

Aus dem

CharitéCentrum für Chirurgische Medizin

Klinik für Gefäßchirurgie

Direktor: Prof. Dr. med.univ. Andreas Greiner

Habilitationsschrift

Management von Standard- und komplexen Aorten Pathologien

zur Erlangung der Lehrbefähigung

für das Fach Gefäßchirurgie

vorgelegt dem Fakultätsrat der Medizinischen Fakultät

Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Dr. med. Safwan Omran

Eingereicht: Oktober 2022

Dekan: Prof. Dr. med. Axel Radlach Pries

1. Gutachter*in: Prof. Dr. Christian Reeps, Dresden

2. Gutachter*in: Prof. Dr. Nikolaos Tsilimparis, München

Inhalt

1	Abkürzungsverzeichnis	4
2	Einleitung.....	6
2.1	Definitionen.....	6
2.2	Therapieoptionen nach Lokalisation	6
2.2.1	Aorta ascendens und Aortenbogen.....	7
2.2.2	Aorta descendens.....	7
2.2.3	Juxta- und suprarenale Aortenaneurysmen.....	10
2.2.4	Infrarenale Aorta	11
2.3	Spezielle Pathologien und rezidive Chirurgie der Aorta.....	12
2.3.1	Rupturierte Aortenaneurysmen	12
2.3.2	Aortendissektion	13
2.3.3	Aorto-enterale und bronchiale Fistel	13
2.3.4	Aorto-cavale Fistel.....	14
2.3.5	Aortenprotheseninfektionen.....	14
2.3.6	Endoleaks nach einer endovaskulären Therapie.....	15
2.4	Struktur und Fragestellungen dieser Arbeit.....	17
3	Eigene Arbeiten	18
3.1	Outcomes of Endurant II stent-graft according to Anatomic Severity Grade score	18
3.2	Preoperative and ICU scoring models in predicting the in-hospital mortality of patients with ruptured abdominal aortic aneurysms	29
3.3	Management of Tumor- and Nontumor-related Aorto-esophageal and Aorto-bronchial Fistulas.....	39
3.4	Neoortoiliac system and cryopreserved human allograft for the treatment of aortic graft infections	53
3.5	Aortoduodenal fistulas after endovascular abdominal aortic aneurysm repair and open aortic repair	63
3.6	Isolated Ruptured Paravisceral Penetrating Aortic Ulcers	75
4	Diskussion	87
4.1	Beitrag der vorgestellten Arbeiten.....	88
4.2	Standard Aorten Chirurgie	91
4.3	Komplexe Aorten Chirurgie	91
4.4	Aneurysmalokalisation	91
4.5	Anatomische Faktoren	92
4.6	Rezidiveingriffe an der Aorta.....	93
4.7	Rupturierte Aortenaneurysma	93
5	Zusammenfassung.....	94

6	Literature Cited	95
7	Danksagung	102
8	Erklärung	103

1 Abkürzungsverzeichnis

IFU: Instructions for Use

EVAR: Endovascular Aortic Repair

TEVAR: Thoracic Endovascular Aortic Repair

fEVAR: Fenestrated Endovascular Aortic Repair

bEVAR: Branched Endovascular Aortic Repair

ChEVAR: chimney endovascular aortic repair

PAU: Penetrierende Aortenulzeration

PV-PAU: para-viszerale penetrierende Aortenulzeration

ASG Score: Anatomical Severity Grading Score

SVS: Society for Vascular Surgery

AAVS: American Association for Vascular Surgery

RAAA: Rupturiertes abdominale Aortenaneurysma

AUC: area under the curve

APACHE II: Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II

VSGNE: Vascular Study Group of New England

SAPS II: Simplified Acute Physiology Score II

GAS: Glasgow Aneurysm Score

SOFA score: Sepsis-related Organ Failure Assessment Score

ICU: intensive care unit

AEF: aorto-ösophageale Fistel

ABF: aorto-bronchiale Fistel

TR: Tumor-related

NTR: Non-Tumor-related

NAIS: neoortoiliac system

CHA: cryopreserved human allograft

ADF: aorto-duodenale Fistel

PPEF: paraprothetische enterische Fistel

ISR: in situ reconstruction

EAR: extra-anatomic reconstruction

2 Einleitung

Aufgrund der Entwicklung von Technologie und chirurgischen Verfahren ist die Aorten Chirurgie zu einem routinemäßigen chirurgischen Eingriff geworden. Die Sterblichkeits- und Morbiditätsraten haben sich in den letzten Jahrzehnten aufgrund eines verbesserten perioperativen Managements stetig verbessert. Trotz dieser Entwicklung bleibt die Behandlung der „komplexen“ Aorta eine große Herausforderung für Chirurgen und Anästhesisten (1).

2.1 Definitionen

Der Begriff „Standard“-Aorten Chirurgie hängt in den meisten Fällen vom geplanten chirurgischen Eingriff ab. Er bezeichnet einige morphologische und anatomische Kriterien, die ein gutes und problemloses Vorgehen bei der Aortenoperation vorhersagen können (1, 2). Aus diesem Grund tauchen Begriffe wie „Standard-EVAR-Chirurgie“, oder „Standard-offene-Aorten Chirurgie“ eher in der Alltagssprache der Gefäßchirurgen auf. Mit der Weiterentwicklung zahlreicher neuer Modalitäten in der minimalinvasiven Aorten Chirurgie, und der Standardisierung von Aorteneingriffen werden neue Begriffe wie „Standard-TEVAR“, „Standard-Iliac-Side-Branch“ oder „Standard-fEVAR“ möglicherweise häufiger in der Sprache der Gefäßchirurgen verwendet (3). Bei der Standard-EVAR-Operation handelt es sich in den meisten Fällen um ein infrarenales Aortenaneurysma mit einer proximalen Halslänge von mindestens 10 mm und einer ausreichenden iliakalen Landezone.

Darüber hinaus bedeutet „Standard-offene-Aorten Chirurgie“ eine Operation, bei der eine infrarenale Klemmung der Aorta möglich ist.

Für die komplexe Aorten Chirurgie gibt es in der Literatur keine klare oder einheitliche Definition (4). Die meisten Definitionen der „komplexen“ Aorta basieren auf morphologischen und anatomischen Abweichungen von den EVAR-Gebrauchsanweisungen (Instructions for Use, IFU) oder auf der Ausdehnung des Aneurysmas oberhalb der Nierenarterien. In diese Kategorie fallen juxta- und supra-renale Aneurysmen, sowie thorakale und thorako-abdominelle Aneurysmen, die keine proximale und distale Landungszone aufweisen (5, 6). Andere Kriterien wie Ruptur oder Infektion der Aorta sind in diesen Definitionen nicht enthalten.

2.2 Therapieoptionen nach Lokalisation

Die wichtigsten Indikationen für einen Eingriff an der Aorta sind Aneurysma, Ruptur, Dissektion, penetrierende Aortenulzeration (PAU), und Okklusionen. Außerdem sind

Komplikationen aus vorangegangenen Aortenoperationen wie Infektion, Verschluss, oder Pseudoaneurysma eine Indikation zur Reoperation. Technik und Ablauf der Aortenchirurgie hängen vom betroffenen Abschnitt der Aorta ab. Beispielsweise sollte ein Aneurysma operiert werden, wenn das Risiko einer Spontanruptur das Operationsrisiko übersteigt. Diese Risiken hängen von der Ausdehnung des Aneurysmas und dem Allgemeinzustand des Patienten ab (1).

2.2.1 Aorta ascendens und Aortenbogen

Die offene chirurgische Therapie von Aneurysmen in der Nähe des Herzens und des Aortenbogens werden mit einer Herz-Lungen-Maschine durchgeführt (7). Der Zugang zum Herzen erfolgt über eine mediane Sternotomie. Zunächst wird das Aneurysma freigelegt und eröffnet. Der betroffene Gefäßabschnitt wird nun durch eine röhrenförmige Kunststoffprothese (Dacron-Prothese) ersetzt. Der Aortenbogen kann dann teilweise oder vollständig ersetzt werden.

Thorakale endovaskuläre Stentimplantationen (TEVAR) und Hybrid Aortenbogenreparaturen sind in bestimmten Fällen eine Alternative zur offenen thorakalen Aortentherapie (6–8).

2.2.2 Aorta descendens

Die Therapieoptionen für Pathologien der Aorta descendens umfassen mehrere Optionen, einschließlich offener, endovaskulärer und hybrider Chirurgie.

2.2.2.1 Offene chirurgische Option

Thorako-abdominelle Aneurysmen werden nach der Crawford-Klassifikation klassifiziert (**Tabelle 1**). Das chirurgische Vorgehen variiert je nach Lokalisation und Ausdehnung des Aortenaneurysmas. Die offene chirurgische Behandlung beinhaltet eine laterale Thorakotomie in der rechten Seitenlage, die eine Ein-Lungen-Ventilation erfordert.

Tabelle 1: Safi-Modifikation der Crawford TAAA-Klassifikation (9)

Typ	Befund
I	Veränderungen von dem Ursprung der linken A. subclavia bis oberhalb der Nierenarterienabgänge
II	Veränderungen von der A. subclavia bis zur Aortenbifurkation
III	Veränderungen der distalen Hälfte der Aorta descendens bis zur Aortenbifurkation
IV	Veränderungen begrenzt auf die abdominelle Aorta unterhalb des Zwerchfells
V	Veränderungen der distalen Hälfte der Aorta descendens bis zur Bauchaorta, ist aber auf das viszerale Segment beschränkt.

Obwohl die Inzidenz von Paraplegie und Querschnittslähmung zurückgegangen ist, sind andere schwerwiegende postoperative Komplikationen, die Herz, Lunge, Nieren, Leber und Darm betreffen, immer noch häufig (10). Darüber hinaus ist die offene Operation der absteigenden Aorta und der thorako-abdominellen Aorta weiterhin mit einer signifikanten Morbidität und Mortalität verbunden (11).

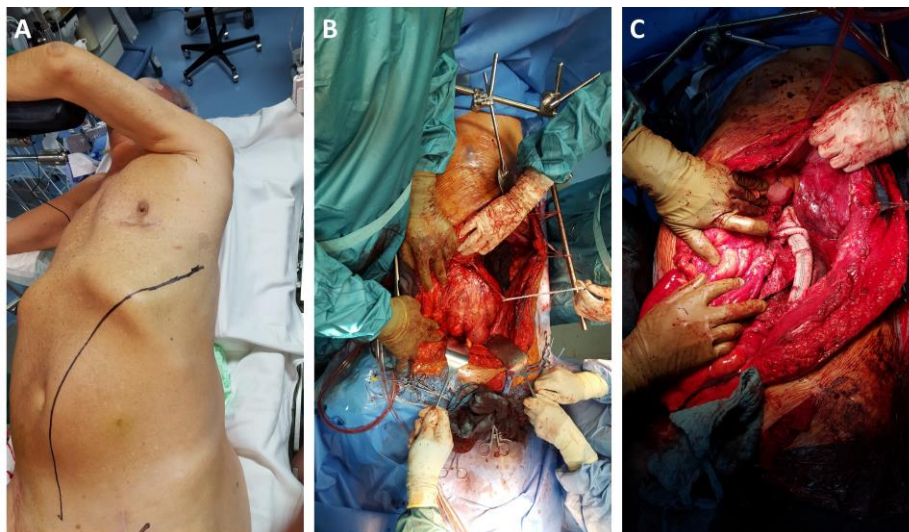


Abbildung 1: Offene Aortenreparatur eines thorako-abdominellen Aortenaneurysmas

Wenn der Aortenbogen nicht pathologisch verändert ist, kann der Ersatz des pathologisch veränderten Anteils der Aorta descendens durch Ausklemmen der Aorta descendens durchgeführt werden (Abb. 1). In diesem Fall muss die distale Perfusion durch einen Linksherz-Bypass gewährleistet werden (12).

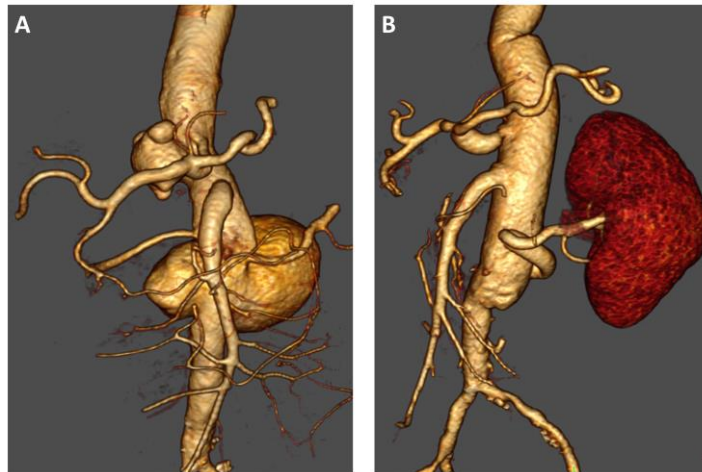


Abbildung 2: (A): 59-jähriger Patient mit einem thorako-abdominellen Aortenaneurysma. (B): Postoperative CT-Angiographie nach einem Typ-2-Aortenrepair.

2.2.2.2 Endovaskuläre Optionen der thorakalen und thorako-abdominellen Pathologien

Durch die Entwicklung thorakaler (TEVAR; thoracic endovascular aortic repair), fenestrierter (FEVAR, fenestrated endovascular aortic repair), Schornstein (ChEVAR, chimney endovascular aortic repair), und verzweigter (BEVAR, branched endovascular aortic repair) Stent-grafts kann das thorako-abdominelle Aortenaneurysma heute endovaskulär behandelt werden.

Die endovaskuläre Therapie bietet im Fall von thorakao-abdominellen Aortenaneurysmen vergleichbare langfristige Ergebnisse und ist weniger invasiv mit reduzierter postoperativer Morbidität und Mortalität im Vergleich zur offenen Operation (13).

Bei der Indikationsstellung zur Behandlung von thorakalen und thorako-abdominellen Aortenaneurysmen sollten mehrere anatomische und patientenspezifische Faktoren berücksichtigt werden.

Beschränken sich die krankhaften Veränderungen der Aorta auf die Aorta descendens, kann eine einfache TEVAR eingesetzt werden. Wenn das viszerale Segment betroffen ist, kann je nach Durchmesser der Aorta descendens und je nach Abgang der jeweiligen Viszeralarterien entweder eine fenestrierte, verzweigte Prothese oder ein Schornsteinstent platziert werden.

2.2.2.3 Hybridverfahren (viszerales und zervikales Debranching)

Die Hybridintervention ist eine Kombination aus offenen Operationstechniken und minimal-invasiven endovaskulären Techniken. Zu den hybriden Eingriffen bei thorako-abdominellen Aortenläsionen gehört das sogenannte viszerale und zervikale Debranching, das darauf abzielt,

die proximalen und distalen Landezonen zu erweitern und endovaskuläre Verfahren zu ermöglichen oder vereinfachen (14). In den meisten Fällen wird dies als zweistufiges Verfahren durchgeführt. Es besteht aus einem initialen Debranching aller Viszeralarterien oder zervikalen Arterien. Im zweiten Schritt, nachdem sich der Patient kurz erholt hat, wird das gesamte Aneurysma saniert, indem ein Stent-Graft implantiert wird, um die Durchblutung des Aneurysmasacks zu beseitigen.

Die Eingriffe, die das zervikale Debranching umfassen, sind der linksseitige Carotis-Subclavia-Bypass, Transposition der A. subclavia auf die A. carotis communis sowie der Carotis-Carotis-Subclavia Bypass (Abb.2).

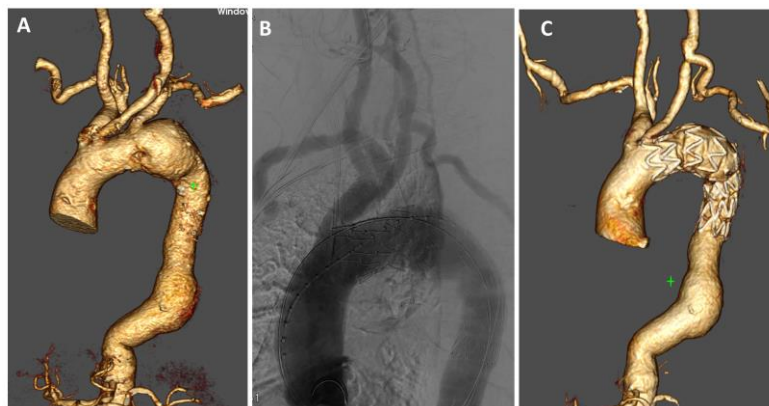


Abbildung 3: (A): 82-jähriger Patient mit einem thorakalen Aortenaneurysma. (B): Intraoperative Angiographie nach Carotis-Subclavia Bypass und TEVAR. (C): Postoperative CT-Angiographie Kontrolle

Bei dem viszeralem Hybrideingriff (klassische Oktopus-Chirurgie) wird zunächst die infrarenale Aorta präpariert und je nach Ausmaß der Aortenpathologie mit oder ohne Rohr- oder Bifurkationsprothese versorgt (15).

Dann wird eine Bi- bzw. Trifurkationsprothese oder eine spezialangefertigte Prothese mit 4 Schenkeln an der infrarenalen Aorta oder den Beckengefäßen anastomosiert. Nach der Freilegung wird die Prothese falls notwendig mit den Nierenarterien, der A. mesenterica superior und dem Truncus coeliacus anastomosiert.

Nachdem die viszerale und zervikale Debranching abgeschlossen sind, wird die Aorta gestentet und das Aneurysma ausgeschaltet (16).

2.2.3 Juxta- und suprarenale Aortenaneurysmen

Bauchaortenaneurysmen werden als juxtarenal klassifiziert, wenn ihre proximale Ausdehnung neben an den Ursprung der Nierenarterien angrenzt, diese aber nicht mit einbezieht (17). Ein AAA ist suprarenal, wenn es mindestens eine Nierenarterie betrifft und unterhalb der Zöliakal-

Achse endet. Die offene Reparatur der juxtarenalen AAAs erfordert eine interrenale oder suprarenale Klemmung der Aorta. Die Aortenreparatur wird normalerweise auf infrarenaler Ebene durchgeführt (18). Die offene Reparatur der suprarenalen AAAs erfordert oft eine suprazöliakale Klemmung der Aorta und die Rekonstruktion mindestens einer Nierenarterie mit direktem Anschluss oder Bypass.

Eine Reihe fortschrittlicher Endograft-Technologien wurde entwickelt, um die Verwendung von EVAR auf Aneurysmen mit komplexer Anatomie oberhalb der Nierenarterien auszuweiten, z. B. gefensterter EVAR (FEVAR), und Schornstein-Technik (ChEVAR) (19).

2.2.4 Infrarenale Aorta

2.2.4.1 Offene chirurgische Option

Bei der üblichen Technik zur Behandlung eines Aortenaneurysmas wird der Abschnitt V der Aorta von den Nierenarterienabgängen bis zur Bifurkation mit einer Kunststoffprothese (Dacron Prothese) ersetzt. Wenn die Beckenachse am pathologischen Prozess beteiligt ist, ist die Implantation einer Bifurkationsprothese zum Ersatz der Arteriae iliacae communes erforderlich.

2.2.4.2 Endovaskuläre Optionen der abdominalen Aortenaneurysmen

Seit den 1990er Jahren gibt es ein minimal-invasives Verfahren zur Behandlung von Aortenaneurysmen (20). Durch Ausschaltung des Aortenaneurysmas mit einem Aortenstent gilt die endovaskuläre Therapie seit einigen Jahren ein Standardverfahren zur Behandlung des abdominalen Aortenaneurysmas (AAA) (Abb. 3). EVAR kann unter Lokalanästhesie, Regionalanästhesie oder Intubationsnarkose durchgeführt werden. Darüber hinaus bietet der perkutane Zugang zur Femoralarterie ein weniger invasives Verfahren als der offene ("cut-down") Ansatz. Dadurch werden Leistenkomplikationen reduziert und die Genesungszeit des Patienten verkürzt (21).

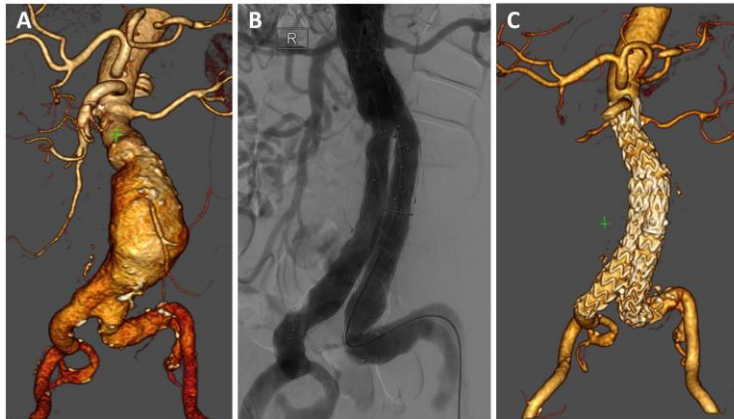


Abbildung 4: Ein Patient mit einem infrarenalen Bauchaortenaneurysma wurde mit EVAR behandelt.

Die technische Durchführbarkeit von EVAR hat spezifische anatomische Voraussetzungen. Zuvor wurden AAAs nach der Allenberg-Klassifikation in fünf Kategorien eingeteilt (22). Basierend auf dieser Klassifizierung kann die beste Behandlung (endovaskuläre oder offene Operation) vorgeschlagen werden. Diese Klassifizierung ist jedoch aufgrund erheblicher Fortschritte in der endovaskulären Therapie nur noch von begrenzter Bedeutung. Derzeit kann die anatomische Komplexität anhand des Anatomical Severity Grading Score (ASG Score) der Society for Vascular Surgery (SVS)/American Association for Vascular Surgery (AAVS) klassifiziert werden (23).

2.3 Spezielle Pathologien und rezidive Chirurgie der Aorta

2.3.1 Rupturierte Aortenaneurysmen

Die Ruptur ist die schwerwiegendste und fatalste Komplikation des Bauchaortenaneurysmas. Ihre Sterblichkeit ist trotz aller Verbesserungen in den letzten Jahrzehnten immer noch hoch. Die Gesamtsterblichkeitsrate von Patienten mit rAAA lag zwischen 67 und 94 Prozent (24).

Während EVAR nachweislich die frühe Morbidität und Mortalität im Vergleich zur konventionellen offenen Operation bei einem elektiven Eingriff reduziert, wurde die Notfall-EVAR in letzter Zeit auch erfolgreich zur Behandlung von RAAA eingesetzt, was seine Durchführbarkeit bei ausgewählten Patienten demonstriert (25). Es ist jedoch unklar, ob ein Notfall-EVAR zu signifikanten Verbesserungen der Ergebnisse für diese Patienten führen wird und ob es tatsächlich die konventionelle offene Reparatur als bevorzugte Behandlung für diese tödliche Erkrankung ersetzen kann.

Im Gegensatz dazu müssen alle für EVAR ungeeigneten RAAAs im Notfall offen chirurgisch repariert werden. Die offene Rekonstruktion eines rupturierten Bauchaortenaneurysmas sollte

aus verschiedenen Gründen von Gefäßchirurgen mit Erfahrung im Bereich der offenen Aortensanierung durchgeführt werden (26). Dies gilt auch für die Behandlung endovaskulärer Komplikationen, die eine offene chirurgische Konversion erfordern.

2.3.2 Aortendissektion

Eine Aortendissektion ist ein Riss, der in der inneren Schicht (Tunica intima) der Aorta auftritt. Blut strömt durch den Riss, wodurch die innere und mittlere Schicht der Aorta gespalten werden. Eine Aortendissektion ist relativ selten und tritt normalerweise bei Männern zwischen dem 60. und 70. Lebensjahr auf (27). Da die Symptome einer Aortendissektion denen anderer Krankheiten ähneln, kann sich die Diagnose verzögern. Wird die Aortendissektion jedoch frühzeitig erkannt und schnell behandelt, verbessern sich die Überlebenschancen erheblich.

Eine chirurgische Notfallbehandlung ist die bevorzugte Behandlung für die Stanford-Typ-A-Dissektion der Aorta ascendens und für komplizierte Stanford-Typ-B-Aortendissektionen. Mit dem Fortschritt in der Stenting-Technologie können in ausgewählten Fällen Dissektionen der absteigenden Aorta gestentet werden. Mehrere Konsensus-Statements empfehlen TEVAR als Therapie der ersten Wahl bei akuter komplizierter Aortendissektion vom Typ B (28).

Die medizinische Behandlung bleibt die Behandlung der Wahl für Typ-B-Aortendissektion, es sei denn, sie sind undicht oder gerissen (29). Eine medikamentöse Therapie mit blutdrucksenkender Therapie und Betablockern wird auch chirurgischen Patienten verabreicht, um das Fortschreiten oder Wiederauftreten einer Aortendissektion zu verhindern.

2.3.3 Aorto-enterale und -bronchiale Fistel

Eine Fistel zwischen der Aorta und dem Magen-Darm-Trakt oder den Bronchien ist sehr selten. Die meisten Fälle treten sekundär nach Aortenoperationen, Magen-Darm-Operationen auf oder durch Tumordinfiltration (30, 31). Eine primäre Fistel ohne eine Aortenoperation in der Vorgeschichte ist selten (32). Die häufigsten Formen dieser seltenen Erkrankungen sind:

- Aorto-duodenale Fistel
- Aorto-intestinale Fistel
- Aorto-sigmoidale Fistel
- Aorto-ösophageale Fistel (Abb. 5).
- Aorto-bronchiale Fistel

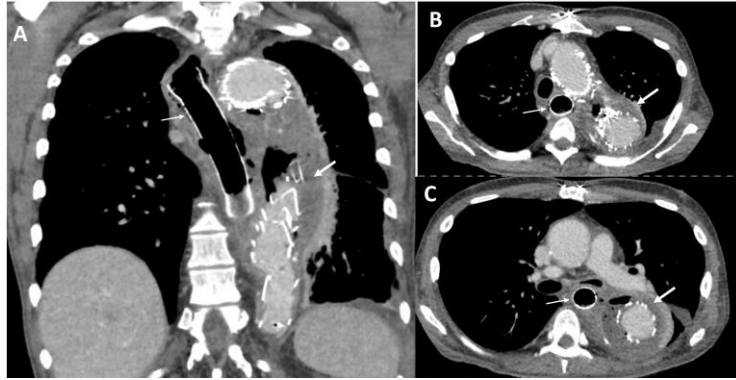


Abbildung 5: Ein 68-jähriger Patient mit einer Aorto-ösophagealen Fistel (zwischen dem Ösophagus und dem Aneurysmasack der thorakalen Aorta), der sich wegen einer akuten Typ-A-Dissektion einem Aortenersatz der Aorta ascendens unterzieht. Die CT-Angiographie zeigt Lüftanschlüsse um den TEVAR und den Ösophagus-Stent.

2.3.4 Aorto-cavale Fistel

Die Aorto-cavale Fistel ist eine seltene Komplikation von Aortenaneurysmen. Hier ist die Ruptur eines abdominellen Aortenaneurysmas in die Vena cava inferior die häufigste Ursache und macht 80–90 % der Fälle aus (33, 34).

2.3.5 Aortenprotheseninfektionen

Aortenprotheseninfektionen weisen trotz erheblicher Fortschritte in der chirurgischen und perioperativen Versorgung weiterhin eine hohe Morbiditäts- und Mortalitätsrate auf (35, 36).

Die berichtete Inzidenz von Aortenprotheseninfekten liegt zwischen 1 % und 3 % (37). Die Sterblichkeitsrate einer Aortenprotheseninfektion liegt laut Literatur zwischen 10 und 40 % (38, 39). Das therapeutische Spektrum umfasst eine konservative oder invasive Therapie. Die konservative Therapie beinhaltet eine langfristige oder sogar lebenslange Antibiotikatherapie. Die invasive Therapie hat ein breites Spektrum, das von der Drainage oder Abdeckung eines infizierten Implantats, oder der Entfernung des gesamten prothetischen Materials einschließlich des umgebenden Gewebes, gefolgt von einer in situ oder extraanatomischen Revaskularisation reicht.

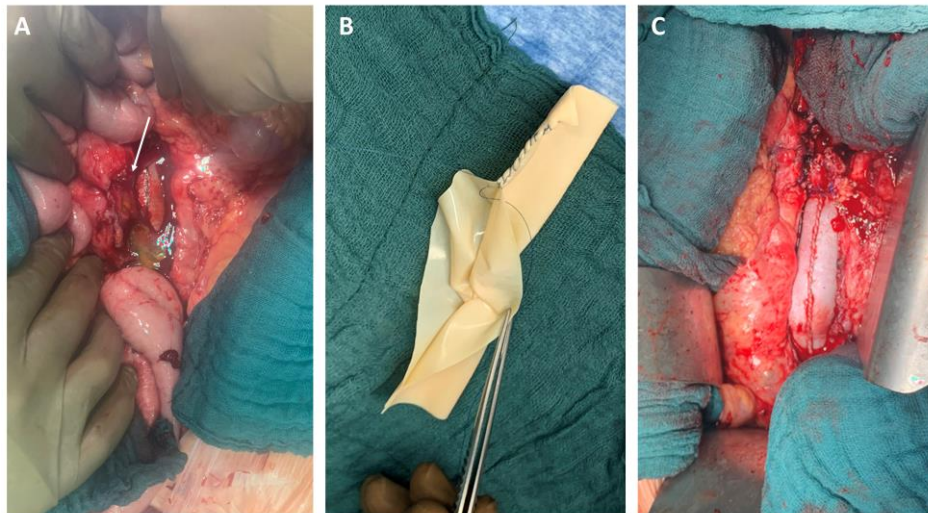


Abbildung 6: (A): Patient mit einem aorto-duodenalen Fistel nach einer Rohrprothese bei AAA. (B): Tubegraft aus bovinem Perikard. (C): Ersatz der alten Prothese durch einen neuen Perikard Tubegraft.

2.3.6 Endoleaks nach einer endovaskulären Therapie

Eine Endoleckage ist eine häufige Komplikation der endovaskulären Behandlung eines Aortenaneurysmas. Dabei wird der Aneurysmasack nach der Versiegelung weiterhin durchblutet (40). Die Ursachen der Endoleaks resultieren aus dem Endostent selbst oder aus den Gefäßen, die aus dem Aneurysmasack hervorgehen. Endoleaks, die innerhalb von 30 Tagen nach EVAR auftreten, werden als „primäre Endoleaks“ bezeichnet; diejenigen, die sich mehr als 30 Tage nach einem Eingriff bilden, werden als „sekundäre Endoleaks“ bezeichnet (41).

Es gibt fünf Endoleak-Typen. Typ-2-Endoleaks sind der häufigste Typ der Endoleckagen, und die Typen 1 und 3 sind am gefährlichsten, da sie das höchste Rupturrisiko aufweisen (Abb. 6-8). Die Typ-2-Endoleckagen werden konservativ behandelt, solange sich das Aneurysma im Laufe der Zeit nicht vergrößert. Für andere Arten von Endoleckagen gibt es eine klare Interventionsempfehlung.

Tabelle 2: Endoleakage Typen

Typ	Beschreibung
Typ 1	Leckage an den proximalen oder distalen Landezonen.
Typ 2	Leckage durch offene Seitenäste in den Aneurysmasack (Lumbalarterien, A. mesenterica inferior)
Typ 3	Leckage zwischen den beiden Prothesenteilen, wenn überlappende Teile des Stentgrafts getrennt werden.
Typ 4	Leckage durch Porosität des Prothesenmaterials
Typ 5	Leckage unbekannter Herkunft, wird als „Endotension“ bezeichnet

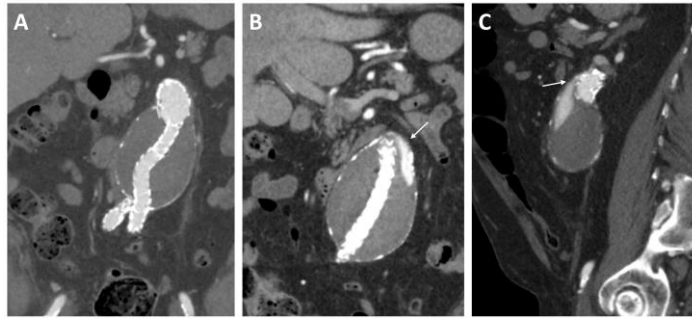


Abbildung 7: Endoleak Typ 1

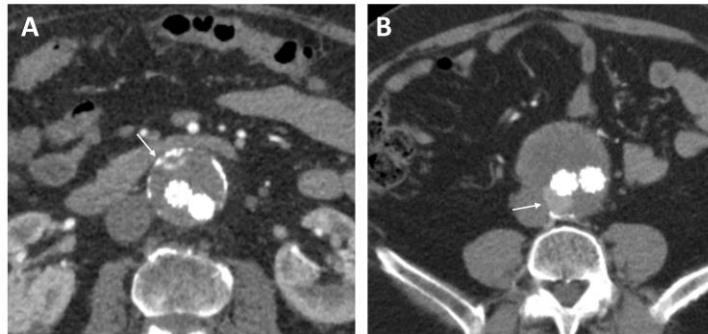


Abbildung 8: Endoleak Typ 2

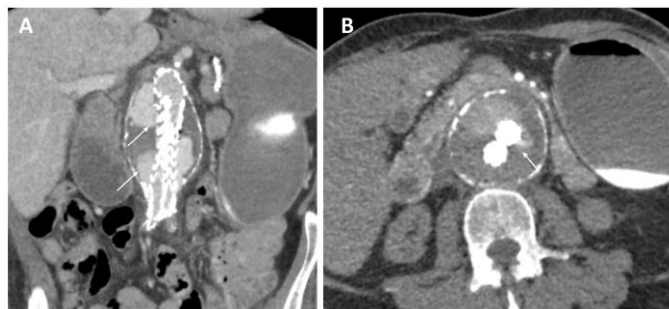


Abbildung 9: Endoleak Typ 3

2.4 Struktur und Fragestellungen dieser Arbeit

Bereits ab 2015 wurden die Daten verschiedener Aortenpathologien in unserer Abteilung in einer Datenbank prospektiv erhoben und für die vorliegenden Studien ausgewertet. Diese Habilitationsschrift analysierte die Behandlung und Ergebnisse verschiedener Standard- und komplexer Aortenerkrankungen. Der erste Artikel bewertete die EVAR- Ergebnisse mit Endurant II Stent-Graft anhand präoperativer anatomischer und morphologischer Messungen (ASG-score) der Aorta in der CT-Angiographie (Originalarbeit 1). Eine weitere Arbeit bewertete Faktoren, die die Sterblichkeit nach Aortenrupturoperationen beeinflussen und verglich verschiedene präoperative und intensivmedizinische Scores zur Vorhersage der postoperativen Sterblichkeit (Originalarbeit 2).

In den folgenden Arbeiten wurden die Ergebnisse der Behandlung verschiedener, eher seltener und komplexer Aortenerkrankungen ausgewertet. In diesem Zusammenhang diskutierte der dritte Artikel (Originalarbeit 3) Behandlungsoptionen für Aorto-ösophageale und -bronchiale Fisteln bei Patienten mit malignen und nicht-malignen Grunderkrankungen. In zwei weiteren Artikeln diskutierten wir Behandlungsoptionen für Patienten mit Aortenprotheseninfektion und aorto-duodenaler Fistel (Originalarbeiten 4 und 5). Diese beiden Studien bewerteten mehrere Faktoren, einschließlich des Aortenersatzmaterials (autogene tiefe Femoralvene oder kryokonserviertes menschliches Allotransplantat), die Ätiologie von Infektionen und Fisteln sowie frühere Aortenoperationen (EVAR oder offen). Der sechste Artikel befasste sich mit der Behandlung und den Ergebnissen von penetrierenden Aortenulzera im viszeralem Segment der Aorta (Originalarbeit 6).

Basierend auf den publizierten Arbeiten wurden folgende Zielstellungen bearbeitet:

- Darstellung der Ergebnisse verschiedener Standard- und komplexer Aortenpathologien
- Beurteilung der Kriterien zur Einordnung der Aortenpathologien in eine Standard- oder Komplexform
- Bedeutung und Anwendung dieser Einordnung in der Praxis

3 Eigene Arbeiten

3.1 Outcomes of Endurant II stent-graft according to Anatomic Severity Grade score

Safwan Omran¹, Verena Müller¹, Larissa Schawe¹, Matthias Bürger¹, Sebastian Kapahnke¹, Leon Bruder¹, Haidar Haidar¹, Frank Konietschke², Andreas Greiner¹, Berlin, Germany

Journal of Endovascular Therapy. 2022; April 25; online ahead of print

<https://doi.org/10.1177/15266028221090433>

Die endovaskuläre Behandlung von Aortenaneurysmen hat viele Vorteile in Bezug auf Morbidität und Mortalität im Vergleich zur offenen Operation. Aufgrund anatomischer Einschränkungen sind jedoch nicht alle Aortenaneurysmen für einen endovaskulären Lösungsansatz geeignet. Darüber hinaus wird die technische Durchführbarkeit und der Verlauf von EVAR von einer Reihe von Faktoren beeinflusst. Anatomische Voraussetzungen und Komplexität der EVAR können mit dem Anatomic Severity Grading Score (ASG-Score) bewertet werden (23). Der ASG-Score kann aus den präoperativen CT-Scan-Ergebnissen berechnet werden. ASG-Scores korrelieren mit chirurgischen Schwierigkeiten, postoperativen Komplikationen, Implantat bedingten Komplikationen, und Ressourcenverbrauch (42, 43). Darüber hinaus hatten Patienten mit niedrigen Scores bessere Überlebensraten als Patienten mit hohen Scores (44).

In dieser monozentrischen, retrospektiven Studie werden erstmals ASG-Werte und die mittelfristigen Ergebnisse für alle Patienten präsentiert, die zwischen Januar 2013 und Mai 2021 mit einem Endurant II Stent-Graft behandelt wurden. Es wurden die Ergebnisse von 165 Patienten überprüft, die eine klinische Nachbeobachtungszeit von etwa 32 Monaten hatten. Die primären Endpunkte waren technischer und klinischer Erfolg. Sekundäre Endpunkte waren systemische und Implantat bedingte Komplikationen wie Endoleak, Prothesenmigration, und Infektion. Die Patienten wurden in zwei unabhängige Gruppen eingeteilt, diejenigen mit niedrigen ASG-Scores (Score <14) und solche mit hohen ASG-Scores (Score >14).

Es gab 110 (67 %) Patienten in der Low-Score-Gruppe und 55 (33 %) Patienten in der High-Score-Gruppe. Technische Erfolge wurden in allen Fällen erzielt. Der primäre klinische Erfolg betrug 100 % nach 30 Tagen und 96 % nach 1 Jahr. Die mittlere Operationszeit war in der High-Score-Gruppe ohne statistische Signifikanz länger. Nach einer klinischen Nachbeobachtungszeit von etwa 32 Monaten traten kombinierte Komplikationen und Implantat bedingte Komplikationen häufiger in der High-score-Gruppe auf. Systemische Komplikationen

nach 30 Tagen waren in der High-score-Gruppe höher, jedoch ohne statistisch signifikanten Unterschied.

Zusammenfassend scheint die endovaskuläre Therapie von Aortenaneurysmen mit Endurant II Stent-Graft sowohl bei Patienten mit niedrigen als auch mit hohen ASG-Scores sicher zu sein. Allerdings hatten Patienten in der High-Score-Gruppe mehr Implantat bedingte Komplikationen und eine erhöhte mittelfristige Mortalität als Patienten in der Low-Score-Gruppe.



Outcomes of Endurant II Stent Graft According to Anatomic Severity Grade Score

Safwan Omran, MD¹  Verena Müller, MD¹ Larissa Schawe, MD¹ Matthias Bürger, MD¹, Sebastian Kapahnke, MD¹  Leon Bruder, MD¹ Haidar Haidar, MD¹ Frank Konietzschke, MD² and Andreas Greiner, MD¹

Abstract

Objectives: This study's objective was to evaluate Endurant II (Medtronic Inc, Minneapolis, Minnesota) stent graft's early and midterm outcomes and compare the results according to the anatomic severity grade (ASG) scores. **Methods:** This was a retrospective study of patients treated with the Endurant II stent graft between January 2013 and May 2021. The patients were divided into 2 independent groups, including those with a low ASG score (score < 14) and a high ASG score (score > 14). **Results:** A total of 165 consecutive patients (89% males, age 74 ± 8 years) were included. There were 110 (67%) patients in the low-score group and 55 (33%) patients in the high-score group. Technical success was achieved in all cases. Primary clinical success at 30 days was 100% and at 1 year was 96%. Median operative time was longer in the high-score group with no statistical significance (133 vs 120 minutes, p=0.116). The median dose area product of low-score patients (50.9 Gy·cm²; IQR 22.4–75.5 Gy·cm²) was significantly lower than high-score patients (85.0 Gy·cm²; IQR 46.5–127.9 Gy·cm²) with p=0.025. Median fluoroscopic time was lower in low-score patients (17 minutes; IQR 13–24 minutes) compared with high-score patients (19 minutes; IQR 16–23 minutes) without a significant difference at p=0.148. At a midterm follow-up of 32 months (range 2–63 months), combined complications (29% vs 8%, p<0.001) and implant-related complications (13% vs 4%, p=0.043) were higher in the high-score group. Systemic complications at 30 days were higher in the high-score group without a statistically significant difference (15% vs 11%, p=0.500). The Kaplan-Meier estimate of freedom from reintervention was significantly higher in the low-risk group at 1 (97% vs 90%), 2 (96% vs 88%), and 3 years (96% vs 85%) with (p=0.035). The cumulative survival rate was significantly higher in the low-score group than high-score group (p=0.001) at 1 (99% vs 87%), 2 (98% vs 85%), and 3 years (96% vs 82%). **Conclusions:** Endurant II endovascular aneurysm repair seems to be safe in both low-score and high-score patients. However, patients in the high-score group showed more implant-related complications and midterm mortalities than those in the low-score group.

Keywords

abdominal aortic aneurysm, EVAR, Endurant II, ASG score, stent graft

Introduction

In many current studies, endovascular aneurysm repair (EVAR) is the preferred option for elective management of abdominal aortic aneurysms (AAAs) with suitable anatomy.^{1–5} Although well established, the available EVAR devices differ from each other in technical factors such as fixation strength, sealing ability, and delivery accuracy. In addition, the outcomes of EVAR are influenced by the anatomic limitations of the aorta.

Many anatomic factors, like hostile neck, aneurysm diameter, and kinking, were studied separately or with other factors.^{6,7} Based on these factors, the anatomic severity

¹Department of Vascular Surgery, Charité—Universitätsmedizin Berlin, Corporate Member of Freie Universität Berlin and Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, Germany

²Institute of Medical Biometrics and Clinical Epidemiology and Berlin Institute of Health (BIH), Charité – Universitätsmedizin Berlin, Corporate Member of Freie Universität Berlin, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, Germany

Corresponding Author:

Safwan Omran, Department of Vascular Surgery, Charité—Universitätsmedizin Berlin, Corporate Member of Freie Universität Berlin and Humboldt-Universität zu Berlin, Hindenburgdamm 30, Berlin 12203, Germany.

Email: safwan.omran@charite.de

grade (ASG) score was developed and used to define the severity of anatomic factors that influence the difficulty and potential success of EVAR.⁸

Although several commercially available stent grafts have been developed to overcome the anatomic limitations of the EVAR, these limitations still have an influence on the midterm and long-term results of the endovascular treatment.^{9,10}

During the current study period, we used Endurant II (Medtronic Inc, Minneapolis, Minnesota) stent graft for EVAR procedures for all ruptured and elective AAA. However, the current study aims to report our experience with the Endurant II (Medtronic) stent graft in treating elective AAAs concerning the ASG score.

Material and Methods

The ethics committee approved the present study (approval no. EA4/088/20). The need for individual consent was waived. We retrospectively reviewed EVARs performed at our institution from January 2013 to May 2021. Preoperative computed tomography (CT) imaging was obtained in all patients. Patient demographics, aneurysm characteristics, operative details, perioperative data, and patient outcomes were all recorded. Details of outpatient clinic visits and follow-up data were also recorded.

During the study period, all EVARs for the AAA were performed using Endurant II stent graft except for fenestrated EVARs and EVARs with iliac side branch devices. Therefore, the major exclusion criteria in our study included EVARs for ruptured aneurysms, fenestrated EVARs, EVARs with iliac side branch device, and indications for EVAR that was not for an AAA like penetrating aortic ulcer or iliac aneurysms.

We used 2 configurations of the Endurant stent grafts (Medtronic Inc, Minneapolis, Minnesota), including Endurant II and Endurant IIs stent grafts. The choice of the stent graft configuration was wholly individual and dependent on the surgeon and the company representative. Radiation doses were measured in terms of dose area product (DAP; Gy·cm²).

Primary technical success was defined according to the reporting standards for endovascular aortic aneurysm repair of the Society for Vascular Surgery (SVS)/American Association for Vascular Surgery.¹¹

Routine post-EVAR follow-up consisted of CT angiography (CTA) at 1, 6, 12 months, and then annually thereafter. Data collected included aneurysm growth, stent graft patency, and endoleaks' presence. In addition, all implant-related complications, implant-related reinterventions, and causes of death were collected.

All patients underwent preoperative CT imaging during 90 days prior to the procedure. The ASG score for each patient was calculated from preoperative CT imaging

3-dimensional (3D) reconstructions using 3mensio Vascular 10.2 SP1 software (Pie Medical Imaging BV, Maastricht) by blinded investigators. Anatomic severity grade scores were calculated for each patient from the 3D reconstructions according to the American Association for Vascular Surgery/SVS guidelines.

To evaluate interobserver variability, measurements of the aorta and EVAR sizing protocol were initially always made by the same first examiner (10 years' experience in EVAR sizing, with national certification). Next, another second examiner (5 years' experience in EVAR sizing, with national certification), previously informed about the nature of the study, took the same measurements with no knowledge of the previous results. All measurements were independently recorded.

We used the receiver-operator characteristic (ROC) curves and the corresponding cut-off point for predicting the reintervention and whether the patients will survive or die. According to the Youden's index, the best cut-off value for the ASG score was 14. Therefore, patients were divided based on their final total ASG score according to the optimal cut-off point into a low-score (ASG <14) and high-score (ASG ≥14) group.

The primary study end points were 30 days, midterm survival, and freedom from reintervention. Secondary end points included implant-related complications and systemic complications at 30 days.

Implant-related complications included the presence of endoleak, limb occlusion, migration, or infection. In addition, aneurysm rupture and device erosion through the aortic or iliac wall were considered implant-related complications. Type II endoleaks (T2ELs) were subdivided into early, diagnosed at the first postoperative CTA within 90 days of the EVAR, or late-onset, diagnosed after the initial postoperative CTA (>6 months). In addition, T2ELs were classified according to the vessels identified. Persistent T2EL was defined as T2EL lasting longer than 6 months. Moreover, T2ELs were considered relevant in the case of aneurysm sac growth ≥5 mm.

Systemic complications under consideration included cardiac complications, pulmonary dysfunction, renal insufficiency, cerebrovascular accident, bowel ischemia, and spinal cord ischemia.¹¹

Statistical Methods

Continuous variables were displayed as mean±SD or median and range, and categorical variables as frequency and percentages. Kappa test was used to measure the degree of agreement between the 2 examiners. Comparison between the low-score and high-score groups was carried out using Student's *t*-test for parametric data and Mann-Whitney *U* test for nonparametric data. Categorical data were compared using the

Table 1. Anatomic Measurements of the Abdominal Aortic Aneurysms With Low Versus High ASG Score.

	Low score (n=110)	High score (n=55)	p
Aortic neck			
Diameter	23.4±3	25.6±3	<0.001
Length	27±12	25±11	0.367
Angle	171±8	159±16	<0.001
Aneurysm			
Maximum diameter	58±8	67±15	<0.001
Distal aortic diameter	26±6	32±11	<0.001
Tortuosity index	1.09±0.07	1.17±0.08	<0.001
Angle	156±16	142±16	<0.001
Iliac artery			
Angle (worst side)	132±25	109±23	<0.001
Tortuosity index	1.3±0.13	1.5±0.17	<0.001
Seal diameter (right)	14±3	18±9	0.001
Seal diameter (left)	13±3	16±7	0.001
Seal length	59±17	60±16	0.710

Abbreviation: ASG, anatomic severity grade.

chi-squared test and Fisher's exact test. Survival curves and freedom from reinterventions were analyzed using Kaplan-Meier estimate. Standard error exceeding 10% was reported. A cut-off value corresponding to maximum sensitivity and specificity was obtained using Youden's index from the ROC curve. Differences in survival between the groups were analyzed using the log-rank test. A p-value of <0.05 was deemed statistically significant. Data analysis was performed using IBM SPSS Statistics 26.0 software (IBM Corp, Armonk, New York).

Results

A total of 297 patients were treated with EVAR between January 2013 and May 2021. Of those, 132 patients were excluded from the study cohort due to the causes mentioned above (Supplementary figure). In sum, 165 patients achieved the inclusion criteria and were enrolled in this study. The mean age of the entire cohort was 74±8 years, and 146 (89%) were male. General anesthesia was performed in 157 (95%) patients and regional anesthesia in 8 (5%) patients.

Overall agreement between the 2 examiners in calculating the ASG score occurred in 140 of 165 ASG values for a percentage agreement of 85%. This resulted in an overall kappa of 0.84 (95% confidence interval 0.78–0.90).

The low-score group consisted of 110 (67%) patients (average score 10, range 3–13) and the high-score group consisted of 55 (33%) patients (average score 16, range 14–23; p<0.001). The morphologic characteristics of the low-score and high-score groups are summarized in Table 1. A significant difference was found between the 2 groups for all individual component scores except for the aortic neck and iliac seal length.

There were no differences in age, demographics, risk factors, or medications between the low-score and high-score groups (Table 2). A total of 87 (53%) patients were treated with Endurant II stent graft and 78 (47%) patients were treated with Endurant IIs stent graft. No differences were found in the average operative time and the average number of endograft implants between Endurant II and Endurant IIs. The number of devices and the proximal diameter of the used stent grafts are summarized in the Supplementary table.

The median body mass index was 25.9 kg/m² (IQR 23.1–28.9 kg/m²) with no significant difference between low-score and high-score groups. The median DAP of low-score patients (50.9 Gy·cm²; IQR 22.4–75.5 Gy·cm²) was significantly lower than high-score patients (85.0 Gy·cm²; IQR 46.5–127.9 Gy·cm²) with p=0.025. Median fluoroscopic time was lower in low-score patients (17 minutes; IQR 13–24 minutes) compared with high-score patients (19 minutes; IQR 16–23 minutes) without a significant difference at p=0.148. The median amount of contrast used in the low-score and high-score groups was 40 vs 50 ml (p=0.145).

The off-label use of stent graft was applied in 15 (9%) patients and was higher in the high-score group (18% vs 5%, p=0.004). The deviations from the instructions for use (IFU) included aortic angulation >60° in 11 (7%) patients, proximal neck length <10 mm in 2 (1.3%) patients, neck diameter <19 mm in 1 (0.6%) patient, and small access vessels in 1 (0.6%) patient. A total of 18 (11%) patients with neck lengths between 10 and 15 mm were considered on-label. The Heli-FX™ EndoAnchor™ system was not used in any case of the current study.

Technical success was achieved in all patients, and conversion to an open repair was not required in any case during the same hospital stay. Ten (6%) patients underwent

Table 2. Risk Factors, Medications, and Descriptive Characteristics of the Study Population.

Characteristics	Total	Low score	High score	p
Number	165 (100)	110 (67)	55 (33)	
Demographics				
Age (years)	74±8	73±9	75±7	0.314
Male	146 (89)	97 (88)	49 (89)	0.863
Risk factors				
Coronary artery disease	66 (40)	42 (38)	24 (44)	0.500
Diabetes mellitus	31 (19)	22 (20)	9 (16)	0.573
Hypertension	106 (64)	71 (65)	35 (64)	0.909
Hyperlipoproteinemia	36 (22)	24 (22)	12 (22)	1
Stroke	24 (15)	16 (15)	8 (15)	1
COPD	32 (19)	17 (16)	15 (27)	0.070
Renal insufficiency	31 (19)	18 (16)	13 (24)	0.260
Smoking	42 (26)	24 (22)	18 (33)	0.129
Alcoholism	3 (2)	1 (1)	2 (4)	0.258
Peripheral vascular disease	15 (9)	10 (9)	5 (9)	1
Malignancy	30 (18)	21 (19)	9 (16)	0.669
Medications				
ACE inhibitors	63 (38)	42 (38)	21 (38)	1
ARBs	37 (22)	27 (25)	10 (18)	0.356
β-blockers	90 (55)	61 (56)	29 (53)	0.740
Statin	91 (55)	60 (55)	31 (56)	0.825
Antiplatelet	136 (82)	90 (82)	46 (84)	0.772
Oral anticoagulant	35 (21)	22 (20)	13 (24)	0.590

Abbreviations: ACE, angiotensin-converting enzyme; ARBs, angiotensin receptor blockers; COPD, Chronic obstructive pulmonary disease.

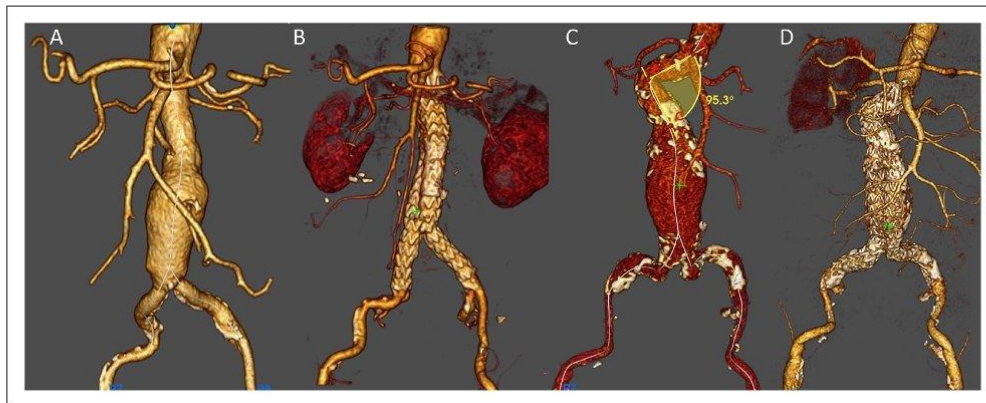


Figure 1. Preoperative and postoperative computed tomography (CT) scan with a 3D reconstruction of a patient with ASG score = 7 (A, B). Preoperative and postoperative CT scan with a 3D reconstruction of a patient with ASG score = 21 (C, D).

embolization of the internal iliac artery during the EVAR procedure using Amplatzer plugs in 8 cases and coils in 2 cases. Embolization of the lumbar and inferior mesenteric arteries before EVAR was done in 3 cases. Primary clinical success at 30 days was 100% and at 1 year was 96%. The operative time was longer in the high-score group (median:

133 minutes, range 81–454 minutes) compared with the low-score group (median 120 minutes, range 58–246 minutes), but this did not reach statistical significance ($p=0.116$).

Upon discharge, all patients underwent a routine postoperative CT evaluation after EVAR (see Figure 1). The hospital length of stay was longer in the high-score group

Table 3. Systemic Complications at 30 Days and Implant-Related Complications During the Follow-Up.

	Total (165)	Low score (n=110)	High score (n=55)	p
Systemic complications at 30 days	20 (12)	12 (11)	8 (15)	0.500
All-cause death	0	0	0	
Cardiac complications	6 (4)	2 (2)	4 (7)	0.096
Acute renal failure	10 (6)	6 (6)	4 (7)	0.733
Respiratory failure	11 (7)	6 (6)	5 (9)	0.509
Cerebrovascular accident	1 (0.6)	0	1 (2)	0.333
Implant-related complications	11 (7)	4 (4)	7 (13)	0.043
Limb occlusion	6 (4)	4 (4)	2 (4)	1
Graft infection	2 (1.2)	0	2 (4)	0.110
Type IA endoleak	2 (1.8)	0	2 (4)	0.110
Type IB endoleak	1 (0.6)	0	1 (2)	0.333
T2EL	42 (26)	30 (27)	12 (22)	0.448
Early-onset	39 (24)	27 (25)	12 (22)	
Resolved	23	14	9	
Persistent	16	13	3	
Late-onset	3 (2)	3 (3)	0	
Resolved	2	2	0	
Persistent	1	1	0	
T2EL vessels				
IMA only	13	9	4	
Lumbar arteries only	21	14	7	
IMA + lumbar arteries	8	7	1	

Abbreviations: IMA, inferior mesenteric artery; T2EL, type II endoleak.

(median 4 days, range 1–26 days) than the low-score group (median 4 days, range 1–21 days) with ($p=0.019$).

At the end of follow-up, 12 patients were lost to follow-up (follow-up range 10–17), representing a follow-up rate of 93%. At a midterm follow-up of 32 months (range 2–63 months), combined (systemic and implant-related) complications had occurred in 25 patients, and it was higher in the high-score group (29% vs 8%, $p<0.001$; Table 3).

No implant-related complications occurred during the first 30 days postoperatively. However, implant-related complications occurred in 11 (7%) patients during the follow-up, and they were higher in the high-score group (13% vs 4%, $p=0.043$). The complications included limb occlusion in 6 (3.6%) patients, type IA endoleak in 2 (1.2%) patients, type IB endoleak in 1 (0.6%) patient, and graft infection in 2 patients (1.2%). In addition, open conversion and removal of the stent graft were done in 3 cases (1.8%). The aortic reconstruction in these cases included replacement with the deep femoral vein in 2 cases and Dacron prosthesis in 1 case. The Kaplan-Meier estimate of freedom from reintervention was significantly higher in the low-risk group at 1 (97% vs 90%), 2 (96% vs 88%), and 3 years (96% vs 85%) with $p=0.035$ (Figure 2).

Systemic complications at 30 days occurred in 20 (12%) patients, and it was higher in the high-score group without statistically significant difference (15% vs 11%, $p=0.50$). However, some of the patients had more than 1 systemic

complication. The complications included pulmonary dysfunction in 11 (7%), cerebrovascular accident in 1 (0.6%), renal insufficiency in 10 (6%), and cardiac complications in 6 patients (4%). There were no bowel ischemia, ischemic colitis, or spinal cord ischemia cases.

Type II endoleak occurred in 42 (26%) patients, with no difference between low-score and high-score groups (27% vs 22%, $p=0.448$). Of those, 39 (93%) were early-onset T2ELs and 3 (7%) were late-onset T2ELs. Spontaneous-resolved T2ELs were observed in 25 (60%), and persistent T2EL was found in 17 (40%) of all T2ELs. Five of the patients with persistent endoleaks had no changes in AAA diameter after EVAR and underwent no reintervention. One patient developed a rupture of the aneurysm and underwent conversion to open repair. The remaining patients ($n=11$) with persistent T2EL had aneurysm sac growth ≥ 5 mm and therefore, underwent transarterial embolization ($n=6$) or translumbar embolization ($n=5$).

Type IA endoleaks occurred in 2 patients (1.2%) and type IB endoleak in 1 (0.6%) during the follow-up. All 3 cases were in the ASG high-score group ($p=0.036$). Two patients with type IA endoleak were treated successfully with proximal extensions, and the patient with type IB endoleak underwent distal extension.

The 30 day operative mortality was 0. The cumulative survival rate for all patients at 1, 2, and 3 years were 95%, 93%, and 91%, respectively. The cumulative survival rate

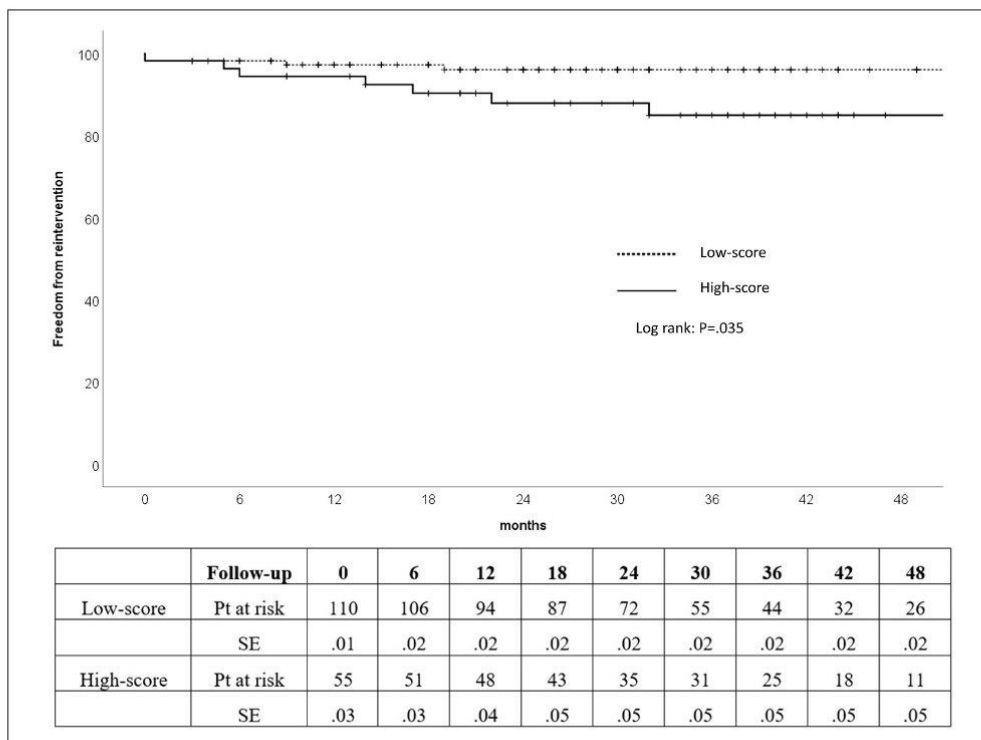


Figure 2. Cumulative Kaplan-Meier estimate of freedom from reintervention after endovascular procedures through to 4 years (Kaplan-Meier log-rank test, $p=0.035$). SE, standard error.

was significantly higher in the low-score group compared with high-score group at 1 (99% vs 87%), 2 (98% vs 85%), and 3 years (96% vs 82%; $p=0.001$; Figure 3).

Thirteen patients died during the follow-up, including 10 (18%) in the high-score group and 3 (3%) patients in the low-score group with a p -value of 0.001. All-cause mortality included 6 (4%) cases of carcinoma, 1 (0.6%) case of pneumonia, 4 (2%) cases of sepsis, 1 (0.6%) case of spontaneous rupture of a splenic artery aneurysm, and 1 (0.6%) case of cardiac insufficiency.

Discussion

In this retrospective analysis of 165 patients who underwent elective EVAR for AAA, ASG scoring criteria accurately predicted patients at risk for midterm implant-related complications and midterm survival. In addition, in contrast to other studies, all cases in our study were treated with Endurant II/IIIs stent grafts.

According to the morphology limits set by the IFU, an Endurant stent graft could be used in patients with a proximal neck length between 10 and 15 mm or between 4 and 10 mm when used in conjunction with the Heli-FX™ EndoAnchor™ system (Medtronic, Santa Rosa, California).^{12,13} In addition, an Endurant stent graft could be used in patients with an infrarenal neck angulation till 60° or till 75° if the proximal neck length ≥ 15 mm with insignificant calcification and thrombus.¹⁰ Many studies showed that the ASG scoring scheme is a valuable tool to determine the degree of difficulty and outcomes of endovascular treatment after EVAR and fenestrated EVAR.^{8,14-16}

Although the ASG score includes most of the anatomic limitations that influence the outcome of the EVAR, the effect of these limitations is not the same. Many limitations like iliac tortuosity and access can be overcome using special techniques. In addition, the effect of the aortic aneurysm thrombus, the number of branch vessels, and the pelvic perfusion on the EVAR success are not totally

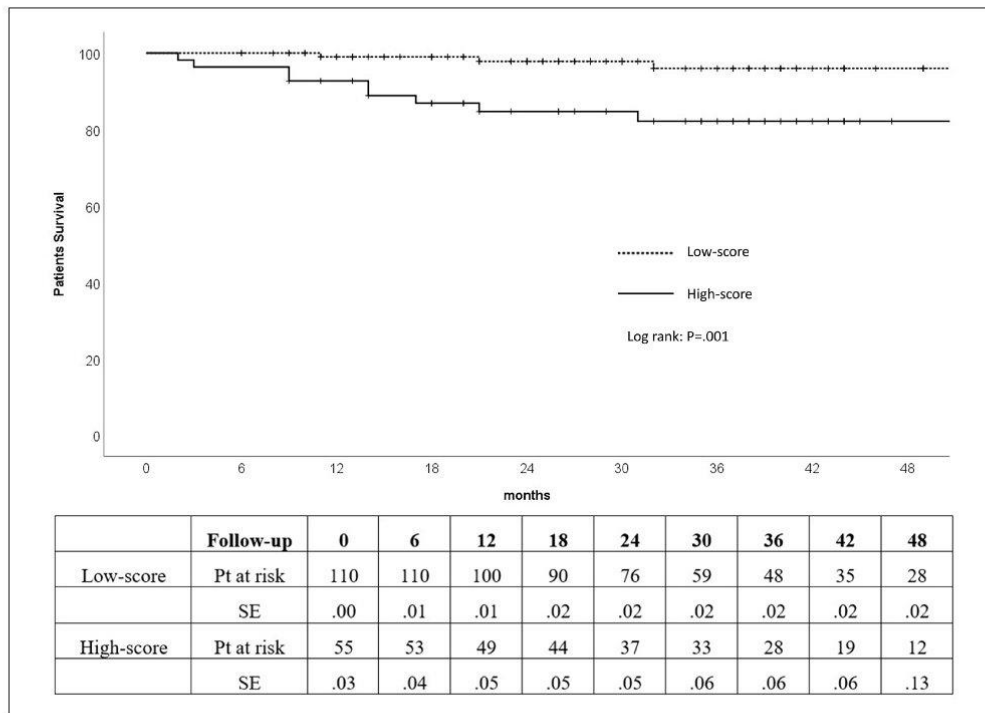


Figure 3. Kaplan-Meier survival estimates of low-score and high-score patients (Kaplan-Meier log-rank test, $p=0.001$). SE, standard error.

comprehensible. However, reduced pelvic perfusion increases the morbidity and mortality rates, and the number of branch vessels may increase the occurrence of T2EL.^{17,18} Nevertheless, the occurrence of T2ELs in these cases does not change the positive results of the primary operation, either when they need further interventions to occlude the endoleaks.¹⁹

The Anatomic severity grade score is a cumulative score of the severity grade of the morphological and anatomic factors of the aorta. Not all ASG factors are included in the IFU criteria of the aortic stent grafts. According to that, a high ASG score does not match off-label use of the device, and most of the patients with a high score in the current study are on-label. In addition, some patients with off-label use of the EVAR have at least 1 anatomical deviation but still stay in the low-score group.

Nevertheless, aortic neck morphology and adequate proximal landing zone still represent absolute requirements for successful EVAR.²⁰ However, the development of the stent grafts with suprarenal fixations allows the stent grafts to be used in cases with shorter necks.

While some studies defined the hostile neck as a length of ≤ 15 mm, with a large diameter, tapered/reverse tapered anatomy, mural thrombus, moderate/severe circumferential calcification, or angulation,²¹ others defined the neck with a length of ≤ 10 mm as a hostile neck.²² Therefore, the hostile neck definition may be related to the IFU of the stent graft used to repair the aneurysm.

Despite expected worse outcomes and cautions, almost the compliance with published IFU guidelines is low, and the results of off-label use remain significantly undocumented.¹² In our study, 9% of the patients underwent EVAR with anatomy outside the device IFU with low related complications. This is might because some deviations have more influence on the outcome than others. In addition, the type of the stent graft may have a decisive role in overcoming the anatomic deviations.

Endurant stent grafts have shown promising results in many studies.²³⁻²⁶ In the current study, Endurant II stent graft had an excellent midterm outcome in low-score and high-score patients. Interestingly, the ASG score could predict the mortality of the patients more accurately than the

development of the implant-related complications. This might be because patients presenting with unfavorable anatomy had more comorbidity theoretically and thus more mortality.^{27,28} However, the current study showed no significant differences according to the risk factors and morbidities.

According to the hospital stay, the length of stay of our patient was longer than this reported in other studies.²⁹ Our policy was that all patients undergo a postoperative CT evaluation after EVAR at the same admission. In addition, some studies reported that the stay in the hospital in Germany was longer than citizens of the major developed countries because of differences in the health care systems.³⁰

Many studies described the link between the anatomic complexity of the aorta and the medical complication risk.^{14,31,27} In this regard, the ASG score could help improve the selection of patients for follow-up and reduce follow-up costs because patients with low scores have low rates of implant-related complications and therefore do not need a strict follow-up like high-score patients.³²

A strength of the present study is that all cases had the same stent graft system, which makes the cohort on both groups of the ASG score homogenous. Nevertheless, this study has some limitations, including its single-institution retrospective design and the lack of randomization and clinical event committee. Furthermore, limitations are observed during the measurement of some of the ASG criteria. In addition, many AAA patients with unfavorable anatomy underwent open surgical treatment or fenestrated EVAR in our department, which makes some selection bias.

Conclusion

Anatomic severity grade score could predict the mortality of the patients more accurately than implant-related complications. Endurant II EVAR showed excellent results in both low-score and high-score patients.


Declaration of Conflicting Interests


The author(s) declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

Funding

The author(s) received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

ORCID iDs

Safwan Omran  <https://orcid.org/0000-0002-7342-7182>

Sebastian Kapahnke  <https://orcid.org/0000-0002-0617-0831>

Supplemental Material

Supplemental material for this article is available online.

References

1. Sicard GA, Zwolak RM, Sidawy AN, et al. Endovascular abdominal aortic aneurysm repair: long-term outcome measures in patients at high-risk for open surgery. *J Vasc Surg.* 2006;44(2):229–236. doi:10.1016/j.jvs.2006.04.034.
2. Lederle FA, Freischlag JA, Kyriakides TC, et al. Outcomes following endovascular vs open repair of abdominal aortic aneurysm: a randomized trial. *JAMA.* 2009;302(14):1535–1542. doi:10.1001/jama.2009.1426.
3. Chang RW, Goodney P, Tucker L-Y, et al. Ten-year results of endovascular abdominal aortic aneurysm repair from a large multicenter registry. *J Vasc Surg.* 2013;58(2):324–332. doi:10.1016/j.jvs.2013.01.051.
4. Powell JT, Sweeting MJ, Ulug P, et al. Meta-analysis of individual-patient data from EVAR-1, DREAM, OVER and ACE trials comparing outcomes of endovascular or open repair for abdominal aortic aneurysm over 5 years. *Br J Surg.* 2017;104(3):166–178. doi:10.1002/bjs.10430.
5. Antoniou GA, Alfahad A, Antoniou SA, et al. Prognostic significance of aneurysm sac shrinkage after endovascular aneurysm repair. *J Endovasc Ther.* 2020;27(5):857–868. doi:10.1177/1526602820937432.
6. Hyhlik-Dürr A, Weber TF, Kotelis D, et al. The Endurant Stent Graft System: 15-month follow-up report in patients with challenging abdominal aortic anatomies. *Langenbecks Arch Surg.* 2011;396(6):801–810. doi:10.1007/s00423-011-0806-7.
7. van Noort K, Boersen JT, Zoethout AC, et al. Anatomical predictors of endoleaks or migration after endovascular aneurysm sealing. *J Endovasc Ther.* 2018;25(6):719–725. doi:10.1177/1526602818808296.
8. Chaikof EL, Fillinger MF, Matsumura JS, et al. Identifying and grading factors that modify the outcome of endovascular aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg.* 2002;35(5):1061–1066. doi:10.1067/mva.2002.123991.
9. Donas KP, Torsello G, Weiss K, et al. Performance of the Endurant stent graft in patients with abdominal aortic aneurysms independent of their morphologic suitability for endovascular aneurysm repair based on instructions for use. *J Vasc Surg.* 2015;62(4):848–854. doi:10.1016/j.jvs.2015.04.434.
10. Katsikas VC, Dalainas I, Martinakis VG, et al. The role of aortouniliac devices in the treatment of aneurysmal disease. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2012;16(8):1061–1071.
11. Chaikof EL, Blankensteijn JD, Harris PL, et al. Reporting standards for endovascular aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg.* 2002;35(5):1048–1060. doi:10.1067/mva.2002.123763.
12. Schanzer A, Greenberg RK, Hevelone N, et al. Predictors of abdominal aortic aneurysm sac enlargement after endovascular repair. *Circulation.* 2011;123(24):2848–2855. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.110.014902.
13. Goudeketting SR, Wille J, van den Heuvel DAF, et al. Midterm single-center results of endovascular aneurysm repair with additional endoAnchors. *J Endovasc Ther.* 2019;26(1):90–100. doi:10.1177/1526602818816099.
14. Best WB, Ahanchi SS, Larion S, et al. Abdominal aortic aneurysm anatomic severity grading score predicts implant-related complications, systemic complications, and mortality. *J Vasc Surg.* 2016;63(3):577–584. doi:10.1016/j.jvs.2015.09.029.

15. Kristmundsson T, Sonesson B, Dias N, et al. Association between the SVS/AAVS anatomical severity grading score and operative outcomes in fenestrated endovascular repair of juxtarenal aortic aneurysm. *J Endovasc Ther.* 2013;20(3):356–365. doi:10.1583/12-4155MR.1.
16. Johnson PG, Chipman CR, Ahanchi SS, et al. A case-matched validation study of anatomic severity grade score in predicting reinterventions after endovascular aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg.* 2013;58(3):582–588. doi:10.1016/j.jvs.2013.03.045.
17. Marchiori A, von Ristow A, Guimaraes M, et al. Predictive factors for the development of type II endoleaks. *J Endovasc Ther.* 2011;18(3):299–305. doi:10.1583/10-3116.1.
18. Gallagher KA, Ravin RA, Meltzer AJ, et al. Midterm outcomes after treatment of type II endoleaks associated with aneurysm sac expansion. *J Endovasc Ther.* 2012;19(2):182–192. doi:10.1583/11-3653.1.
19. Nolz R, Teufelsbauer H, Asenbaum U, et al. Type II endoleaks after endovascular repair of abdominal aortic aneurysms: fate of the aneurysm sac and neck changes during long-term follow-up. *J Endovasc Ther.* 2012;19(2):193–199. doi:10.1583/11-3803.1.
20. Leurs LJ, Kievit J, Dagnelie PC, et al. Influence of infrarenal neck length on outcome of endovascular abdominal aortic aneurysm repair. *J Endovasc Ther.* 2006;13(5):640–648. doi:10.1583/06-1882.1.
21. Marone EM, Freyrie A, Ruotolo C, et al. Expert opinion on hostile neck definition in endovascular treatment of abdominal aortic aneurysms (a Delphi consensus). *Ann Vasc Surg.* 2020;62:173–182. doi:10.1016/j.avsg.2019.05.049.
22. Dillavou ED, Muluk SC, Rhee RY, et al. Does hostile neck anatomy preclude successful endovascular aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg.* 2003;38(4):657–663. doi:10.1016/s0741-5214(03)00738-9.
23. Singh MJ, Fairman R, Anain P, et al. Final results of the Endurant Stent Graft System in the United States regulatory trial. *J Vasc Surg.* 2016;64(1):55–62. doi:10.1016/j.jvs.2015.12.048.
24. Stokmans RA, Teijink JAW, Forbes TL, et al. Early results from the ENGAGE registry: real-world performance of the Endurant stent graft for endovascular AAA repair in 1262 patients. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2012;44(4):369–375. doi:10.1016/j.ejvs.2012.07.005.
25. Rouwet EV, Torsello G, de Vries JP, et al. Final results of the prospective European trial of the Endurant stent graft for endovascular abdominal aortic aneurysm repair. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2011;42(4):489–497. doi:10.1016/j.ejvs.2011.06.008.
26. Zandvoort HJA, Gonçalves FB, Verhagen HJM, et al. Results of endovascular repair of infrarenal aortic aneurysms using the Endurant stent graft. *J Vasc Surg.* 2014;59(5):1195–1202. doi:10.1016/j.jvs.2013.12.031.
27. Carpenter JP, Baum RA, Barker CF, et al. Impact of exclusion criteria on patient selection for endovascular abdominal aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg.* 2001;34(6):1050–1054. doi:10.1067/mva.2001.120037.
28. Georgiadis GS, Trellopoulos G, Antoniou GA, et al. Early results of the Endurant endograft system in patients with friendly and hostile infrarenal abdominal aortic aneurysm anatomy. *J Vasc Surg.* 2011;54(3):616–627. doi:10.1016/j.jvs.2011.03.235.
29. Ahanchi SS, Carroll M, Almaroof B, et al. Anatomic severity grading score predicts technical difficulty, early outcomes, and hospital resource utilization of endovascular aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg.* 2011;54(5):1266–1272. doi:10.1016/j.jvs.2011.05.019.
30. Ridic G, Gleason S, Ridic O. Comparisons of health care systems in the United States, Germany and Canada. *Mater Sociomed.* 2012;24(2):112–120. doi:10.5455/msm.2012.24.112-120.
31. Pitoulias GA, Valdivia AR, Hahtapornsawan S, et al. Conical neck is strongly associated with proximal failure in standard endovascular aneurysm repair. *J Vasc Surg.* 2017;66(6):1686–1695. doi:10.1016/j.jvs.2017.03.440.
32. Oliveira-Pinto J, Soares-Ferreira R, Oliveira NFG, et al. Aneurysm volumes after endovascular repair of ruptured vs intact aortic aneurysms: a retrospective observational study. *J Endovasc Ther.* 2021;28(1):146–156. doi:10.1177/1526602820962484.

3.2 Preoperative and ICU scoring models in predicting the in-hospital mortality of patients with ruptured abdominal aortic aneurysms

Safwan Omran¹, Steffen Gröger¹, Larissa Schawe¹, Christian Berger³, Frank Konietschke², Sascha Treskatsch³, Andreas Greiner¹, and Stefan Angermair³, Berlin, Germany

Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia Available online 14 August 2021, Version of Record 10 November 2021.

<https://doi.org/10.1053/j.jvca.2021.08.015>

Trotz der bedeutenden Entwicklung von Aortenoperationstechniken in den letzten Jahrzehnten bleiben die Sterblichkeitsraten im Zusammenhang mit rupturierten abdominellen Aortenaneurysmen (RAAA) hoch. Viele Studien haben verschiedene prädiktive Scoring-Modelle entwickelt, um die RAAA-bedingte Mortalität vorherzusagen. Darüber hinaus wurden mehrere Scoring-Modelle entwickelt, um die Sterblichkeit von Patienten auf der Intensivstation (ICU) vorherzusagen.

In dieser Studie verglichen die Autoren drei RAAA-Scores – den RAAA-Risiko-Score der Vascular Study Group of New England (VSGNE) (45), den Hardman-Index (46) und den Glasgow Aneurysm Score (GAS) (47) – mit den bekanntesten ICU-Scores, einschließlich Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II (APACHE II) (48), Simplified Acute Physiology Score II (SAPS II) (49) und Sepsis-related Organ Failure Assessment Score (SOFA-Score) (50).

Mortalitätsvorhersagen für alle Patienten, einschließlich Patienten, die vor und während der Operation starben, wurden separat anhand von präoperativen Scores bewertet. Darüber hinaus wurde die Vorhersage der Sterblichkeit von Patienten, die auf der Intensivstation aufgenommen wurden, anhand der ICU- und präoperativen Scores bewertet. Die Studienpopulation wurde in zwei Gruppen eingeteilt: im Krankenhaus verstorbene Patienten (Nichtüberlebende) und entlassene Patienten (Überlebende). In Bezug auf die chirurgische Behandlung verwendeten die Autoren die „endovascular-first“-Strategie seit 2015.

Die anatomische Eignung für die endovaskuläre Aneurysma-Reparatur (EVAR) wurde von Chirurgen auf der Grundlage der Erfahrung des Chirurgen und der IFU bewertet.

In dieser retrospektiven Studie von 2011 bis 2020 wurden insgesamt 157 RAAA-Patienten erfasst. Das mittlere Alter aller Patienten betrug 74 ± 10 Jahre, und 129 (82 %) waren männlich. Die Krankenhaussterblichkeit betrug 29 % ($n = 45$), davon zehn (6 %) präoperativer Todesfälle,

13 (8 %) intraoperativer Todesfälle und 22 (14 %) postoperativer Todesfälle (ICU). Insgesamt wurden 135 Patienten (86 %) aufgrund eines RAAA operiert und anschließend intensivmedizinisch behandelt.

Bei allen Patienten zeigte der präoperative Score die höchste erreichte AUC mit dem VSGNE-RAAA-Risiko-Score (AUC = 0,87), gefolgt vom Hardman-Index (AUC = 0,83) und dem GAS-Score (AUC = 0,74). In Bezug auf Patienten, die auf der Intensivstation aufgenommen wurden, stellten wir fest, dass die AUCs für präoperative Scores, einschließlich VSGNE RAAA-Risiko-Score (AUC = 0,84), GAS-Score (AUC = 0,83) und Hardman-Index (AUC = 0,81), höher waren als die AUCs für ICU-Scores, einschließlich SAPS II (AUC = 0,75), SOFA (AUC = 0,73) und APACHE II (AUC = 0,71).

Abschließend stellten wir fest, dass ICU- und präoperative Scores die Mortalität bei RAAA-Patienten vorhersagen konnten. Darüber hinaus war die Vorhersagekraft der präoperativen Scores größer als die der ICU-Scores.

3.3 Management of Tumor- and Nontumor-related Aorto-esophageal and Aorto-bronchial Fistulas

Safwan Omran, Lavinia Ardalani, Katharina Beyer, Maximilian De Bucourt, Alexander Gombert, Matthias Buerger, Jan Paul Bernhard Frese, and Andreas Greiner, Berlin and Aachen, Germany

Annals of Vascular Surgery, Volume 72, April 2021, Pages 419-429

<https://doi.org/10.1016/j.avsg.2020.10.009>

Tumorbedingte (Tumor-related, TR) und nichttumorbedingte (Non-Tumor-related, NTR) Aorto-ösophageale Fisteln (AEF) und Aorto-bronchiale Fisteln (ABF) sind seltene Ursachen für lebensbedrohliche Hämatemesis und Hämoptysen. Es gibt nur wenige Berichte über TR-AEF und ABF in der aktuellen Literatur. AEF und ABF wurden als jede Verbindung zwischen der Brustschlagader und der Speiseröhre oder dem Luftröhrenbaum definiert. AEF und ABF aufgrund von Tumorinfiltration, Strahlentherapie, endoluminaler Vakuumtherapie oder Komplikation einer Tumoroperation, wurden als TR-Fisteln definiert. AEF und ABF aufgrund anderer Ursachen wurden als NTR-Fisteln identifiziert.

Die meisten Artikel beschreiben Einzelfallberichte oder kleine Fallserien mit 3 oder weniger Patienten (51, 52). NTR-AEF und ABF werden häufiger berichtet. Sie können nach thorakaler endovaskulärer Aortenreparatur (TEVAR) oder offener Reparatur einer thorakalen Aorta auf Grund einer Ruptur, einer penetrierenden Aortenulzeration, sowie nach vorheriger thorakaler Aortenoperation oder Fremdkörperverschlucken auftreten. Die radikale Therapie von AEF und ABF umfasst einen stufenweisen, interdisziplinären Behandlungsplan und beinhaltet den thorakalen Aortenersatz mit oder ohne Lungen- oder Ösophagusreparatur. Offene Operationen weisen ein hohes Morbiditäts- und Mortalitätsrisiko auf, das zwischen 25% und 55 % liegt (53–55). Andererseits bietet eine TEVAR eine einfachere und sicherere Alternative zu offenen Operationen. Die Ergebnisse sind jedoch aufgrund der Stentkontamination, der Notwendigkeit einer lebenslangen Antibiotikatherapie, der hohen berichteten Reinfektionsraten und der tödlichen Blutungskomplikationen umstritten.

In dieser retrospektiven Studie wurden 16 Patienten identifiziert und in unserem Krankenhaus von 2011 bis 2019 für ABF (n = 6) und AEF (n = 10) behandelt. Das Durchschnittsalter der Patienten betrug 62 Jahre (Spanne 46-81 Jahre) und 11 (69 %) waren männlich.

Von den 16 in diese Studie eingeschlossenen Patienten erhielten 13 Patienten (81 %) eine TEVAR. Ein Patient (6 %) benötigte den Ersatz der absteigenden Aorta durch ein Homograft. Zwei Malignome (13 %) wurden aufgrund fortgeschrittener Infiltrate als inoperabel eingestuft und erhielten eine palliative Strahlen- und Chemotherapie. Drei der mit TEVAR behandelten Patienten unterzogen sich einer chirurgischen Revaskularisation der linken A. subclavia (LSA).

Zu den klinischen Symptomen bei Aufnahme gehörten Hämatemesis (n = 10), Hämoptyse (n = 6) sowie hämorrhagischer Schock (n = 7). Die häufigste Ursache für AEFs war ein bösartiger Ösophagus- oder Kardiakrebs (n = 6), während für ABF die offene Reparatur der absteigenden Aorta der wichtigste prädisponierende Faktor war (n = 3). Das mediane Intervall zwischen dem Ersatz der absteigenden Aorta und der AEF/ABF-Bildung betrug 32 Jahre (Bereich 8–40 Jahre).

Zum Zeitpunkt der Präsentation hatten 4 Patienten (25 %) bakterienpositive Blutkulturen. Die am häufigsten isolierten Mikroorganismen waren *Enterococcus faecium* und *Candida albicans*.

In Bezug auf die Reparatur des Ösophagus-Defekts erhielten 3 Patienten Ösophagus-Stents; 4 Patienten unterzogen sich einer Fistulatomie mit Rekonstruktion bei 3 Patienten und einer transthorakalen Ösophagektomie mit Blindverschluss auf Höhe des Hiatus bei einem Patienten, und 3 Patienten wurden als inoperabel eingestuft.

Abschließend kommen wir zu dem Schluss, dass die Ergebnisse der endovaskulären Behandlung von NTR-ABF vielversprechend zu sein scheinen. Die Sterblichkeitsrate von Patienten mit Krebs im Endstadium bleibt hoch und ist der wichtigste und entscheidende Faktor.

3.4 Neoaortoiliac system and cryopreserved human allograft for the treatment of aortic graft infections

Safwan Omran¹, Steffen Gröger¹, Leon Bruder¹, Matthias Bürger¹, Sebastian Kapahnke¹, Haidar Haidar¹, Frank Konietschke², and Andreas Greiner¹, Berlin, Germany

Vascular, first published online May 13, 2022.

<https://doi.org/10.1177/17085381221091372>

Aortenprotheseninfektionen weisen trotz der erheblichen Fortschritte in der chirurgischen Behandlung, der perioperativen Versorgung und Antibiotikatherapie weiterhin eine hohe Morbiditäts- und Mortalitätsrate auf.

Obwohl autogene tiefe Femoralvenen (neoaortoiliac system, NAIS) und kryokonserviertes humanes Allotransplantat (cryopreserved human allograft, CHA) die niedrigsten Reinfektionsraten aufweisen (< 10 %), sind Studien, die diese beiden Methoden vergleichen, sehr selten (56). Trotz ähnlicher chirurgischer Techniken erweitert die Femoralvenenentnahme bei NAIS das chirurgische Feld und kann die Operationszeit verlängern und potenzielle Schwierigkeiten bei der Körpertemperatur verursachen. Die Auswirkung dieser Unterschiede auf das Ergebnis der beiden chirurgischen Optionen wurde jedoch noch nicht vollständig untersucht.

Der Zweck dieser Studie war es, über unsere Erfahrung in der Behandlung von Aortenprotheseninfektionen zu berichten und die kurz- und mittelfristigen Ergebnisse der Behandlung von Aortentransplantatinfektionen mit der Verwendung von neoaortoiliakalen Systemen und kryokonservierten humanen Allotransplantaten zu vergleichen.

In dieser retrospektiven Studie unterzogen sich 31 Patienten von Februar 2015 bis Mai 2021 einer in situ Aortenreparatur mit NAIS (n = 20, 65 %) oder CHA (n = 11, 36 %). Die Indikationen der Primäreingriffe umfasste ein AAA bei 21 (68 %) Patienten und ein Leriche-Syndrom bei 10 (32 %) Patienten.

Die postoperative Morbidität für alle Patienten betrug 81 %, ohne signifikanten Unterschied zwischen der NAIS- und CHA-Gruppe (85 % vs. 73 %, p = 0,638). Es gab keinen signifikanten Unterschied in der Länge des Intensivstationaufenthalts, jedoch in der Dauer des gesamten Krankenhausaufenthaltes.

Die Sterblichkeit nach 30 Tagen und nach einem Jahr betrug für alle Patienten 16 % (5/31) und 29 % (9/31), ohne signifikanten Unterschied zwischen NAIS und CHA.

Fünf NAIS-Patienten starben während des Krankenhausaufenthaltes; drei von ihnen haben schon alle weiteren Operationen abgelehnt. Nach einer mittleren Nachbeobachtungszeit von 19 Monaten waren 12 Patienten (39 %) verstorben, darunter 9 NAIS-Patienten und 3 CHA-Patienten.

Todesursachen waren Sepsis bei 5 Patienten (42 %), Ruptur bei einem (8 %), nicht-kleinzelliger Lungenkrebs bei einem (8 %) Patienten, COVID-19 bei einem (8 %) und unbekannt (8 %) bei einem Patienten.

Zusammenfassend liefern die NAIS- und CHA-Methoden kurz- und mittelfristig vergleichbare Ergebnisse bei hoher Morbidität und Mortalität. Beide Verfahren sind möglicherweise nicht für schwerkranke Patienten geeignet.

Neoaortoiliac system and cryopreserved human allograft for the treatment of aortic graft infections

Safwan Omran¹ , Steffen Gröger¹, Leon Bruder¹,
Matthias Bürger¹, Sebastian Kapahnke¹, Haidar Haidar¹,
Frank Konietzschke² and Andreas Greiner¹

Vascular
2022, Vol. 0(0) 1–8
© The Author(s) 2022



Article reuse guidelines:
sagepub.com/journals-permissions
DOI: 10.1177/17085381221091372
journals.sagepub.com/home/vas



Abstract

Objective: To report and compare neoaortoiliac system reconstruction and cryopreserved human allograft in treating aortic graft infections.

Methods: We retrospectively analysed the data of the patients treated for aorto graft infections between January 2015 and May 2021 in our hospital. The clinical data, diagnostic procedures, and surgical options were evaluated. The primary endpoint of this study was the 30-day and 1-year mortality; secondary endpoints were major postoperative complications.

Results: We retrospectively reviewed a series of 31 consecutive patients (28 males; median age 72 years, range, 50–87 years) with aortic graft infection treated with NAIS (n = 20, 65%) or cryopreserved allograft (n = 11, 36%). The clinical presentation included fever attacks in 18 (58%) patients, abdominal pain in 15 (48%) patients, haemodynamic instability in 6 (19%) patients, and haematemesis in 2 (7%) patients. The median operative time of the NAIS was longer than CHA without a statistically significant difference (458 min vs. 359 min, p = .505). The postoperative morbidity for all patients was 81%, with no significant difference between NAIS and CHA groups (85% vs. 73%, p = .638). There was no limb thrombosis of the new reconstructions. Limb loss occurred in 4 (13%) patients, including 2 (10%) NAIS patients and 2 (18%) CHA patients. One NAIS patient developed complications in the form of a distal (femoral) disruption of the vein 15 days after surgery. There were no significant differences between NAIS and CHA groups in ICU stay (12 vs 8 days, .984) but in hospitalization (22 vs 33, p = .033). The most common bacteria isolated were staphylococci strains in 15 (48%). In 13 (36%) patients, candida was positive. The in-hospital 30-day and 1-year mortality for all patients was 16% (5/31) and 29% (9/31), with no significant differences between NAIS and CHA at 30 days (25% vs. 0, p = .133) or 1 year (35% vs. 18%, .429). Five NAIS patients died during the hospital stay; three of them had end-of-life decisions. After a median follow-up of 16 months (1–66 months), 12 (39%) patients died, including 9 patients with NAIS and 3 with CHA reconstructions. The causes of death included overwhelming sepsis in 5 (42%) patients, graft disruption in one (8%) NAIS patient, non-small cell lung cancer in one (8%) patient, COVID-19 in one (8%) patient and unknown causes (8%) in one. **Conclusions:** Non-staged neoaortoiliac system reconstruction and cryopreserved human allografts show comparable short- and midterm results for treating aortic graft infections. However, both procedures remain challenging with high morbidity and mortality rates.

Keywords

neoaortoiliac system, homograft, aortic graft infection, cryopreserved human allograft

Introduction

Aortic graft infections continue to have high mortality and morbidity rates despite the significant progress in surgical treatment, perioperative care, and antimicrobial therapy. During the last decades, many studies considered removing the infected graft material and in situ reconstruction with biological material as the first-line treatment for aortic graft infections.^{1,2} Although autogenous deep femoral veins and

¹Department of Vascular Surgery, Corporate member of Freie Universität Berlin, Humboldt-Universität zu Berlin, and Berlin Institute of Health, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Germany

²Corporate member of Freie Universität Berlin, Humboldt-Universität zu Berlin, Institute of Medical Biometrics and Clinical Epidemiology and Berlin Institute of Health (BIH), Charité – Universitätsmedizin Berlin, Germany

Corresponding author:

Safwan Omran, Clinic of Vascular Surgery, Campus Charité Benjamin Franklin, Berlin Hindenburgdamm 30, Berlin 12203, Germany.
Email: Safwan.omran@charite.de

cryopreserved human allograft showed the lowest reinfection rates (<10%), the studies comparing these two methods are rare.²

Despite their similarities in the surgical techniques, the need for a femoropopliteal vein in the neoortoiliac system reconstruction expands the surgical field and may prolong the operating time and create potential difficulties in controlling body core temperature. However, the influence of these differences in the outcome of both surgical options has not been studied sufficiently.

This study aims to report our experience in treating aortic graft infections and compare the short- and midterm results of treating aortic graft infections with the use of neoortoiliac system (NAIS) reconstruction and cryopreserved human allograft (CHA).

Methods

The institutional review board of the Charité – Berlin university of medicine approved the study. All consecutive patients with aortic graft infections after EVAR and open aortic repair treated with neoortoiliac system (NAIS) reconstruction or cryopreserved human allograft (CHAs) from 2015 to 2021 in a single-centre institution were included in this study. The patients with aortic graft infections who underwent extra-anatomic reconstruction or in situ reconstruction with synthetic grafts were excluded. Data was prospectively collected in a database and retrospectively analysed.^{3,4}

All patients underwent computed tomography (CT) scans at presentation. Esophagogastroduodenoscopy (EGD) was obtained in the cases of suspected aorto-duodenal fistula.

In addition, fluorine-18-fluorodeoxyglucose positron emission tomography (FDG-PET) was performed if CT failed to confirm the diagnosis of aortic infection.

Preoperative collected and analysed data included patient demographics, cardiovascular risk factors, clinical presentation, imaging, previous aortic pathology and previous procedures.

Moreover, we calculated the timeframe between the initial aortic intervention and the development of aortic graft infection. The physical status of all patients was assessed preoperatively with the American Society of Anaesthesiologists (ASA) score. Intraoperative details that were taken into consideration included: the surgical approach, duodenal repair, use of aortic cross-clamping, graft and stent-graft removal or not, estimated blood loss and operative time.

Every patient underwent a multi-disciplinary discussion and a decision-making process with vascular surgeons, radiologists, and anaesthetists in order to enable a choice between the available surgical options. However, emergency patients needed urgent decision-making by the vascular surgeon and anaesthetist and depended on the surgeon's preference in most cases. The factors that impact

the choice of surgical approach included the urgency of the operation, the availability of cryopreserved human allografts or deep femoral vein, and the patient's comorbidities. In addition, because CHAs need more time to be obtained, NAIS was preferred in emergency cases. On the other hand, cryopreserved human allografts were the first options whenever they were available and feasible. We received CHAs from the Tissue Bank of the Charité – Universitätsmedizin Berlin within 12–24 h of our request. ABO matching between donors and recipients was obtained in all CHA cases.

Non-staged NAIS approaches were obtained in all cases. Accordingly, two separate teams were involved and worked concurrently. One team dissects femoropopliteal veins, which are left in situ until needed, and the other team performs the abdominal part of the operation.

Additionally, all obtained CHAs and autologous vascular segments were prepared and tailored on another table while operating surgeons were operating on the patient on the main table. Collateral branches of the CHA and NAIS were ligated using through-and-through polypropylene sutures.

The abdominal steps of the operation were similar in both CHA and NAIS patients. A median laparotomy was routinely performed; infrarenal aortic clamping was performed whenever possible. However, supra celiac clamping was obtained in the cases of EVAR infections to remove the stent-graft. In all cases, prosthetic graft material was removed completely, and infected native vessels and periaortic tissues were debrided to obtain as normal a macroscopical tissue as possible. All the specimens were cultured to test for aerobic and anaerobic bacteria and fungi. All CHA and NAIS reconstructions were implanted in situ. The length of the vascular segments and anastomosis was optimized appropriately without tension. Drains were routinely positioned. The infected field was covered with pedicled omentum in the abdomen and sartorius muscle flaps in the groin.

Postoperatively, all patients were admitted to the intensive care unit (ICU), received low-molecular-weight heparin twice per day during the hospital stay. In addition, the NAIS patients were administered the anticoagulant Phenprocoumon upon discharge for 3 months to lower the risk of additional deep venous thrombosis. CHA patients and NAIS patients were treated with aspirin as part of a general medical treatment for cardiovascular disease. No immunosuppressive agents for CHA patients were used.

Empiric intravenous antibiotic therapy was administered until results of cultures were available. All patients received postoperative intravenous antibiotics and antifungal treatment for 4–6 weeks, followed by oral antibiotics for 3 months.

Follow-up examinations included clinical visits, echocolor-Doppler ultrasound, or computed tomography angiography within 30 days after the treatment, and from then on twice per year.

Primary outcomes were overall survival and in-hospital and 1-year mortality. Secondary outcomes included major perioperative and late complications and reinterventions.

Statistical methods

We descriptively analysed the data and reported the results on an individual level. We presented categorical data as frequencies (percentages) and continuous data as median (range). Endpoints analyses between subgroups were compared using the Chi-square test or Fisher exact test, as deemed appropriate. Survival curves were computed using Kaplan–Meier. All statistical analyses were performed using IBM SPSS Statistics 25 software.

Results

Between February 2015 and May 2021, a total of 713 abdominal aortic repairs, comprised of 393 open procedures and 320 EVARs, were performed in our institution. A total of 56 patients were operated on for aortic graft infection, accounting for about 7.7% of all abdominal aortic repairs in our hospital. Of those, 31 patients (28 males; median age 72 years, range, 50–87 years) underwent in situ aortic repairs with NAIS ($n = 20$, 65%) or cryopreserved allograft ($n = 11$, 36%). The aetiology of the initial procedures included AAA in 21 (68%) patients and Leriche syndrome in 10 (32%) patients. Previous procedures included primary open aortic repair in 23 (74%) patients, EVAR in 4 (13%) patients, and open conversion after EVAR in 3 (10%) patients. One (3%) patient with a mycotic aneurysm had had no previous operations. Two (7%) patients had had early (<4 months) infections and 28 (90%) late (≥ 4 months) infections.

On average, the interval between initial aortic procedure and AGI was 49 months (range, 1–262 months) with no statistical difference between EVAR (median 35 months, range 5–71 months) and open aortic repair (median 49 months, range 1–262 months) and $p = .402$.

Eight (26%) patients had aorto-duodenal fistulas at presentation, including 3 (10%) patients with true fistula and five (16%) patients with paraprostatic–enteric fistula.

The clinical presentation included fever attacks in 18 (58%) patients, abdominal pain in 15 (48%) patients, haemodynamic instability in 6 (19%) patients, and haematemesis in 2 (7%) patients. Four (13%) patients had cardiac resuscitation at presentation due to bleeding or septic shock. They all underwent NAIS procedures, and three of them died within 30 days after the operation. Patient comorbidities and clinical signs are listed in Table 1.

Regarding the diagnostic instruments, Abdominal/pelvic CT scans were performed on all patients. Leading diagnostic CT findings included periprosthetic fluid collection in 29 (94%) patients, trapped air in 13 (42%), a proximal false anastomotic aneurysm in 2 (6%) and psoas abscess in 7

(23%) patients. Esophagogastroduodenoscopy was obtained in nine (29%) patients with suspected aorto-duodenal fistula. Blood in the duodenum was shown in four patients. However, a fistula could not be identified by using EGD in any patient.

FDG-PET was performed in four patients (13%) and showed signs of graft infections in all cases. In addition, bacteriologic specimens were collected from blood, graft and intraabdominal tissues for culture studies. The results of cultures are summarized in Table 2.

The most common bacteria isolated were staphylococci strains in 15 (48%) of those, methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) in 3 (10%) patients. In 7 (23%) cases, bacterial growth remained negative, 9 (29%) patients had a mono-bacterial infection, and 15 (48%) had a polymicrobial infection. In 13 (36%) patients, candida was positive, including *Candida albicans* in nine patients, *Candida glabrata* in three patients and *Candida parapsilosis* in one patient.

The details of the surgical treatment and complications are depicted in Table 3. According to the aortic clamping, nine (29%) patients underwent supra celiac clamping; all were NAIS patients (39% vs. 0, $p = .015$), and two patients underwent suprarenal clamping. Both of them were CHAs. The rest of the patients ($n = 20$) underwent infrarenal clamping. The median time of the supra celiac clamping was 21 min (range, 6–30 min).

The median operative time of the NAIS was longer than CHA without a statistically significant difference (458 min vs. 359 min, $p = .505$). The primary technical success was achieved in all cases.

The postoperative morbidity for all patients was 81%, with no significant difference between NAIS and CHA groups (85% vs. 73%, $p = .638$). There was no limb thrombosis of the new reconstructions. However, six (19%) patients developed complications with distal embolization and needed embolectomy of the peripheral arteries. Of those two (10%) NAIS patients developed compartment syndrome with the need for fasciotomy. Limb loss occurred in 4 (13%) patients, including 2 (10%) NAIS patients and 2 (18%) CHA patients. They all had a chronic peripheral arterial disease, and three of them had irreversible ischaemia on presentation with occlusion of the femoral artery. In addition, one NAIS patient developed complications with distal (femoral) disruption of the vein 15 days after surgery and died with hemorrhagic shock. Another CHA patient developed bleeding from a degenerated side branch of the CHA graft 18 days after surgery. The patient underwent a stent-graft to stop the bleeding and survived with otherwise unremarkable follow-up.

There were no significant differences between NAIS and CHA groups in ICU stay (12 vs 8 days, $p = .984$) but one in hospitalization (22 vs 33, $p = .033$).

The in-hospital 30-day and 1-year mortality for all patients was 16% (5/31) and 29% (9/31), with no significant

Table 1. Descriptive characteristics and clinical presentation.

Characteristics	Total	NAIS	CHA	P
Number	31 (100)	20 (65)	11 (36)	
Demographics				
Age (median, range, y)	72 (50, 87)	74 (50, 87)	66 (57, 78)	.029
Male	28 (90)	18 (90)	10 (91)	I
Risk factors				
Coronary artery disease	13 (42)	8 (40)	5 (46)	I
Diabetes mellitus	7 (23)	3 (15)	4 (36)	.210
Hypertension	27 (87)	18 (90)	8 (82)	.601
Hyperlipoproteinemia	10 (32)	7 (35)	3 (27)	I
Previous stroke	4 (13)	2 (10)	2 (18)	.601
COPD	12 (39)	8 (40)	4 (36)	I
Chronic renal insufficiency	12 (39)	10 (50)	2 (18)	.128
Smoking	13 (42)	10 (50)	3 (27)	.275
Peripheral vascular disease	16 (52)	8 (40)	8 (73)	.081
Malignancy	7 (23)	4 (20)	3 (27)	.676
ASA class				
II	1 (3)	0	1 (9)	
III	27 (87)	19 (95)	8 (73)	
IV	3 (10)	1 (5)	2 (18)	
Aetiology of the initial procedure				
AAA	21 (68)	16 (80)	5 (46)	.106
Leriche syndrome	10 (32)	4 (20)	6 (55)	.106
Previous procedures				
None (mycotic aneurysm)	1 (3)	1 (5)	0	
EVAR	4 (13)	4 (20)	0	
Primary open aortic repair	23 (74)	12 (60)	11 (100)	
Open conversion after EVAR	3 (10)	3 (15)	0	
Aorto-duodenal fistula	8 (26)	6 (30)	2 (18)	.676
True ADF	3 (10)	2 (10)	1 (9)	
PPEF	5 (16)	4 (20)	1 (9)	
Clinical presentation				
Fever attacks	18 (58)	15 (75)	3 (27)	.021
Resuscitation at presentation	4 (13)	4 (20)	0	.269
Haematemesis	2 (7)	1 (5)	1 (9)	I
Haemodynamic instability	6 (19)	3 (15)	3 (27)	.638
Psoas abscesses	7 (23)	5 (25)	2 (18)	I
Abdominal pain	15 (48)	11 (55)	4 (36)	.320
Leucocytes more than 10	11 (36)	7 (35)	4 (36)	I

NAIS: Neoaortoiliac system; CHA: cryopreserved human allograft; ADF: Aorto-duodenal fistula; CPR: cardiopulmonary resuscitation; EVAR: endovascular aortic repair; OAR: open aortic repair; PPEF: paraprosthesis-enteric fistula.

differences between NAIS and CHA at 30 days (25% vs. 0, $p = .133$) or 1 year (35% vs. 18%, $.429$). The cumulative survivals of the NAIS and CHA patients were (65% vs. 82%) at 1 year and (65% vs. 61%) at 2 years, including the perioperative deaths (Figure 1). Five NAIS patients died during the hospital stay; three of them had end-of-life decisions. After a median follow-up of 19 months (1–66 months), 12 (39%) patients died, including nine patients with NAIS and 3 with CHA reconstructions.

The causes of death included overwhelming sepsis in 5 (42%) patients, graft disruption in one (8%) NAIS patient, non-small cell lung cancer in one (8%) patient, COVID-19 in one (8%) patient and unknown (8%) in one.

Postoperative intravenous antibiotics and antifungals were administered in our patients for at least 6 weeks, based on the isolated strains. The administration of oral suppressive antibiotics depended on the clinical and laboratory parameters of infection.

Discussion

Infections after EVAR and open aortic repair are rare and represent about 0.5–2% of aortic surgeries.^{5–8} Many surgical techniques have been described for treating aortic graft

infections, including in situ and extra-anatomic reconstructions. However, in situ reconstructions with neo-aortoiliac system or cryopreserved human allografts have the lowest infection rates (0–7%) and have been considered the best option for replacing infected aortic grafts in many studies.^{9,2}

Table 2. Micro-organisms cultured.

	Total	NAIS	CHA
Blood cultures	31 (100)	20 (65)	11 (36)
Positive culture	24 (77)	15 (75)	9 (82)
Mono-bacterial infection	9 (29)	7 (35)	2 (18)
Polymicrobial infection	15 (48)	8 (40)	7 (64)
<i>Escherichia coli</i> , n (%)	7 (23)	4 (20)	3 (27)
<i>Staphylococcus spp</i>	15 (48)	8 (40)	7 (64)
<i>Streptococcus spp</i>	4 (13)	1 (5)	3 (27)
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	8 (26)	4 (20)	4 (36)
<i>Bacteroides fragilis</i>	1 (3)	0	1 (9)
<i>Enterococcus faecium</i>	5 (16)	3 (15)	2 (18)
<i>Enterococcus faecalis</i>	3 (10)	1 (5)	2 (18)
Candida	13 (42)	10 (50)	3 (27)

Many studies reported excellent results using NAIS with reported 30-days mortalities of 0–15%.^{10–14} Nevertheless, our results show that not all patients with aortic graft infections are suitable for such complex procedures as NAIS. Therefore, the patient's overall clinical status, cardiorespiratory capacity, imaging, and laboratory findings should be carefully evaluated preoperatively.¹⁵

There were very complex cases in the current study, including four patients who had needed cardiac resuscitation at presentation because of bleeding or septic shock; four patients had developed graft infection after open conversion of EVAR, and eight cases aorto-duodenal fistulas. These factors influence the operating time as well as the surgical preparation and aortic reconstruction. Another critical factor is the end-of-life decision of the patients and their relatives

Table 3. Details of the surgical treatment, complications and outcome.

Variables	Total	NAIS	CHA	P
Number	31 (100)	20 (65)	11 (36)	
Aortic clamping				
Supra celiac	9 (29)	9 (45)	0	.012
Supra renal	2 (7)	0	2 (18)	.118
Infrarenal	20 (65)	11 (55)	9 (82)	.241
Operating time – minutes	447 (250–666)	458 (250–580)	359 (303–666)	.505
Packed red blood cells	10 (4–49)	13 (4–49)	9 (4–11)	.027
Operative reconstruction				
Aortic tube	1 (3)	1 (5)	0	
Aortobiiliac	12 (39)	11 (55)	1 (9)	
Aortobifemoral	18 (58)	8 (40)	10 (91)	
Complications				
Graft disruption	2 (7)	1 (5)	1 (9)	1
Ischaemic colitis	4 (13)	4 (20)	0	.269
Inguinal limb ischaemia	6 (19)	4 (20)	2 (18)	1
Compartment syndrome	2 (7)	2 (10)	0	.527
Pneumonia	10 (32)	8 (40)	2 (18)	.262
Renal dysfunction	14 (45)	10 (50)	4 (36)	.707
Multiple organ failure	5 (16)	4 (20)	1 (9)	.631
Major amputations	4 (13)	2 (10)	2 (18)	.601
Surgical revision	14 (45)	9 (45)	5 (46)	1
In-hospital complications	25 (81)	17 (85)	8 (73)	.638
Outcome				
ICU Time – days	8 (2–34)	12 (2–29)	8 (2–34)	.984
Hospitalization time – days	25 (2–85)	22 (2–51)	33 (15–85)	.033
30-day operative mortality	5 (16)	5 (25)	0	.133
One-year mortality	9 (29)	7 (35)	2 (18)	.429
Overall mortality	12 (39)	9 (45)	3 (27)	.452

*rupture of a venous graft; **right uretero-arterial fistula with a homograft.

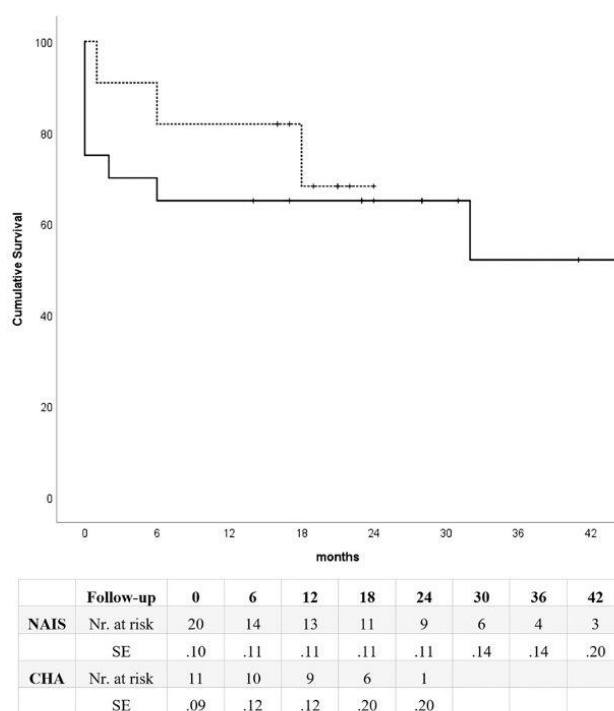


Figure 1. Kaplan-Meier survival estimates of the patients treated with Neoortoiliac system and cryopreserved human allograft (Kaplan-Meier log-rank test, $p = .595$).

after operations. The treatment of these patients needs extended ICU stay and rehabilitation, which induces patients and relatives to decide to stop the suffering in some cases.

NAIS procedures have many advantages including, excellent patency, better limb salvage rate and lack of recurrent infection. On the other hand, these complex and prolonged procedures show many impediments, including extensive operating times, significant blood loss, difficulty in controlling body core temperature and venous complications.¹⁶

Although the simultaneous work of two surgical teams can potentially reduce the procedure time, the difficulties in controlling the temperature and fluids of the patients stay challenging in the patients after non-staged NAIS (Figure 2). Therefore, staging the NAIS procedure over 2 days, with harvesting the femoral vein 1 day earlier than the revascularization procedure, was advocated in many studies.^{17,18} On the other hand, staged procedures run the risk of the vein not being used if the proximal anastomosis with the aortic neck is technically impossible.¹⁵

Although CHA reconstruction has no in-hospital mortalities compared to NAIS in the current study, both have comparable high complications and morbidity rates. These complications included major amputations, limb ischaemia, sepsis, cardiopulmonary complications, compartment syndrome requiring fasciotomy and wound infections.

Some studies reported a fasciotomy rate of 25% after NAIS procedures.¹⁹ However, in the current study, 10% of the NAIS patients and none of the CHA patients developed compartment syndromes with the need for fasciotomy.

In situ reconstruction with NAIS or CHAs is the first-line therapy in our institution. However, NAIS and CHAs stay demanding procedures for the patient and the vascular team and are not appropriate for very sick patients, severe sepsis or rapid active bleeding control. On the other hand, conservative approaches, such as percutaneous periaortic drainage, graft lavage or omental flap, are contraindicated in cases of aorto-enteric fistula. Additionally, NAIS is contraindicated in patients with a history of deep venous thrombosis.

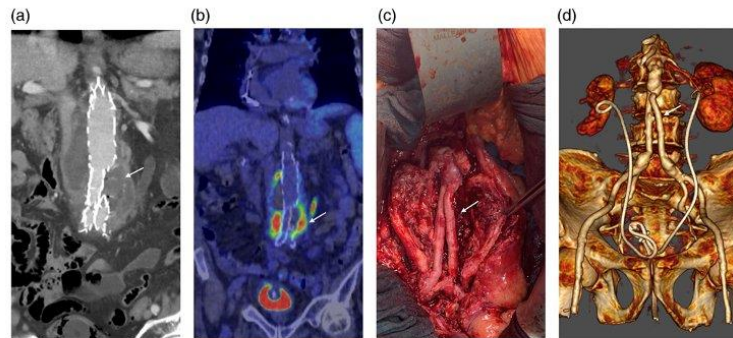


Figure 2. (a) Contrast computed tomography scan demonstrating fluid and air bubbles around the stent-grafts (arrow), (b) PET-CT with F18-FDG revealing intense uptake in the infrarenal aorta around the stent-graft (arrow). (c) Intraoperative imaging showing in situ surgical repair using the femoral vein (Pantaloons configuration of neo-aortoiliac segment) (arrow), (d): Postoperative computed tomography scan with a 3D reconstruction of the aortic repair.

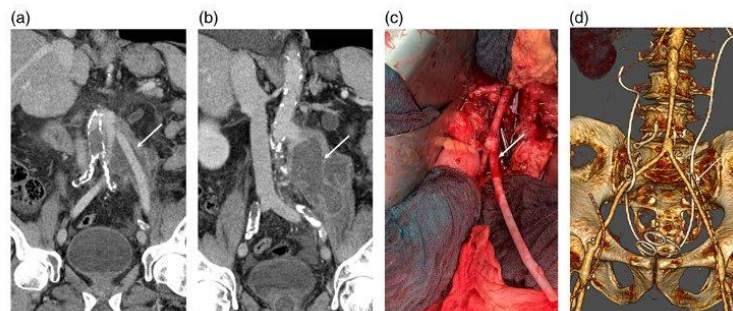


Figure 3. (a, b) Contrast computed tomography scan demonstrating fluid around the aortic graft and abscess extending to the left psoas muscle (arrows), (c) Intraoperative imaging showing aortobifemoral bypass using a homograft (arrow), (d): Postoperative computed tomography scan with a 3D reconstruction of the aortic repair.

The operating team can also select the appropriate CHAs for the reconstruction based on their calibre and length (Figure 3). In contrast, the surgeon may encounter numerous difficulties in obtaining the appropriate length and diameter of deep femoral and popliteal veins, especially when aorto-bifemoral reconstruction is necessary.

Although rare, anastomotic disruption has been described with the use of NAIS and CHA.^{14,20} For example, one patient with NAIS developed graft degeneration of the femoral anastomosis in our series because of persistent sepsis. Additionally, one CHA patient developed degeneration and bleeding from one of the allograft side branches but was treated successfully with a stent-graft.

Other problems related to the use of NAIS and CHA include intimal hyperplasia at the anastomotic sites, kinks and reinfection.¹⁶

Our results showed that not every patient with an aortic graft infection is suitable for NAIS reconstruction. However, patients with a suitable general situation have excellent results after NAIS or CHA compared to traditional single-stage or multistage extra-anatomic bypass followed by resection of infected aortic grafts.^{2,9}

Microorganisms can be identified in 75–98% of the cases.² In the current study, specimens were positive in 77% of the cases, and staphylococci strains were the most common bacteria isolated.

This study is limited by its retrospective nature and the relatively small number of patients. Additionally, there is a selection bias because most patients needed individual surgical decisions for the treatment. Additionally, selecting NAIS in the emergent situation where CHA is impossible may represent a treatment bias. However, the high mortality

rate of these patients may point to the fact that further evaluation of the NAIS as an option in emergent situations is needed.

Conclusion

NAIS and CHA procedures show comparable short- and midterm results with high morbidity and mortality rates. Both procedures are demanding and may not be appropriate for very sick patients.

Declaration of Conflicting Interests

The author(s) declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

Funding

The author(s) received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

Ethical approval

The Ethics Committee of the Charité – Universitätsmedizin Berlin approved this study (Number: EA4/017/19).

ORCID iD

Safwan Omran  <https://orcid.org/0000-0002-7342-7182>

References

- Argyriou C, Georgiadis GS, Lazarides MK, et al. Endograft infection after endovascular abdominal aortic aneurysm repair: a systematic review and meta-analysis. *J Endovasc Ther* 2017; 24(5): 688–697.
- Chakfé N, Diener H, Lejay A, et al. Editor's choice - European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2020 clinical practice guidelines on the management of vascular graft and endograft infections. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2020; 59(3): 339–384.
- Omran S, Raude B, Bürger M, et al. Aortoduodenal fistulas after endovascular abdominal aortic aneurysm repair and open aortic repair. *J Vasc Surg* 2021; 74(3): 711–719.e1.
- Omran S, Ardalani L, Beyer K, et al. Management of tumor- and nontumor-related aorto-esophageal and aorto-bronchial fistulas. *Ann Vasc Surg* 2021; 72: 419–429.
- Verma H, Mohan S and Tripathi RK. Pantaloon femoral vein graft as "neo-aorta" in infected aortic disease. *J Vasc Surg* 2015; 62(4): 1083–1088.
- Young RM, Cherry KJ, Davis PM, et al. The results of in situ prosthetic replacement for infected aortic grafts. *Am J Surg* 1999; 178(2): 136–140. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002961099001464>.
- Cernohorsky P, Reijnen MMPJ, Tielliu IFJ, et al. The relevance of aortic endograft prosthetic infection. *J Vasc Surg* 2011; 54(2): 327–333.
- Laser A, Baker N, Rectenwald J, et al. Graft infection after endovascular abdominal aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg* 2011; 54(1): 58–63.
- Chaikof EL, Dalman RL, Eskandari MK, et al. The Society for Vascular Surgery practice guidelines on the care of patients with an abdominal aortic aneurysm. *J Vasc Surg* 2018; 67(1): 2–77.e2.
- Cardozo M. Use of superficial femoral vein in the treatment of infected aortoiliac prosthetic grafts. *Cardiovasc Surg* 2002; 10(4): 304–310.
- Daenens K, Fourneau I and Nevelsteen A. Ten-year experience in autogenous reconstruction with the femoral vein in the treatment of aortofemoral prosthetic infection. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2003; 25(3): 240–245.
- Beck AW, Murphy EH, Hocking JA, et al. Aortic reconstruction with femoral-popliteal vein: graft stenosis incidence, risk and reintervention. *J Vasc Surg* 2008; 47(1): 36–43; discussion 44.
- Aavik A, Lieberg J, Kals J, et al. Ten years experience of treating aorto-femoral bypass graft infection with venous allografts. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2008; 36(4): 432–437.
- Vogt PR, Brunner-LaRocca H-P, Lachat M, et al. Technical details with the use of cryopreserved arterial allografts for aortic infection: influence on early and midterm mortality. *J Vasc Surg* 2002; 35(1): 80–86.
- Klonaris C, Patelis N, Katsargyris A, et al. Neo-aortoiliac system procedure to treat infected aortic grafts. *Ann Vasc Surg* 2017; 44: 419.e19–419.e25.
- Lopera JE, Trimmer CK, Josephs S, et al. Neo-aortoiliac reconstructions using femoropopliteal veins: MDCT angiography findings. *AJR Am J Roentgenol* 2008; 191(2): 569–577.
- Nordanstig J, Tömgren K, Smidfelt K, et al. Deep femoral vein reconstruction of the abdominal aorta and adaptation of the neo-aortoiliac system bypass technique in an endovascular era. *Vasc Endovascular Surg* 2019; 53(1): 28–34.
- Ali AT, McLeod N, Kalapatapu VR, et al. Staging the neo-aortoiliac system: feasibility and short-term outcomes. *J Vasc Surg* 2008; 48(5): 1125–1130; discussion 1130-1.
- Ali AT, Modrall JG, Hocking J, et al. Long-term results of the treatment of aortic graft infection by in situ replacement with femoral popliteal vein grafts. *J Vasc Surg* 2009; 50(1): 30–39.
- Simmons CD, Ali AT, Foteh K, et al. Unilateral inline replacement of infected aortofemoral graft limb with femoral vein. *J Vasc Surg* 2017; 65(4): 1121–1129.

3.5 Aortoduodenal fistulas after endovascular abdominal aortic aneurysm repair and open aortic repair

Safwan Omran, MD, Ben Raude, MD, Matthias Bürger, MD, Sebastian Kapahnke, MD, Jan Christoph Carstens, MD, Haidar Haidar, MD, Frank Konietschke, MD, Jan Paul Frese, MD, and Andreas Greiner, MD, Berlin, Germany

Journal of Vascular Surgery, Volume 74, Issue 3, September 2021, Pages 711-719.e1

Accepted 11 February 2021, Available online 5 March 2021, Version of Record 20 August 2021.

<https://doi.org/10.1016/j.jvs.2021.02.027>

Die aorto-duodenale Fistel (ADF) ist eine seltene Erkrankung mit einer Inzidenz zwischen 0,6 % und 4 % (57). ADF ist eine bekannte Komplikation der offenen Aorten Chirurgie, da die Aortennähte die Ursache für die Bildung von Aortenfisteln sein können. Im Gegensatz dazu ist die Entwicklung von ADFs nach EVAR eine relativ neue Krankheit und wurde in der Literatur selten beschrieben. Die genauen Mechanismen, die zu ADF nach EVAR führen, bleiben aufgrund des Fehlens von Nähten noch unklar, was ADF nach EVAR höchst unwahrscheinlich macht (58–60).

Trotz der Unterschiede in der Ätiologie haben ADFs nach EVAR und offener Aortenoperation identische therapeutische Ansätze. Diese umfassen gezielte Antibiotikatherapie, Entfernung der Implantate, Arterienrekonstruktion und Zwölffingerdarmreparatur. Die Arterienrekonstruktion umfasst die in-situ-Rekonstruktion (ISR) und extraanatomische Rekonstruktion (EAR).

In diese monozentrische retrospektive Studie wurden alle konsekutiven ADF-Patienten unserer Klinik von 2015 bis 2020 eingeschlossen. Wir teilten die Patienten nach initialem Aortenersatz in zwei Gruppen ein: ADF nach EVAR (ADF-EVAR-Gruppe) und ADF nach OAR (ADF - OAR-Gruppe). ADF nach OAR wird immer sekundär zum offenen Aortenersatz sein. ADFs nach EVAR gelten jedoch als primär, wenn sich die ADF zwischen dem Duodenum und der Aneurysmawand ohne direkte Verbindung zum Stent gebildet hat, und als sekundär, wenn die ADF zwischen dem Stent und dem Duodenum entstanden ist.

Darüber hinaus unterscheiden wir zwei Arten von ADF: echte ADF und paraprosthetische enterische Fisteln (PPEFs). Eine echte ADF ist definiert als Aorten- und Darmlumenverbindungen mit gleichzeitiger gastrointestinaler (GI) Blutung. PPEFs ist

gekennzeichnet durch Erosion des Darms durch eine darunterliegende Prothese mit der Entwicklung einer Protheseninfektion.

Unter Verwendung dieser Definitionen werden die primäre ADF-EVAR als PPEF klassifiziert. Ösophagogastroduodenoskopie und eine Computertomographie (CT) wurden durchgeführt, um die Diagnose von ADF zu bestätigen. Eine Fluor-18-Deoxyglukose-markierte-Positronen-Emissions-Tomographie wurde durchgeführt, wenn der CT-Scan-Ergebnisse die Diagnose einer ADF nicht bestätigten.

Von Februar 2015 bis Mai 2020 wurden 24 Patienten (davon 20 Männer) für ADF nach EVAR oder OAR rekrutiert, was 4,3 % aller abdominellen Aortenoperationen in unserem Krankenhaus entspricht. Von den 24 ADF-Patienten waren 9 (37,5 %) in der ADF-EVAR-Gruppe und 15 (62,5 %) in der ADF-OAR-Gruppe. Das mediane Zeitintervall zwischen EVAR und der Diagnose von ADF betrug 68 Monate (Bereich 6–83 Monate) und zwischen OAR und der Diagnose von ADF 80 Monate (Bereich 1–479 Monate). Klinische Manifestationen hingen mit der Art der ADF zusammen. Die 15 Patienten mit echten ADFs hatten hauptsächlich Anzeichen von Magen-Darm-Blutungen, die sich bei 9 Patienten mit Zeichen eines Schocks und bei 6 Patienten in milderer Form zeigten. Zwei dieser Patienten mussten bei der Aufnahme reanimiert werden. Alle neun PPEF-Patienten hatten Anzeichen einer Implantatinfektion, einschließlich Fieber, Leukozytose und erhöhtem C-reaktivem Protein im Serum.

Drei der ADF-EVAR-Patienten lehnten eine offene chirurgische Behandlung wegen des hohen Operationsrisikos ab und zwei Patienten beendeten nach 7 und 8 Monaten die Nachsorge. Die verbleibenden sechs Patienten (66,6 %) wurden einer offenen ADF-Operation unterzogen, darunter vier (44 %) ISRs und zwei (22 %) EARs. Alle 15 ADF-OAR Patienten wurden chirurgisch behandelt, hiervon ISR bei acht Patienten (53 %), EAR bei sechs Patienten (40 %) und Entfernung ohne Rekonstruktion bei einem Patienten (7 %).

Zusammenfassend stellten wir fest, dass Patienten mit ADF nach EVAR oder OAR ein sehr begrenztes Gesamtüberleben hatten. Beide Erkrankungen zeigten ähnliche Behandlungsmöglichkeiten sowie postoperative Mortalität. In unserer Studie schien die postoperative Gesamtmorbidität in der ADF-OAR-Gruppe höher zu sein.

3.6 Isolated Ruptured Paravisceral Penetrating Aortic Ulcers

Safwan Omran, Ben Raude, Larissa Schawe, Jan Christoph Carstens, Stefan Angermair, Christian Berger, Frank Konietschke, Sascha Treskatsch, and Andreas Greiner, Berlin, Germany

Annals of Vascular Surgery, Accepted 19 September 2021, Available online 12 November 2021.

<https://doi.org/10.1016/j.avsg.2021.09.042>

Die penetrierende Aortenulzeration (PAU) ist eine atherosklerotische Läsion mit Ulzeration, die die innere elastische Lamina der Aorta in die Tunica media der Aorta durchdringt. Traditionell gehört die PAU zur Entität des akuten Aortensyndroms, eben dem intramuralen Hämatom und der akuten Aortendissektion (61). In dieser Studie berichteten wir über rupturierte penetrierende Aortenulzera in Aortenzone 4 (para-viszerale PAUs, PV-PAUs). Diagnostische Kriterien für eine PV-PAU- Ruptur in der CT-Angiographie sind das Vorhandensein eines fokalen Kontrastmittelaustritts mit Penetration durch die Aortenwand sowie die Anwesenheit eines Hämatoms im angrenzenden Gewebe. Um die genaue Lage der PAUs zu bestimmen, wurde Zone 4 der Aorta gemäß den Berichtsstandards der Society for Vascular Surgery (the Society for Vascular Surgery's reporting standards) in die drei Segmente A, B und C unterteilt (62, 63). Dementsprechend erstreckt sich Segment A vom Ursprung des Truncus coeliacus bis zur Spitze der Arteria mesenterica superior. Segment B umfasst den Ursprung der Arteria mesenterica superior und die suprarenale Aorta. Schließlich repräsentiert Segment C die pararenale Aorta.

Für die Behandlung von rupturierten PV-PAUs wurden drei chirurgische Optionen in Betracht gezogen: parallele Stent-Graft-Techniken, Hybridverfahren und offene Aortenreparatur. Zu den Faktoren, die bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt wurden, gehörten Komorbiditäten, die Lage der PAU, die Anatomie der Aorta und der viszeralen Gefäße sowie die hämodynamische Instabilität bei der Aufnahme. Daher ist die endovaskuläre Behandlung die bevorzugte Option für Patienten mit hohem Risiko bei offener Operation.

Während des Studienzeitraums von 2015 bis 2020 wurden insgesamt 16 Patienten (11 Männer; mittleres Alter 68 Jahre; Bereich 54–80 Jahre) mit isolierter rupturierter PV-PAU in die Studie eingeschlossen. Hinsichtlich der Lage der PV-PAU in Zone 4 befanden sich 8 (50 %) PV-PAUs in Segment A, 5 (31 %) in Segment B und 3 (19 %) in Segment C.

Alle Patienten wurden am Tag der Erstvorstellung operiert. Die offene Aortenreparatur war die am häufigsten verwendete Behandlung (11/16, 69 %), gefolgt von Hybridverfahren (3/16, 19 %) und parallelen Stent-Graft-Techniken (2/16, 12 %).

Zusammenfassend stellt die offene Aortenreparatur die am häufigsten verwendete Behandlungsoption für rupturierte PV-PAUs in unserem tertiären Krankenhaus dar. Hybridverfahren und parallele Stent-Graft-Techniken können jedoch bei ausgewählten Patienten eine alternative Behandlung darstellen.

4 Diskussion

Da die Zahl der Aortenaneurysmen in Deutschland und weltweit zunimmt, gewinnt die Definition und Klassifizierung von Aortenaneurysmen nach Komplexität der Operation noch mehr an Bedeutung (64). Dies kann auf die Ressourcenplanung und die Kosteneffektivität der Operationen in Krankenhäusern Einfluss nehmen. Während Standardoperationen in peripheren Krankenhäusern durchgeführt werden können, sollten komplexe Aortenoperationen nur in dafür spezialisierten Krankenhäusern durchgeführt werden (40, 65).

In diesem Zusammenhang können Verfahren wie EVAR, TEVAR und infrarenale Aortenoperationen in peripheren Krankenhäusern geplant werden. Allerdings muss eine Mindestanforderung für diese Operationen gewährleistet sein. Das bedeutet nicht nur Instrumente, Röntgengeräte und eine Intensivstation, sondern auch erfahrene Chirurgen und Anästhesisten, die diese Operation durchführen können. FEVAR und gebrachte TEVAR erfordern einen höheren apparativen und personellen Aufwand und sind daher in einem kleinen Krankenhaus schwieriger zu organisieren. Diese Operationen sind jedoch durchführbar, wenn die Expertise vorhanden ist.

Bei komplexen Operationen wie Rezidivaortenoperationen, Aortenrupturen, komplexen Hybridoperationen oder thorakoabdominalen Aortenprozeduren ist ein Höchstmaß an Ausstattung und persönlicher chirurgischer Kompetenz eine absolute Voraussetzung für die Durchführung solcher Operationen. Dazu gehören unter anderem ein Hybrid-OP, Homograft-Lagerung, endovaskuläre Konsignationslager, Neuromonitoring und erweiterte Anästhesie und Intensivpflege.

Zudem können finanzielle Interessen hinter der Einstufung stehen, da Behandlungskosten und Verweildauer bei Patienten mit komplexen Operationen deutlich steigen. Dies kann bei der Planung der Ressourcen wichtig sein, die zur Behandlung dieser Pathologien benötigt werden. Darüber hinaus bietet die Entwicklung von Klassifizierungskriterien eine Grundlage für die Vorhersage von Ergebnissen und Mortalität und hilft bei der Aufklärung von Patienten und Angehörigen.

4.1 Beitrag der vorgestellten Arbeiten

In den vorgestellten Arbeiten haben wir das Spektrum von Standard und komplexen Aortenerkrankungen abgedeckt. Artikel 1 beschreibt die Erfahrungen mit der EVAR-Behandlung von elektiven infrarenalen Aortenaneurysmen mit dem Endurant II Stent-Graft. Hierbei handelt es sich in den meisten Fällen um eine Standardoperation, wobei Patienten mit hohem Score (ASG-Score > 14) im Vergleich zu Patienten mit niedrigem Score (ASG-Score < 14) eine erhöhte Verfahrenskomplexität, Zeit und Strahlungsdauer aufweisen. Anatomische Merkmale von Aneurysmen gelten als die Hauptfaktoren, die die Eignung für EVAR bestimmen (66–69). Faktoren wie Aortenhalswinkel, Aortenhalslänge, Aortenhalsdurchmesser, Iliakalarterienwinkel, Iliakaldurchmesser und distale Fixationslänge werden üblicherweise als Hauptdeterminanten angesehen (70). Das von der SVS/AAVS etablierte ASG-Bewertungssystem klassifiziert Faktoren, von denen bekannt ist oder von denen allgemein angenommen wird, dass sie das Ergebnis von EVAR beeinflussen. Der ASG Score ermöglicht es Forschern, Ergebnisse zu vergleichen und zu stratifizieren, aber es wurden nur wenige Studien durchgeführt, um die Nützlichkeit eines vollständigen Scoring-Systems zu bestätigen.

In unserer Studie verwendeten wir den Endurant II Stent-Graft (Medtronic Inc, Minneapolis, Minnesota) für alle EVAR-Verfahren für rupturierte und elektive AAAs. Der Zweck dieser Studie besteht jedoch darin, über unsere Erfahrungen mit dem Stentgraft Endurant II bei der Behandlung von elektiven AAAs in Bezug auf ASG-Scores zu berichten. Wir fanden heraus, dass die endovaskuläre Therapie von Aneurysmen mit Endurant II sowohl bei Patienten mit geringem als auch mit hohem Score sicher zu sein scheint. Patienten in der High-Score-Gruppe hatten jedoch mehr Implantat bedingte Komplikationen und eine höhere mittelfristige Mortalität als Patienten in der Low-Score-Gruppe.

In Artikel 2 zeigen wir unsere Erfahrung in der Behandlung rupturierter Bauchaortenaneurysmen, die zwischen 2011 und 2020 in der Charité Universitätsmedizin Berlin behandelt wurden. Viele Studien haben versucht, Variablen zu identifizieren, die eine RAAA-bedingte Mortalität vorhersagen können, und viele haben verschiedene Vorhersage- und Bewertungsmodelle entwickelt. Darüber hinaus wurden viele Scoring-Modelle entwickelt, um die Patientensterblichkeit auf der Intensivstation (ICU) vorherzusagen.

Wir haben zwei Arten von Scoring-Modellen definiert, einschließlich präoperativer und ICU-Scoring-Modelle. Die präoperativen Scores umfassten den den RAAA-Risiko-Score der Vascular Study Group of New England (VSGNE) (45), den Hardman Index (46) und den Glasgow Aneurysm Score (GAS) (47). Mit Ausnahme des VSGNE-RAAA-Risiko-Scores, der

auch die suprarenale Klemmung als intraoperative Variable beinhaltet, beziehen diese Scoring-Modelle nur präoperative Patientenmerkmale ein.

Die ICU-Scores umfassten die Acute Physiology und Chronic Health Evaluation II (APACHE II), Simplified Acute Physiology Score II (SAPS II) und Sepsis-related Organ Failure Assessment Score (SOFA-Score). Die Werte von diesen Scores wurden routinemäßig auf der Intensivstation erhoben.

Obwohl viele Studien verschiedener Scoring-Modelle jedes Typs verglichen haben, hat keine der bestehenden Studien präoperative Scores mit ICU-Scores verglichen, um die Krankenhaussterblichkeit im Zusammenhang mit RAAA vorherzusagen. In der vorliegenden Studie verglichen wir drei präoperativer Scores mit drei ICU-Scores zur Vorhersage der Krankenhausmortalität von RAAA.

In Artikel 3 teilten wir unsere Erfahrung bei der Behandlung von tumorbedingten und nicht-tumorbedingten Aorto-ösophagealen Fisteln (AEF) und Aorto-bronchialen Fisteln (ABF), die seltene Ursachen für potenziell tödliche Hämatemesis und Hämoptysen sind. Die aktuelle Literatur berichtet wenig über diese seltenen Pathologien. AEF und ABF wurden als jede Verbindung zwischen der Brustschlagader und der Speiseröhre oder dem Tracheobronchialbaum definiert.

In unserer Studie haben wir festgestellt, dass TEVAR allein eine funktionelle und dauerhafte Lösung für nicht tumorbedingte ABF bietet, wenn es nicht durch eine Implantatinfektion kompliziert wird. Bei Patienten mit AEF wählten wir ein endovaskuläres Verfahren (TEVAR) mit lokaler chirurgischer Behandlung der Speiseröhre oder Ösophagus-Stenting. Die Prognose dieser Behandlung ist aufgrund von Mediastinitis und Sepsis eingeschränkt. Die Sterblichkeit von Patienten mit Krebs im Endstadium ist nach wie vor hoch.

Im vierten Artikel präsentierten wir unsere Ergebnisse zur Behandlung von Aortenprotheseninfektionen und die Rekonstruktion der Gefäße mit in situ neoaortoiliakalen Systems (NAIS) oder kryokonservierten humanen Allotransplantaten (CHAs) von 2015 bis 2021. In den letzten Jahrzehnten haben mehrere Studien die Entfernung von der infizierten Prothese mit In-situ-Rekonstruktion mit biologischem Material als Erstlinienbehandlung für Aortenprotheseninfektionen empfohlen (71–73).

Ziel dieser Studie ist es, über unsere Erfahrungen bei der Behandlung von Aortenprotheseninfektionen zu berichten und die kurz- und mittelfristigen Ergebnisse der Behandlung von Aortenprotheseninfektionen mit der Verwendung der Rekonstruktion des

neoaortoiliakalen Systems (NAIS) und des kryokonservierten menschlichen Allotransplantats (CHA) zu vergleichen.

Viele Studien berichteten über hervorragende Ergebnisse mit NAIS mit gemeldeten 30-Tage-Mortalitäten von 0–15 %. Dennoch zeigen unsere Ergebnisse, dass nicht alle Patienten mit Aortenprotheseninfektionen für solch komplexe Verfahren wie NAIS geeignet sind. Daher sollten der klinische Gesamtzustand, die kardiorespiratorische Kapazität, die Bildgebung und die Laborbefunde des Patienten präoperativ sorgfältig evaluiert werden. In der aktuellen Studie gab es sehr komplexe Fälle, darunter vier Patienten, die bei der Vorstellung aufgrund von Blutungen oder septischem Schock eine kardiale Reanimation benötigten; vier Patienten hatten nach offener Konversion von EVAR eine Implantatinfektion entwickelt und acht Fälle aorto-duodenale Fisteln.

NAIS-Verfahren haben viele Vorteile, darunter ausgezeichnete Durchgängigkeit, bessere Überlebensrate der Gliedmaße und das Fehlen wiederkehrender Infektionen. Andererseits weisen diese komplexen und langwierigen Verfahren viele Hindernisse auf, darunter lange Operationszeiten, erheblichen Blutverlust, Schwierigkeiten bei der Kontrolle der Körperkerntemperatur und venöse Komplikationen.

Trotz ihrer Ähnlichkeiten in den chirurgischen Techniken erweitert das Entnehmen der femoropoplitealen Vene bei der Rekonstruktion des neoaortoiliakalen Systems das chirurgische Feld und kann die Operationszeit verlängern und potenzielle Schwierigkeiten bei der Kontrolle der Körperkerntemperatur schaffen. Der Einfluss dieser Unterschiede auf das Outcome beider Operationsoptionen ist jedoch noch nicht ausreichend untersucht.

In Artikel 5 stellen wir unsere Erfahrungen mit Aorto-duodenalen Fisteln (ADF) nach EVAR und offener Aortenoperation von 2015 bis 2020 vor. Die Häufigkeit in der Literatur beträgt von 0,6 % bis 4 %. In unserer Studie lag die Inzidenz von ADF bei 4,3 % aller abdominellen Aortenoperationen. Die genauen Mechanismen der Aorto-duodenalen Fistel nach EVAR bleiben aufgrund fehlender Nahtlinien noch unklar. Trotz Unterschieden in der Ätiologie beinhaltet das Management von ADFs nach EVAR und offener Aortenoperation identische Therapieoptionen.

In Artikel 6 haben wir eine neue Klassifizierung der rupturierten penetrierenden Aortenulzera in der Aortenzone 4 vorgenommen, die wir als paraviszerale penetrierende Aortenulzera (PV-PAU) bezeichneten.

PV-PAUs sind definiert als PAUs in der Nähe des Ursprungs der Viszeralarterien (Zone 4). Um die genaue Lage der PAUs zu identifizieren, wurde die Zone 4 der Aorta in die 3 Segmente A, B und C gemäß den Berichtsstandards der Society for Vascular Surgery unterteilt. Dementsprechend erstreckt sich Segment A vom Ursprung des Truncus coeliacus bis zur Spitze der Arteria mesenterica superior. Segment B umfasst den Ursprung der Arteria mesenterica superior und die Aorta suprarenalis. Schließlich repräsentiert Segment C die pararenale Aorta.

Alle Patienten wurden am Tag der Erstvorstellung operiert. Die offene Aortenreparatur war die am häufigsten verwendete Behandlung (11/16, 69 %), gefolgt von Hybridverfahren (3/16, 19 %) und parallelen Stent-Graft-Techniken (2/16, 12 %).

4.2 Standard Aorten Chirurgie

Basierend auf der Literatur und den vorliegenden Arbeiten können wir die folgende Definition ableiten: Standard-Aorten Chirurgie bezeichnet jede anatomisch günstige elektive Aortenerkrankung, die mit einem offenen oder endovaskulären Verfahren mit akzeptablen Risiken behandelt werden kann. In diese Kategorie fallen die meisten infrarenalen abdominellen Aortenaneurysmen mit ausreichender proximaler Halslänge und passenden distalen iliakalen Gefäßen. Zu den standardmäßigen thorakalen Aortenaneurysmen gehören thorakale Aortenaneurysmen der Aorta descendens mit geeigneten proximalen und distalen Landungszonen. Diese Kategorie umfasst auch den Verschluss der distalen Aorta und der Beckengefäße (Leriche-Syndrom) ohne spezifische Kombination komplexer Pathologien.

4.3 Komplexe Aorten Chirurgie

Im Gegensatz zur Standard-Aorten Chirurgie weist die komplexe Aorta einige Abweichungen von der günstigen Anatomie auf, was die Operation erschwert und den perioperativen Verlauf beeinflusst. Dies bedeutet nicht, dass eine komplizierte Aorta zwangsläufig einen komplizierten intraoperativen Verlauf haben muss. Bei komplexen Operationen müssen die Operateure jedoch evaluieren, ob sie in der Lage sind, die Operation durchzuführen. Ausgenommen sind Notfälle, für die keine Planungs- oder Transportzeit zur Verfügung steht.

4.4 Aneurysmalokalisation

Während Aneurysmen entlang der gesamten Länge der Aorta auftreten können, ist die infrarenale Lokalisation am häufigsten. In einer Studie war die anatomische Verteilung von Aneurysmen innerhalb des Aorten- und Beckenarteriensystems bei 1267 Patienten mit Aneurysmen wie folgt: abdominelle Aorta allein 65 %; thorakale Aorta allein 19 %;

kombinierte abdominelle Aorta und Iliakalarterien 13 %; thorako-abdominelle Aorta 2 %; und isolierte Iliakalarterien 1 % (74, 75). Die Indikation zur Reparatur umfasst entweder symptomatische Aneurysmen oder Aneurysmen mit einem Durchmesser von mehr als 5 cm (76). Behandlungsoptionen für die Reparatur von infrarenalen Aortenaneurysmen sind die offene chirurgische Reparatur und die endovaskuläre Reparatur von Aneurysmen (EVAR). Derzeit ist EVAR aufgrund verbesserter kurzfristiger Morbiditäts- und Mortalitätsergebnisse die primäre Behandlungsmethode für die Reparatur von infrarenalen Aortenaneurysmen (77). Suprarenale abdominelle Aortenaneurysmen sind selten und stellen erhöhte Herausforderungen an Diagnose und Management. Diese Aneurysmen enthalten häufig einen oder mehrere viszerale Äste und erfordern häufig einen thorako-abdominellen Zugang (Zweihöhleneingriff) für eine offene chirurgische Reparatur oder eine fenestrierte EVAR oder EVAR mit parallelen Grafts.

Aufgrund der Komplexität ihrer Lokalisation gehören thorako-abdominelle Aortenaneurysmen oft zu den schwieriger zu behandelnden Aortenaneurysmen. Die Entscheidung ein TAAA zu behandeln, basiert auf mehreren Faktoren, von denen der wichtigste die Größe ist (11, 78). Die allgemeine Empfehlung der Therapie von TAAAs besteht ab einem Durchmesser von 5,5 bis 6,0 cm.

Ein thorakales Aortenaneurysma tritt im thorakalen Teil der Aorta auf. Die Art der Therapie richtet sich nach Ursache, Größe und Wachstumsdynamik des Aneurysmas (79). Die Aortendissektion ist eine der komplexen Pathologien der Aorta. Die chirurgische und endovaskuläre Behandlung erfordert besondere Erfahrung und Ausstattung (80).

4.5 Anatomische Faktoren

Obwohl die Lokalisation des Aneurysmas die wichtigste Rolle bei der Beurteilung der Behandlungskomplexität des Aortenaneurysmas spielt, beeinflussen anatomische Faktoren die Schwierigkeit und Dauer der endovaskulären und offen-chirurgischen Behandlung erheblich. Zu diesen Faktoren gehören der maximale Durchmesser der Aorta, der proximale Halsdurchmesser, die Gesamtlänge der Aorta, Tortuosität der Aorta, Gefäßverkalkung, Thrombusverteilung und -last, der Winkel zwischen der suprarenalen Aorta und dem Aneurysmahals, der Winkel zwischen dem Aneurysmahals und Aneurysmasack und der Winkel zwischen der abdominellen Aorta und den beiden iliakalen Arterien (42, 81).

4.6 Rezidiveingriffe an der Aorta

Eine Reoperation nach einer Aortenoperation ist im Vergleich zum erstmaligen Aortenersatz mit einer höheren Mortalität und Morbidität verbunden und erfordert oft komplexe Verfahren. Indikationen für eine Reoperation nach offener Aortenoperation sind rezidivierende Aneurysmen, Implantatverschlüsse und Infektionen. Andererseits sind Indikationen für einen erneuten Eingriff nach EVAR: Endoleckage Typ I und III, Migration des Stents, Infektion des Stents oder Ruptur des Aortenaneurysmas (82, 83). Darüber hinaus ist eine Endoleckage Typ II eine Indikation zur Reoperation, wenn gleichzeitig eine Vergrößerung des Aneurysmasacks > 5 mm festgestellt wird (84).

4.7 Rupturierte Aortenaneurysmen

Die Ruptur eines abdominellen Aortenaneurysmas ist nach wie vor die Gefäßerkrankung mit der höchsten Letalität (85). Die Behandlung erfordert eine schnelle Beurteilung effektive Reparatur. Die offene chirurgische Reparatur war traditionell die erste Behandlungslinie. Die Einführung endovaskulärer Techniken hat jedoch den Behandlungsalgorithmus für AAA-Rupturen in den meisten großen medizinischen Zentren verändert (86).

Die Komplexität der Behandlung einer Aortenaneurysmaruptur hängt von der Lokalisation des Aneurysmas, der Lokalisation der Ruptur (frei oder retroperitoneal) und den anatomischen Faktoren der Aorta ab. Darüber hinaus können mehrere Faktoren wie Geschlecht, Alter, hypovolämischer Schock sowie Ort und Dauer der Aortenklammung das Ergebnis der Behandlung einer AAA-Ruptur mit einiger Genauigkeit voraussagen (87).

5 Zusammenfassung

Die Beurteilung der Komplexität der Aortenoperation kann anhand verschiedener Kriterien erfolgen:

- 1- **Lokalisation:** Die Lokalisation der Aortenpathologie ist der wichtigste Faktor bei der Beurteilung der Komplexität der Aortenerkrankung. So sind zum Beispiel juxta-, suprarenale und thorako-abdominelle Aortenaneurysmen komplexer als infrarenale Bauchaortenaneurysmen.
- 2- **Anatomische Kriterien:** Beim infrarenalen Aortenaneurysma ist der ASG-Score ein praktisches und nützliches Instrument zur Beurteilung der anatomischen Komplexität und Eignung einer endovaskulären Therapie. Bei thorakalen und thorako-abdominellen Aortenaneurysmen werden verschiedene Faktoren wie Kinking, Aortendurchmesser, Gefäßverkalkung, Thrombusverteilung etc. berücksichtigt.
- 3- **Rezidiveingriffe:** Die Komplexität der Operation nimmt bei Rezidiv-Aortenoperationen zu. Dies ist auf Verwachsungen im Bauchraum sowie Schwierigkeiten beim Entfernen oder Korrigieren der alten Prothese oder des Endostents zurückzuführen. Indikationen für Rezidiveingriffe nach offener Aorten Chirurgie sind Okklusion, Infektion, und Anschlussaneurysmen. Die Indikationen für Revisionen nach endovaskulärer Therapie sind Endoleakage, Stentmigration, Infektion oder Schenkelverschluss.
- 4- **Aorteninfektion:** Die Komplexität ergibt sich hier aus Rezidiven und Infektionen, was zu zusätzlichen Schwierigkeiten bei der Suche nach alternativen Materialien führt. Darüber hinaus ist eine Fistel mit dem Magen-Darm-Trakt ein Faktor, der die Komplexität der Therapie erhöht.
- 5- **Aortenruptur:** Eine Aortenruptur erschwert die Aortenoperation in mehreren Stufen. Um die Hämodynamik zu stabilisieren, stehen Anästhesisten und Chirurgen unter enormem Zeitdruck, um Aortenblutungen zu stoppen. Außerdem macht das supraoeliakale oder suprarenale Abklemmen der Aorta den Eingriff komplizierter und komplikationsreicher.

6 Literature Cited

1. Chaikof EL, Dalman RL, Eskandari MK, Jackson BM, Lee WA, Mansour MA et al. The Society for Vascular Surgery practice guidelines on the care of patients with an abdominal aortic aneurysm. *J Vasc Surg* 2018; 67(1):2-77.e2.
2. Nana P, Spanos K, Kouvelos G, Stamoulis K, Rountas C, Arnaoutoglou E et al. Ten-year single center experience in elective standard endovascular abdominal aortic aneurysm repair. *Int Angiol* 2021; 40(3):240–7.
3. Almeida Sandri G de, Ribeiro MS, Macedo TA, Vrtiska T, Oderich GS. Planning endovascular aortic repair with standard and fenestrated-branched endografts. *J Cardiovasc Surg (Torino)* 2017; 58(2):204–17.
4. Georgiadis GS, van Herwaarden JA, Antoniou GA, Giannoukas AD, Lazarides MK, Moll FL. Fenestrated stent grafts for the treatment of complex aortic aneurysm disease: A mature treatment paradigm. *Vasc Med* 2016; 21(3):223–38.
5. Oderich GS, Ribeiro M, Hofer J, Wigham J, Cha S, Chini J et al. Prospective, nonrandomized study to evaluate endovascular repair of pararenal and thoracoabdominal aortic aneurysms using fenestrated-branched endografts based on supraceliac sealing zones. *J Vasc Surg* 2017; 65(5):1249-1259.e10.
6. Vallabhajosyula P, Bavaria JE, Szeto WY. Hybrid Approaches to Complex Aortic Arch Aneurysms. *Operative Techniques in Thoracic and Cardiovascular Surgery* 2012; 17(1):15–26.
7. Czerny M, Schmidli J, Adler S, van den Berg JC, Bertoglio L, Carrel T et al. Editor's Choice - Current Options and Recommendations for the Treatment of Thoracic Aortic Pathologies Involving the Aortic Arch: An Expert Consensus Document of the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) & the European Society for Vascular Surgery (ESVS). *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2019; 57(2):165–98.
8. Desai ND, Szeto WY. Complex aortic arch aneurysm and dissections: hybrid techniques for surgical and endovascular therapy. *Curr Opin Cardiol* 2009; 24(6):521–7.
9. Safi HJ, Winnerkvist A, Miller CC3, Iliopoulos DC, Reardon MJ, Espada R et al. Effect of extended cross-clamp time during thoracoabdominal aortic aneurysm repair. *Ann Thorac Surg* 1998; 66(4):1204–9.
10. Aspern K von, Luehr M, Mohr FW, Etz CD. Spinal cord protection in open- and endovascular thoracoabdominal aortic aneurysm repair: critical review of current concepts and future perspectives. *J Cardiovasc Surg (Torino)* 2015; 56(5):745–9.
11. Coselli JS, LeMaire SA, Preventza O, La Cruz KI de, Cooley DA, Price MD et al. Outcomes of 3309 thoracoabdominal aortic aneurysm repairs. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2016; 151(5):1323–37.
12. Schepens, Marc A A M. Left heart bypass for thoracoabdominal aortic aneurysm repair: technical aspects. *Multimed Man Cardiothorac Surg* 2016; 2016.

13. Dachs T-M, Hauck SR, Kern M, Klausenitz C, Funovics MA. Fenestrated and branched endovascular aortic prostheses : An update. *Radiologie (Heidelb)* 2022; 62(7):586–91.
14. Padrón Encalada C, Fernandez Prendes C, Rivas Dominguez M, Zanabili Al-Sibai A, Gonzalez Gay M, Llana Coto J et al. Complex Aortic Aneurysm: A Current Indication for Debranching. *Ann Vasc Surg* 2017; 41:281.e15-281.e19.
15. Quiñones-Baldrich WJ, Panetta TF, Vescera CL, Kashyap VS. Repair of type IV thoracoabdominal aneurysm with a combined endovascular and surgical approach. *J Vasc Surg* 1999; 30(3):555–60.
16. Isoda R, Kanaoka Y, Watanabe T, Ishida A, Kuinose M, Morita I. Total Debranching Plus Antegrade Thoracic Endovascular Aortic Repair without Side Clamping in a Patient with Arch Aneurysm and Ascending Aorta Calcification. *Ann Vasc Dis* 2021; 14(2):181–4.
17. Jongkind V, Yeung KK, Akkersdijk GJM, Heidsieck D, Reitsma JB, Tangelder GJ et al. Juxtarenal aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg* 2010; 52(3):760–7.
18. Giulini SM, Bonardelli S, Portolani N, Giovanetti M, Galvani G, Maffei R et al. Suprarenal aortic cross-clamping in elective abdominal aortic aneurysm surgery. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2000; 20(3):286–9.
19. Patel RP, Katsargyris A, Verhoeven ELG, Adam DJ, Hardman JA. Endovascular aortic aneurysm repair with chimney and snorkel grafts: indications, techniques and results. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2013; 36(6):1443–51.
20. Parodi JC, Palmaz JC, Barone HD. Transfemoral intraluminal graft implantation for abdominal aortic aneurysms. *Ann Vasc Surg* 1991; 5(6):491–9.
21. Buck DB, Karthaus EG, Soden PA, Ultee KHJ, van Herwaarden JA, Moll FL et al. Percutaneous versus femoral cutdown access for endovascular aneurysm repair. *J Vasc Surg* 2015; 62(1):16–21.
22. Schumacher H, Allenberg JR, Eckstein HH. Morphological classification of abdominal aortic aneurysm in selection of patients for endovascular grafting. *British Journal of Surgery* 2005; 83(7):949–50.
23. Chaikof EL, Fillinger MF, Matsumura JS, Rutherford RB, White GH, Blankensteijn JD et al. Identifying and grading factors that modify the outcome of endovascular aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg* 2002; 35(5):1061–6.
24. Reimerink JJ, van der Laan MJ, Koelemay MJ, Balm R, Legemate DA. Systematic review and meta-analysis of population-based mortality from ruptured abdominal aortic aneurysm. *Br J Surg* 2013; 100(11):1405–13.
25. Jones M, Koury H, Faris P, Moore R. Impact of an emergency endovascular aneurysm repair protocol on 30-day ruptured abdominal aortic aneurysm mortality. *J Vasc Surg* 2022; 76(3):663-670.e2.

26. Marković M, Tomić I, Ilić N, Dragaš M, Končar I, Bukumirić Z et al. The Rationale for Continuing Open Repair of Ruptured Abdominal Aortic Aneurysm. *Ann Vasc Surg* 2016; 36:64–73.
27. Hagan PG, Nienaber CA, Isselbacher EM, Bruckman D, Karavite DJ, Russman PL et al. The International Registry of Acute Aortic Dissection (IRAD) New Insights Into an Old Disease. *JAMA* 2000; 283(7):897–903.
28. Hughes GC. Management of acute type B aortic dissection; ADSORB trial. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2015; 149(2 Suppl):S158-62.
29. Cooper M, Hicks C, Ratchford EV, Salameh MJ, Malas M. Diagnosis and treatment of uncomplicated type B aortic dissection. *Vasc Med* 2016; 21(6):547–52.
30. Omran S, Ardalani L, Beyer K, Bucourt M de, Gombert A, Buerger M et al. Management of Tumor- and Nontumor-related Aorto-esophageal and Aorto-bronchial Fistulas. *Ann Vasc Surg* 2021; 72:419–29.
31. Omran S, Raude B, Bürger M, Kapahnke S, Carstens JC, Haidar H et al. Aortoduodenal fistulas after endovascular abdominal aortic aneurysm repair and open aortic repair. *J Vasc Surg* 2021; 74(3):711-719.e1.
32. Varghese M, Jorgensen GT, Aune C, Bergan R, Norderval S, Moland J. Primary Aortoduodenal Fistula-A Case Report and a Review of the Literature. *Ann Vasc Surg* 2016; 34:271.e1-4.
33. Sobrinho G, Ferreira ME, Albino JP, Gomes H, Capitão LM. Acute ischemic hepatitis in aortocaval fistula. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2005; 29(3):239–43.
34. Omran S, Schäfer H, Greiner A. Treatment of aortocaval fistula, a single-center experience in 5 patients. *Annals of Vascular Surgery - Brief Reports and Innovations* 2022; 2(3):100126.
35. Schaeffers JF, Donas KP, Panuccio G, Kasprzak B, Heine B, Torsello GB et al. Outcomes of Surgical Explantation of Infected Aortic Grafts After Endovascular and Open Abdominal Aneurysm Repair. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2019; 57(1):130–6.
36. Omran S, Gröger S, Shafei B, Schawe L, Bruder L, Haidar H et al. Outcomes of Candida and Non-Candida Aortic Graft Infection. *Vasc Endovascular Surg* 2022:15385744221129236.
37. Darouiche RO. Treatment of infections associated with surgical implants. *N Engl J Med* 2004; 350(14):1422–9.
38. Chaufour X, Gaudric J, Goueffic Y, Khodja RH, Feugier P, Malikov S et al. A multicenter experience with infected abdominal aortic endograft explantation. *J Vasc Surg* 2017; 65(2):372–80.
39. Young RM, Cherry KJ, JR, Davis PM, Gloviczki P, Bower TC, Panneton JM et al. The results of in situ prosthetic replacement for infected aortic grafts. *Am J Surg* 1999; 178(2):136–40.
40. Debus ES. S3-Leitlinie zum Screening, Diagnostik Therapie und Nachsorge des Bauchortenaneurysmas. *Gefässchirurgie* 2018; 23(6):402–3.

41. Debus ES, Behrendt C-A, Gross-Fengels W, Kölbel T. Aneurysmen der infrarenalen Aorta: Endovaskuläre Therapie. In: Debus ES, Gross-Fengels W, editors. Operative und interventionelle Gefäßmedizin. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2017. p. 1–16.
42. Ahanchi SS, Carroll M, Almaroof B, Panneton JM. Anatomic severity grading score predicts technical difficulty, early outcomes, and hospital resource utilization of endovascular aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg* 2011; 54(5):1266–72.
43. Rasheed K, Cullen JP, Seaman MJ, Messing S, Ellis JL, Glocker RJ et al. Aortic anatomic severity grade correlates with resource utilization. *J Vasc Surg* 2016; 63(3):569–76.
44. Best WB, Ahanchi SS, Larion S, Ammar CP, Lavingia KS, Panneton JM. Abdominal aortic aneurysm anatomic severity grading score predicts implant-related complications, systemic complications, and mortality. *J Vasc Surg* 2016; 63(3):577–84.
45. William P. Robinson, Andres Schanzer, YouFu Li, Philip P. Goodney, Brian W. Nolan, Mohammad H. Eslami et al. Derivation and validation of a practical risk score for prediction of mortality after open repair of ruptured abdominal aortic aneurysms in a U.S. regional cohort and comparison to existing scoring systems. *J Vasc Surg* 2013; 57(2):354–61. Available from: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0741521412019428>.
46. D.T.A. Hardman, C.M. Fisher, M.I. Patel, M. Neale, J. Chambers, R. Lane et al. Ruptured abdominal aortic aneurysms: Who should be offered surgery? *J Vasc Surg* 1996; 23(1):123–9. Available from: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0741521405800424>.
47. Samy AK, Murray G, MacBain G. Glasgow aneurysm score. *Cardiovasc Surg* 1994; 2(1):41–4.
48. Knaus WA, Draper EA, Wagner DP, Zimmerman JE. APACHE II: a severity of disease classification system. *Crit Care Med* 1985; 13(10):818–29.
49. Le Gall J-R, Lemeshow S, Saulnier F. A New Simplified Acute Physiology Score (SAPS II) Based on a European/North American Multicenter Study. *JAMA* 1993; 270(24):2957–63.
50. Vincent JL, Moreno R, Takala J, Willatts S, Mendonça A de, Bruining H et al. The SOFA (Sepsis-related Organ Failure Assessment) score to describe organ dysfunction/failure. On behalf of the Working Group on Sepsis-Related Problems of the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Med* 1996; 22(7):707–10.
51. Sasaki A, Egashira H, Tokoro S, Ichita C, Takizawa S, Tsukiyama T et al. Thoracic Endovascular Aortic Repair of Esophageal Cancer-Associated Aortoesophageal Fistula: A Case Report and Literature Review. *Case Reports in Oncological Medicine* 2018; 2018:9851397.
52. Wong PC, Chan YC, Law Y, Keung Cheng SW. Emergency aortic stent-graft treatment for malignant aortoesophageal fistula. *Asian Cardiovasc Thorac Ann* 2017; 25(9):649–52.
53. Canaud L, D'Annoville T, Ozdemir BA, Marty-Ané C, Alric P. Combined endovascular and surgical approach for aortobronchial fistula. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2014; 148(5):2108–11.

54. Davidovic L, Sladojevic M, Koncar I, Markovic M, Ulus T, Ilic N et al. Late Complication after Thoracic Endovascular Aortic Repair: What Is the Role of an Open Surgical Conversion? *Ann Vasc Surg* 2018; 47:238–46.
55. Pirrelli S, Bozzani A, Arici V, Odero A. Endovascular treatment of acute haemoptysis secondary to aortobronchial fistula. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2006; 32(4):366–8.
56. Chakfé N, Diener H, Lejay A, Assadian O, Berard X, Caillon J et al. Editor's Choice - European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2020 Clinical Practice Guidelines on the Management of Vascular Graft and Endograft Infections. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2020; 59(3):339–84.
57. Elliott, Joseph P., Jr., Smith RF, Szilagyi DE. Aortoenteric and Paraprosthetic-Enteric Fistulas: Problems of Diagnosis and Management. *Archives of Surgery* 1974; 108(4):479–90.
58. Houssam Farres, Alberto J. Gonzales, H. Edward Garrett. Aortoduodenal fistula after endograft repair of abdominal aortic aneurysm secondary to a retained guidewire. *J Vasc Surg* 2012; 56(5):1413–5. Available from: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0741521412012566>.
59. Saratzis N, Saratzis A, Melas N, Ktenidis K, Kiskinis D. Aortoduodenal fistulas after endovascular stent-graft repair of abdominal aortic aneurysms: single-center experience and review of the literature. *J Endovasc Ther* 2008; 15(4):441–8.
60. Veraldi GF, Gottin L, Genco B, Bricolo A, Tasselli S, Faggian G et al. Aorto-duodenal fistula on an aortic endograft: a rare cause of late conversion after endovascular aneurysm repair. *Gen Thorac Cardiovasc Surg* 2012; 60(6):350–4.
61. Carlos J. Roldan. Penetrating Atherosclerotic Ulcerative Disease of the Aorta: Do Emergency Physicians Need to Worry? *The Journal of Emergency Medicine* 2012; 43(1):196–203. Available from: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736467911004240>.
62. Fillinger MF, Greenberg RK, McKinsey JF, Chaikof EL. Reporting standards for thoracic endovascular aortic repair (TEVAR). *J Vasc Surg* 2010; 52(4):1022-33, 1033.e15.
63. Oderich GS, Forbes TL, Chaer R, Davies MG, Lindsay TF, Mastracci T et al. Reporting standards for endovascular aortic repair of aneurysms involving the renal-mesenteric arteries. *J Vasc Surg* 2021; 73(1S):4S-52S.
64. Kühnl A, Erk A, Trenner M, Salvermoser M, Schmid V, Eckstein H-H. Inzidenz, Therapie und Letalität abdominalen Aortenaneurysmen. *Dtsch Arztebl International* 2017; 114(22-23):391–8. Available from: URL: <https://www.aerzteblatt.de/int/article.asp?id=189076>.
65. Wolfgang Büchel, Labor Dr. Stein, et.al. Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Krankenhaushygiene (DGKH): Bauliche und funktionelle Anforderungen an Eingriffsräume – Abfallmanager Medizin. Available from: URL: <https://www.abfallmanager-medizin.de/recht/bauliche-und-funktionelle-anforderungen-an-eingriffsraeume/> [cited 2022 Oct 4].

66. Fulton JJ, Farber MA, Sanchez LA, Godshall CJ, Marston WA, Mendes R et al. Effect of challenging neck anatomy on mid-term migration rates in AneuRx endografts. *J Vasc Surg* 2006; 44(5):932–7.
67. Kwon H, Lee DY, Choi SJN, Park KH, Min S-K, Chang J-H et al. Anatomical Features and Early Outcomes of Endovascular Repair of Abdominal Aortic Aneurysm from a Korean Multicenter Registry. *Vasc Specialist Int* 2015; 31(3):87–94.
68. Passman MA. The correlation of aortic neck length to early and late outcomes in endovascular aneurysm repair patients. *Yearbook of Vascular Surgery* 2010; 2010:154–5.
69. Ward TJ, Cohen S, Patel RS, Kim E, Fischman AM, Nowakowski FS et al. Anatomic risk factors for type-2 endoleak following EVAR: a retrospective review of preoperative CT angiography in 326 patients. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2014; 37(2):324–8.
70. Walker TG, Kalva SP, Yeddula K, Wicky S, Kundu S, Drescher P et al. Clinical practice guidelines for endovascular abdominal aortic aneurysm repair: written by the Standards of Practice Committee for the Society of Interventional Radiology and endorsed by the Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe and the Canadian Interventional Radiology Association. *J Vasc Interv Radiol* 2010; 21(11):1632–55.
71. Aavik A, Lieberg J, Kals J, Pulges A, Kals M, Lepner U. Ten years experience of treating aorto-femoral bypass graft infection with venous allografts. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2008; 36(4):432–7.
72. Ali AT, Modrall JG, Hocking J, Valentine RJ, Spencer H, Eidt JF et al. Long-term results of the treatment of aortic graft infection by in situ replacement with femoral popliteal vein grafts. *J Vasc Surg* 2009; 50(1):30–9.
73. Beck AW, Murphy EH, Hocking JA, Timaran CH, Arko FR, Clagett GP. Aortic reconstruction with femoral-popliteal vein: graft stenosis incidence, risk and reintervention. *J Vasc Surg* 2008; 47(1):36-43; discussion 44.
74. Brunkwall J, Hauksson H, Bengtsson H, Bergqvist D, Takolander R, Bergentz SE. Solitary aneurysms of the iliac arterial system: an estimate of their frequency of occurrence. *J Vasc Surg* 1989; 10(4):381–4.
75. Mayer D, Pfammatter T, Lachat M. Juxtarenale, suprarenale und Abschnitt IV-Aneurysmen der Aorta: Klinik, Diagnostik und konventionelle Therapie. In: Debus ES, Gross-Fengels W, editors. *Operative und interventionelle Gefäßmedizin*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2018. p. 1–19.
76. Braet DJ, Eliason J, Ahmed Y, van Bakel PAJ, Zhong J, Bian Z et al. Vascular Deformation Mapping of Abdominal Aortic Aneurysm. *Tomography* 2021; 7(2):189–201.
77. Patel R, Sweeting MJ, Powell JT, Greenhalgh RM. Endovascular versus open repair of abdominal aortic aneurysm in 15-years' follow-up of the UK endovascular aneurysm repair trial 1 (EVAR trial 1): a randomised controlled trial. *The Lancet* 2016; 388(10058):2366–74.

78. Oderich GS, Ribeiro M, Reis de Souza L, Hofer J, Wigham J, Cha S. Endovascular repair of thoracoabdominal aortic aneurysms using fenestrated and branched endografts. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2017; 153(2):S32-S41.e7.
79. Abraha I, Romagnoli C, Montedori A, Cirocchi R. Thoracic stent graft versus surgery for thoracic aneurysm. *Cochrane Database Syst Rev* 2016; (6):CD006796.
80. Nienaber CA, Kische S, Rousseau H, Eggebrecht H, Rehders TC, Kundt G et al. Endovascular repair of type B aortic dissection: long-term results of the randomized investigation of stent grafts in aortic dissection trial. *Circ Cardiovasc Interv* 2013; 6(4):407–16.
81. Omran S, Müller V, Schawe L, Bürger M, Kapahnke S, Bruder L et al. Outcomes of Endurant II Stent Graft According to Anatomic Severity Grade Score. *J Endovasc Ther* 2022:15266028221090433.
82. Mohapatra A, Robinson D, Malak O, Madigan MC, Avgerinos ED, Chaer RA et al. Increasing use of open conversion for late complications after endovascular aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg* 2019; 69(6):1766–75.
83. Ameli-Renani S, Pavlidis V, Morgan RA. Secondary Endoleak Management Following TEVAR and EVAR. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2020; 43(12):1839–54.
84. Sidloff DA, Stather PW, Choke E, Bown MJ, Sayers RD. Type II endoleak after endovascular aneurysm repair. *Br J Surg* 2013; 100(10):1262–70.
85. Schmitz-Rixen T, Keese M, Hakimi M, Peters A, Böckler D, Nelson K et al. Ruptured abdominal aortic aneurysm-epidemiology, predisposing factors, and biology. *Langenbecks Arch Surg* 2016; 401(3):275–88.
86. Peters AS, Hakimi M, Erhart P, Keese M, Schmitz-Rixen T, Wortmann M et al. Current treatment strategies for ruptured abdominal aortic aneurysm. *Langenbecks Arch Surg* 2016; 401(3):289–98.
87. Omran S, Gröger S, Schawe L, Berger C, Konietschke F, Treskatsch S et al. Preoperative and ICU Scoring Models for Predicting the In-Hospital Mortality of Patients With Ruptured Abdominal Aortic Aneurysms. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2021; 35(12):3700–7.

7 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Andreas Greiner, Direktor der Klinik für Gefäßchirurgie der Charité – Universitätsmedizin Berlin, für die wissenschaftliche Begleitung der durchgeführten Studien und die vielfältige Unterstützung bei der Umsetzung dieser Arbeit.

Ich danke meinen Kolleginnen und Kollegen der Klinik für Gefäßchirurgie der Charité – Universitätsmedizin Berlin für ihre Unterstützung. Ihre Kollegialität und ihr fachlicher Austausch haben mir sehr geholfen.

Besonderer und liebevoller Dank gilt meiner Frau Shereen und meinem Sohn Yazan sowie meiner Tochter Yara für ihre endlose Unterstützung, Geduld und Liebe.

8 Erklärung

§ 4 Abs. 3 (k) der HabOMed der Charité

Hiermit erkläre ich, dass

- weder früher noch gleichzeitig ein Habilitationsverfahren durchgeführt oder angemeldet wurde,
- die vorgelegte Habilitationsschrift ohne fremde Hilfe verfasst, die beschriebenen Ergebnisse selbst gewonnen sowie die verwendeten Hilfsmittel, die Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftlern/Wissenschaftlerinnen und mit technischen Hilfskräften sowie die verwendete Literatur vollständig in der Habilitationsschrift angegeben wurden,
- mir die geltende Habilitationsordnung bekannt ist.

Ich erkläre ferner, dass mir die Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis bekannt ist und ich mich zur Einhaltung dieser Satzung verpflichte.

.....
Datum

.....
Unterschrift