zwei oder mehr der vier Gefäßterritorien (linke Arteria subclavia, Interkostalarterien, Lumbalarterien und die Arteria iliaca interna beidseits) teilweise oder vollständig beeinträchtigt sind (Czerny et al. 2012). Es besteht außerdem ein höheres Risiko von SCI bei Patienten, die lange Operationszeiten benötigen oder einen erhöhten Blutverlust erleiden. In einigen Fällen kann es sinnvoll sein, einen Seitenast oder eine iliakale Verlängerung vorübergehend offen zu belassen und die vollständige Ausschaltung des TAAA erst einige Tage später unter lokaler Anästhesie durchzuführen, um das Risiko von SCI durch dieses Staging zu minimieren.

Die Offenheit der Bridging-Covered-Stents und deren Zielgefäße war in dieser Studie hoch und vergleichbar mit den zuvor berichteten Daten anderer Studien (Eleshra et al., 2020; Wolosker et al. 2017; Tenorio et al. 2020). Während der Nachbeobachtung wurden Reinterventionen bei insgesamt 6% der Patienten erforderlich, die erfolgreich mit endovaskulären oder hybriden Verfahren durchgeführt werden konnten. Diese Reinterventionsrate ist geringer im Vergleich zu Silingardi et al. (2018) und Fernandez et al. (2016), bei denen sie 14% bzw. 36% betragen. In der aktuellen Studie zeigte die Anwendung der t-Branch Stentprothese für die Behandlung von TAAAs eine hohe technische Erfolgsrate in allen Gruppen und bestätigt die Machbarkeit und Sicherheit dieses Implantats in dringenden und Notfall-Eingriffen mit dem Vorteil der sofortigen Verfügbarkeit.

Einschränkungen dieser Studie sind ihr retrospektiver Charakter und die eingeschränkte Nachbeobachtungszeit. Die Anzahl der Patienten in jeder Gruppe war während der Nachbeobachtung hierbei geringer als die für die Kaplan-Meier-Überlebensanalyse erforderliche Grenze. Nichtsdestotrotz wurde in dieser Studie eine hochspezifische Patientenkohorte untersucht, um Unterschiede in Verfahrensdetails und frühen Ergebnissen zwischen elektiven, dringenden und Notfall-Indikationen zu untersuchen.

Die vorliegende Studie legt nahe, dass die Behandlung von TAAA-Patienten mit der t-Branch Stentprothese eine vielversprechende minimal-invasive Behandlungsoption darstellt, insbesondere bei elektiven Fällen. Die Ergebnisse zeigen jedoch auch, dass eine sorgfältige Patientenauswahl und eine angemessene Risikobewertung unerlässlich sind, um gute Behandlungsergebnisse zu erzielen.

In zukünftigen Forschungsarbeiten sollten prospektive Studien durchgeführt werden, um die Wirksamkeit und Sicherheit der t-Branch Stentprothese bei der Behandlung von TAAA-Patienten zu untersuchen. Die Entwicklung und Implementierung von Protokollen und ergänzenden Techniken zur Prävention von SCI und Blutungskomplikationen scheinen hierbei ebenfalls von großer Relevanz.

Auch wäre die Durchführung von multizentrischen Studien interessant, um die Ergebnisse der t-Branch Stentprothese in verschiedenen Zentren zu validieren und die Generalisierbarkeit der Ergebnisse zu untersuchen. Darüber hinaus sollten



Langzeitergebnisse der Behandlung mit der t-Branch-Stentprothese in größeren Patientenpopulationen untersucht werden. Hierbei könnte insbesondere auch der Vergleich zwischen der t-Branch Stentprothese und anderen minimal-invasiven Behandlungsmethoden interessant sein.

## **5 Zusammenfassung**

Die vorliegende Studie vergleicht die kurz- und mittelfristigen Ergebnisse der elektiven, dringenden und notfallmäßigen Behandlung von TAAAs unter Verwendung der t-Branch Stentprothese. Die Ergebnisse zeigen, dass die Dringlichkeit der Behandlung wahrscheinlich einen erheblichen Einfluss auf die Frühergebnisse mit in der Notfallgruppe resultierenden höheren Komplikationsraten hat. Die technische Erfolgsrate war in allen drei Gruppen hoch, was darauf hinweist, dass die Komplikationshäufigkeit nicht auf das Verfahren selbst, sondern wahrscheinlich auf die durch die Ruptur verursachte hämodynamische Instabilität der Patienten zurückzuführen ist. Die Studie ergab auch, dass das Auftreten von schweren Formen der SCI bei notfallmäßigen TAAA-Fällen signifikant höher waren. Obwohl die Studie Einschränkungen aufweist, wie ihren retrospektiven Charakter und die eingeschränkte Nachbeobachtungszeit, bietet sie wertvolle Erkenntnisse zur Verwendung der t-Branch Stentprothese bei der Behandlung von TAAA-Patienten in verschiedenen klinischen Szenarien.

### **Summary**

The present study demonstrates short- and midterm outcomes of endovascular aortic repair of TAAAs using the t-Branch multibranched endograft in elective, urgent and emergent patients. The Results demonstrate that the urgency of the endovascular repair appeared to have a significant impact on the early outcomes and major complications. The technical success was high in all three groups, which indicates that the risk of complications was not associated with the procedure itself but with the hemodynamic instability of patients with ruptured TAAAs. Furthermore, this study showed that paraplegia rate was significantly more frequent in emergent cases. Despite some limitations of this study, which include the retrospective character and the limited follow-up period, this study allows for valuable insights in the use of t-Branch endograft for TAAA-patients in varying clinical scenarios.

## 6 Literaturverzeichnis

- Aggarwal S, Qamar A, Sharma V, Sharma A (2011) Abdominal aortic aneurysm: A comprehensive review. *Exp Clin Cardiol.* 16 (1):11-15.
- Bickerstaff LK, Pairolero PC, Hollier LH, Melton LJ, Van Peenen HJ, Cherry KJ, Joyce JW, Lie JT(1982) Thoracic aortic aneurysms: a population-based study. *Surgery.* 92(6):1103-1108.
- Caschera L, Lazzara A, Piergallini L, Ricci D, Tuscano B, Vanzulli A (2016) Contrast agents in diagnostic imaging: Present and future. *Pharmacol Res.* 110:65-75.
- Chuter TA, Gordon RL, Reilly LM, Goodman JD, Messina LM (2001) An endovascular system for thoracoabdominal aortic aneurysm repair. *J Endovasc Ther.* 8(1):25-33.
- Coselli JS, LeMaire SA, Preventza O, de la Cruz KI, Cooley DA, Price MD, Stolz AP, Green SY, Arredondo CN, Rosengart TK(2016) Outcomes of 3309 thoracoabdominal aortic aneurysm repairs. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 151(5):1323-1337.
- Coselli JS, Amarasekara HS, Zhang Q, Preventza O, de la Cruz KI, Chatterjee S, Price MD, Green SY, LeMaire SA(2018) The impact of preoperative chronic kidney disease on outcomes after Crawford extent II thoracoabdominal aortic aneurysm repairs. *J Thorac Cardiovasc Surg* 156(6):2053-2064.
- Czerny M, Eggebrecht H, Sodeck G, Verzini F, Cao P, Maritati G, Riambau V, Beyersdorf F, Rylski B, Funovics M, Loewe C, Schmidli J, Tozzi P, Weigang E, Kuratani T, Livi U, Esposito G, Trimarchi S, van den Berg JC, Fu W, Chiesa R, Melissano G, Bertoglio L, Lonn L, Schuster I, Grimm M(2012) Mechanisms of symptomatic spinal cord ischemia after TEVAR: insights from the European Registry of Endovascular Aortic Repair Complications (EuREC). *J Endovasc Ther.* 19(1):37-43.

- Dake MD, Miller DC, Semba CP, Mitchell RS, Walker PJ, Liddell RP(1994) Transluminal placement of endovascular stent-grafts for the treatment of descending thoracic aortic aneurysms. *N Engl J Med.* 331(26):1729-1734.
- Dapunt OE, Galla JD, Sadeghi AM, Lansman SL, Mezrow CK, de Asla RA, Quintana C, Wallenstein S, Ergin AM, Griep RB(1994) The natural history of thoracic aortic aneurysms. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 107(5):1323-1333.
- Davies RR, Goldstein LJ, Coady MA, Tittle SL, Rizzo JA, Kopf GS, Elefteriades JA(2002) Yearly rupture or dissection rates for thoracic aortic aneurysms: simple prediction based on size. *Ann Thorac Surg.* 73(1):17-28.
- Deng J, Liu J, Cao L, Wang Q, Zhang H, Liu X, Guo W(2020) The Association between Hyperhomocysteinemia and Thoracoabdominal Aortic Aneurysms in Chinese Population. *Biomed Res Int.* 2020:4691026.
- Eleshra A, Oderich GS, Spanos K, Panuccio G, Kärkkäinen JM, Tenorio ER, Kölbel T(2020) Short-term outcomes of the t-Branch off-the-shelf multi-branched stent graft for reintervention after previous infrarenal aortic repair. *J Vasc Surg.* 72(5):1558-1566.
- Escobar GA, Upchurch GR Jr.(2011) Management of thoracoabdominal aortic aneurysms. *Curr Probl Surg.* 48(2):70-133.
- Fernandez CC, Sobel JD, Gasper WJ, Vartanian SM, Reilly LM, Chuter TA, Hiramoto JS(2016) Standard off-the-shelf versus custom-made multibranched thoracoabdominal aortic stent grafts. *J Vasc Surg.* 63(5):1208-1215.
- Fletcher JG, Kofler JM, Coburn JA, Bruining DH, McCollough CH(2013) Perspective on radiation risk in CT imaging. *Abdom Imaging.* 38(1):22-31.
- Frederick JR, Woo YJ(2012) Thoracoabdominal aortic aneurysm. *Ann Cardiothorac Surg.* 1(3):277-285.
- Geisbüsch S, Kuehnl A, Salvermoser M, Reutersberg B, Trenner M, Eckstein HH (2019) Editor's Choice - Hospital Incidence, Treatment, and In Hospital Mortality Following Open and Endovascular Surgery for Thoraco-abdominal Aortic Aneurysms in Germany from 2005 to 2014: Secondary

- Data Analysis of the Nationwide German DRG Microdata. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 57(4):488-498.
- Greenberg RK, Lu Q, Roselli EE, Svensson LG, Moon MC, Hernandez AV, Dowdall J, Cury M, Francis C, Pfaff K, Clair DG, Ouriel K, Lytle BW. (2008) Contemporary analysis of descending thoracic and thoracoabdominal aneurysm repair: a comparison of endovascular and open techniques. *Circulation* 118(8):808-817.
- Gronert C, Panuccio G, Eleshra A, Rohlfes F, Debus ES, Tsilimparis N, Kölbel T. (2022) Feasibility and Preliminary Patency of Prophylactic Hypogastric Artery Stenting for Prevention of Spinal Cord Ischemia in Complex Endovascular Aortic Repair. *Ann Vasc Surg.* 80:241-249.
- Gunn TM, Gupta VA, Nadig V, Sorrell VL, Saha SP (2019) Ascending Aortic Aneurysm. In *Diseases of the Aorta*. R. S. Dieter, R. A. Dieter Jr, R. A. Dieter III, (Hrg.)Springer Nature Switzerland, 161-174.
- Isselbacher EM, Preventza O, Hamilton Black J 3rd, Augoustides JG, Beck AW, Bolen MA, Braverman AC, Bray BE, Brown-Zimmerman MM, Chen EP, Collins TJ, DeAnda A Jr, Fanola CL, Girardi LN, Hicks CW, Hui DS, Schuyler Jones W, Kalahasti V, Kim KM, Milewicz DM, Oderich GS, Ogbachie L, Promes SB, Gyang Ross E, Schermerhorn ML, Singleton Times S, Tseng EE, Wang GJ, Woo YJ(2022) ACC/AHA Guideline for the Diagnosis and Management of Aortic Disease: A Report of the American Heart Association/American College of Cardiology Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation.* 146(24):334-482.
- Ito S, Akutsu K, Tamori Y, Sakamoto S, Yoshimuta T, Hashimoto H, Takeshita S (2008) Differences in atherosclerotic profiles between patients with thoracic and abdominal aortic aneurysms. *Am J Cardiol.* 101(5):696-699.
- Johnston KW, Rutherford RB, Tilson MD, Shah DM, Hollier L, Stanley JC(1991) Suggested standards for reporting on arterial aneurysms. Subcommittee on Reporting Standards for Arterial Aneurysms, Ad Hoc Committee on Reporting Standards, Society for Vascular Surgery and North American

- Chapter, International Society for Cardiovascular Surgery. *J Vasc Surg.* 13(3):452-458.
- Juvonen T, Ergin MA, Galla JD, Lansman SL, Nguyen KH, McCullough JN, Levy D, De Asla R, Bodian CA, Griep RB (1997) Prospective study of the natural history of thoracic aortic aneurysms. *The Annals of thoracic surgery* 63(6):1533-1545.
- Juvonen T, Ergin MA, Galla JD, Lansman SL, McCullough JN, Nguyen K, Bodian CA, Ehrlich MP, Spielvogel D, Klein JJ, Griep RB (1999) Risk factors for rupture of chronic type B dissections. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 117(4):776-786.
- Kalder J, Kotelis D, Jacobs MJ (2016) Thorakoabdominelles Aortenaneurysma. *Chirurg* 87:797–810.
- Koeppel T, Greiner A, Jacobs M (2010) Thorakoabdominelle Aortenaneurysmen. *Gefäßchirurgie* 15:505–510.
- Kölbel T, Spanos K, Jama K, Behrendt CA, Panuccio G, Eleshra A, Rohlfes F, Jakimowicz T (2021) Early outcomes of the t-Branch off-the-shelf multi-branched stent graft in 542 patients for elective and urgent aortic pathologies: A retrospective observational study. *J Vasc Surg.* 74(6):1817-1824.
- Konstantinou N, Antonopoulos CN, Jerkku T, Banafsche R, Kölbel T, Fiorucci B, Tsilimparis N (2020) Systematic review and meta-analysis of published studies on endovascular repair of thoracoabdominal aortic aneurysms with the t-Branch off-the-shelf multibranched endograft. *J Vasc Surg.* 72(2):716-725.
- Meester JAN, Verstraeten A, Schepers D, Alaerts M, Van Laer L, Loeys BL (2017) Differences in manifestations of Marfan syndrome, Ehlers-Danlos syndrome, and Loeys-Dietz syndrome. *Ann Cardiothorac Surg.* 6(6):582-594.
- Pande R L, Beckman J A (2013) Chapter 37 – Pathophysiology, Epidemiology, and Prognosis of Aortic Aneurysms. In: *Vascular Medicine: A Companion to Braunwald's Heart Disease*. M.A.Creager, J.A.Beckman, J.Loscalzo (Hrg.) Philadelphia, PA: Elsevier Saunders, 457-470.

- Riambau V, Böckler D, Brunkwall J, Cao P, Chiesa R, Coppi G, Czerny M, Fraedrich G, Haulon S, Jacobs MJ, Lachat ML, Moll FL, Setacci C, Taylor PR, Thompson M, Trimarchi S, Verhagen HJ, Verhoeven EL, Esvs Guidelines Committee, Kolh P, de Borst GJ, Chakfé N, Debus ES, Hinchliffe RJ, Kakkos S, Koncar I, Lindholt JS, Vega de Ceniga M, Vermassen F, Verzini F, Document Reviewers, Kolh P, Black JH 3rd, Busund R, Björck M, Dake M, Dick F, Eggebrecht H, Evangelista A, Grabenwöger M, Milner R, Naylor AR, Ricco JB, Rousseau H, Schmidli J (2017) Editor's Choice - Management of Descending Thoracic Aorta Diseases: Clinical Practice Guidelines of the European Society for Vascular Surgery (ESVS). *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 53(1):4-52.
- Safi HJ, Miller CC 3rd (1999) Spinal cord protection in descending thoracic and thoracoabdominal aortic repair. *Ann Thorac Surg.* 67(6):1937-1939; discussion 1953-1958.
- Schneider C.A., Beuckelmann D. (2009) Chronisches thorakales Aortenaneurysma. In: *Klinische Kardiologie - Krankheiten des Herzens, des Kreislaufs und der herznahen Gefäße.* E. Erdmann (Hrg.) Springer, Heidelberg, 429-430.
- Sieber D (2020) Die periphere arterielle Verschlusskrankheit, Aortenaneurysma. In: *Repetitorium Facharztprüfung Innere Medizin.* M. Ludwig (Hrg.) Urban & Fischer Elsevier GmbH, 2-24.
- Silingardi R, Gennai S, Leone N, Gargiulo M, Faggioli G, Cao P, Verzini F, Ippoliti A, Tusini N, Ricci C, Antonello M, Chiesa R, Marone E M, Mangialardi N, Speciale F, Veraldi G F, Bonardelli S, Marcheselli L, Lonardi R, Saitta G, Lauricella A, Ferrer C, Simonte G, Pratesi G, Fontana A, Lucatelli P, Dall'Antonia A, Bertoglio L, Ronchey S, Mansour W, Mezzetto L, Cuomo R (2018) Standard “off-the-shelf” multibranched thoracoabdominal endograft in urgent and elective patients with single and staged procedures in a multicenter experience. *J Vasc Surg* 67:1005-1016.

- Spanos K, Kölbel T, Theodorakopoulou M, Heidemann F, Rohlffs F, Debus ES , Tsilimparis N (2018) Early Outcomes of the t-Branch Off-the-Shelf Multi-branched Stent-Graft in Urgent Thoracoabdominal Aortic Aneurysm Repair. *J ENDOVASC THER.* 25(1):31-39.
- Spanos K, Kölbel T, Kubitz JC, Wipper S, Konstantinou N, Heidemann F, Rohlffs F, Debus SE, Tsilimparis N (2019) Risk of spinal cord ischemia after fenestrated or branched endovascular repair of complex aortic aneurysms. *J Vasc Surg.* 69(2):357-366.
- Stein, LH, Elefteriades, JA (2011). Epidemiology and Natural History of Thoraco-Abdominal Aortic Aneurysms. In: Thoraco-Abdominal Aorta. Chiesa R, Melissano G, Zangrillo A (Hrg.) Springer, Milano, 25-32.
- Stoecker JB, Wang GJ(2021) Epidemiology of thoracoabdominal aortic aneurysms. *Semin Vasc Surg.* 34(1):18-28.
- Tenorio ER, Kärkkäinen JM, Mendes BC, DeMartino RR, Macedo TA, Diderrich A, Hofer J, Oderich GS (2020) Outcomes of directional branches using self-expandable or balloon-expandable stent grafts during endovascular repair of thoracoabdominal aortic aneurysms. *J Vasc Surg.* 71(5):1489-1502.
- Upchurch GR Jr., Schaub TA (2006) Abdominal aortic aneurysm. *Am Fam Physician.* 73(7):1198-1204.
- Vlahos I, Chung R, Nair A, Morgan R (2012) Dual-energy CT: vascular applications. *AJR Am J Roentgenol.* 199(5):87-97.
- Wanhainen A, Verzini F, Van Herzele I, Allaire E, Bown M, Cohnert T, Dick F, van Herwaarden J, Karkos C, Koelemay M, Kölbel T, Loftus I, Mani K, Melissano G, Powell J, Szeberin Z, Esvs Guidelines Committee, de Borst GJ, Chakfe N, Debus S, Hinchliffe R, Kakkos S, Koncar I, Kolh P, Lindholt JS, de Vega M, Vermassen F, Document Reviewers, Björck M, Cheng S, Dalman R, Davidovic L, Donas K, Earnshaw J, Eckstein HH, Golledge J, Haulon S, Mastracci T, Naylor R, Ricco JB, Verhagen H (2019) Editor's Choice - European Society for Vascular Surgery (ESVS) Clinical Practice Guidelines on the Management of Abdominal Aorto-iliac Artery Aneurysms. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 57(1):8-93.



- Wolosker N, Fioranelli A, Ferreira M, Tachibana A, Lembrança L, Oliveira C (2017) Endovascular Repair of Ruptured Thoracoabdominal Aortic Aneurysm with an Off-the-shelf Endoprosthesis. *Ann Vasc Surg.* 43:312.e1-312.e4.
- Zafar MA, Chen JF, Wu J, Li Y, Papanikolaou D, Abdelbaky M, Faggion Vinholo T, Rizzo JA, Ziganshin BA, Mukherjee SK, Elefteriades JA (2021) Yale Aortic Institute Natural History Investigators. Natural history of descending thoracic and thoracoabdominal aortic aneurysms. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 161(2):498-511.

## **7 Danksagung**

An dieser Stelle danke ich Professor Kölbl für die großartige Möglichkeit am Aortenzentrum zu promovieren. Dank seines umfassenden Wissens und unermüdlichen Forschungsgeistes konnte diese Arbeit entstehen.

Als treibende Kraft, immer mit Rat und Tat zur Stelle, motivierend und lösungsorientiert unterstützte mein Kollege Dr.med. Benjamin Claus meine Arbeit.

## **8 Lebenslauf**

**Persönliches** Mohamed Mahmoud Elaraby Elsayed Hatm  
geboren am 1. Januar 1986 in Al Gharbeya, Ägypten

### **Hochschulstudium**

09/2002 – 01/2009 Studium der Humanmedizin, Fakultät für Medizin, Tanta  
Universität, Ägypten

03/2009 – 03/2010 Praktisches Jahr im Universitätsklinikum Tanta, Ägypten  
(Allgemeine Chirurgie, Gynäkologie und Geburtshilfe, Kin-  
derheilkunde, Innere Medizin, Dermatologie, Ophthalmolo-  
gie, Notfallmedizin)

### **Dissertation**

03/2019 – 10/2023 Early Outcomes of t-Branch Off-the-Shelf Multibranched  
Stent-Graft in Urgent and Emergent Repair of  
Thoracoabdominal Aortic Aneurysm

Deutsches Aortenzentrum, Universitätsklinikum Hamburg-  
Eppendorf,

Prof. Dr. med. Tilo Kölbel

### **Beruf**

seit 01/ 2018 Oberarzt der Gefäßchirurgie in der Asklepios Klinik St.  
Georg

## **9 Eidesstattliche Erklärung**

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Unterschrift: .....