

Postoperative Veränderungen der distalen Aortenwandarchitektur bei Patienten nach chirurgischer Behandlung einer akuten Aortendissektion Typ A

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Dr. med.

an der Medizinischen Fakultät

der Universität Leipzig

eingereicht von: Felix Georg Haag
geboren am 18. Januar 1984 in Nördlingen

angefertigt an: Klinik für Herzchirurgie – Herzzentrum Leipzig GmbH

betreut von: Prof. Dr. med. Friedrich Wilhelm Mohr
PD Dr. med. Sergey Leontyev
Prof. Dr. med. Martin Misfeld

Beschluss über die Verleihung des Doktorgrades vom: 29.05.2018

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
A.	Arteria
A1	Aorta abdominalis Segment eins
A2	Aorta abdominalis Segment zwei
ABE	Aortenbogenersatz
AICL	Arteria iliaca communis links
AICR	Arteria iliaca communis rechts
CT	Computertomographie
D1	Aorta descendens Segment eins
D2	Aorta descendens Segment zwei
EKG	Elektrokardiogramm
ET	Elephant-Trunk-Technik
FL	Falsches aortales Lumen
IVUS	Intravaskulärer Ultraschall
MAD	Maximaler aortaler Diameter
MRT	Magnetresonanztomographie
ROI	Region of interest
Tab.	Tabelle
TEE	Transösophagiale Echokardiographie
ToLA	Gesamtes aortales Lumen
TrLA	Wahres aortales Lumen
TTE	Transthorakale Echokardiographie
V.	Vena

SI- und SI-konforme sowie im Duden verzeichnete Einheiten sind nicht aufgeführt.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	I
Inhaltsverzeichnis	II
1. Einleitung	1
1.1 Historischer Exkurs zur Leipziger Herzchirurgie	1
1.2 Anatomie der Aorta	2
1.3 Erkrankungen der thorakalen Aorta	4
1.4 Die akute Aortendissektion	4
1.5 Klassifikation	4
1.6 Ätiologie und Pathophysiologie	7
1.7 Klinik	9
2. Diagnostik	10
3. Operative Versorgung	13
3.1 Operationsindikation	13
3.2 Operationsverfahren	14
3.2.1 Aorta ascendens	14
3.2.2 Operationserweiterung in den Aortenbogen	17
3.2.3 Operationserweiterung in die Aorta descendens	17
Zielstellung	19
4. Originalpublikation	20
5. Zusammenfassung der Arbeit	30
Literaturverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis	VIII
Darstellung des wissenschaftlichen Beitrags	IX
Erklärung über die eigenständige Abfassung der Arbeit	X
Lebenslauf	XI
Danksagung	XIII

1. Einleitung

1.1 Historischer Exkurs zur Leipziger Herzchirurgie

Der Leipziger Martin Herbst (1917-2005) war neben dem Hallenser Karl Ludwig Schober (1912-1999) der Wegbereiter der Herzchirurgie in der DDR (Leitz 2009).

Herbst legte seine ärztliche Prüfung im Jahre 1943 in Berlin ab und wandte sich anschließend, fasziniert durch die Vorlesung von Ferdinand Sauerbruch, der Chirurgie zu. Eine weitere Begegnung, die bei Herbst bleibenden Eindruck hinterlassen sollte, war als er 1943/44 als Kriegsgefangener in den USA auf Charles Bailey traf. Daraufhin reifte in ihm der Wunsch, Herzchirurg zu werden. Nach seiner Rückkehr nach Sachsen wurde er in Leipzig Facharzt der Chirurgie. Hier befasste er sich initial mit der kinematographen Angiokardiographie und Herzkatheterdiagnostik, bevor er sich 1953 an die ersten herzchirurgischen Operationen wagte (Verschluss eines Ductus Botalli, Operation einer Aortenisthmusstenose und geschlossene Mitralkommissurotomien). Nach seiner Einführung der Oberflächenhypothermie und einer damit einhergehenden hohen Operationsletalität wandte er sich der Methode der Herz-Lungen-Maschine zu (Leitz 2009).

Im Jahre 1961 wurde er mit Unterstützung durch Herbert Uebermuth zum Professor und Direktor der Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie ernannt. Am 20.02.1962 gelang ihm als erstem Operateur der DDR der Verschluss eines Atriumseptumdefektes unter Verwendung der Herz-Lungen-Maschine. Von da an wurden in Leipzig bis zu seiner Emeritierung im Jahre 1983 1764 Operationen unter Einsatz der Herz-Lungen-Maschine vollzogen (Leitz 2009).

Bis zur heutigen Zeit, unter der aktuellen Leitung von Herrn Professor Friedrich-Wilhelm Mohr, haben sich die Eingriffe am Herzen vervielfacht. Im Jahre 2014 wurden laut Qualitätsbericht der Deutschen Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie im Herzzentrum Leipzig u.a. 1607 klappenchirurgische

Operationen, 314 Operationen von angeborenen Herzfehlern und 409 Fälle mit aortenchirurgischer Versorgung durchgeführt (Beckmann et al. 2015).

1.2 Anatomie der Aorta

Die Aorta ist das größte arterielle Gefäß des menschlichen Organismus und ihre Wand besteht aus drei Schichten: Tunica intima, Tunica media und Tunica adventitia (siehe Abb. 1). Die Versorgung der Intima und des inneren Drittels der Media werden durch Diffusion des aortalen Blutflusses bewerkstelligt. Die äußeren zwei Drittel der Media und die Adventitia werden durch Vasa vasorum versorgt (Uflacker 2010).

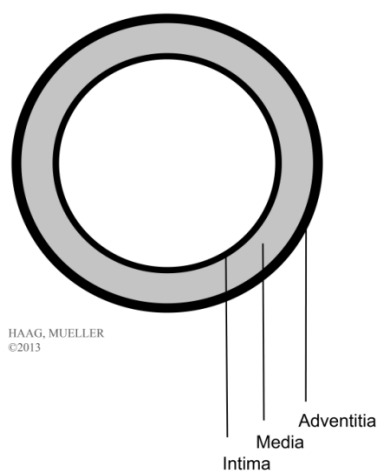


Abbildung 1: Wandschichten der Aorta

Die Aorta wird in verschiedene Abschnitte unterteilt. Der erste und zugleich aufsteigende Abschnitt ist die Aorta ascendens (siehe Abb. 2). Sie hat ihren Ursprung direkt hinter den Aortenklappen, welche den linken Ventrikel des Herzens begrenzen. Der sich anschließende Abschnitt ist der Arcus aortae mit den supraaortalen Gefäßabgängen (Truncus brachiocephalicus, A. carotis communis sinistra und A. subclavia sinistra). Nach dem Abgang der linken A. subclavia beginnt die Aorta descendens, welche im Hiatus aorticus durch das Zwerchfell tritt und in Höhe des 12. Wirbelkörpers in die Aorta abdominalis übergeht. Hier verzweigt sich

die Aorta zusehends und nach den abdominalen Gefäßabgängen endet sie schließlich in der Aortenbifurkation (Uflacker 2010).

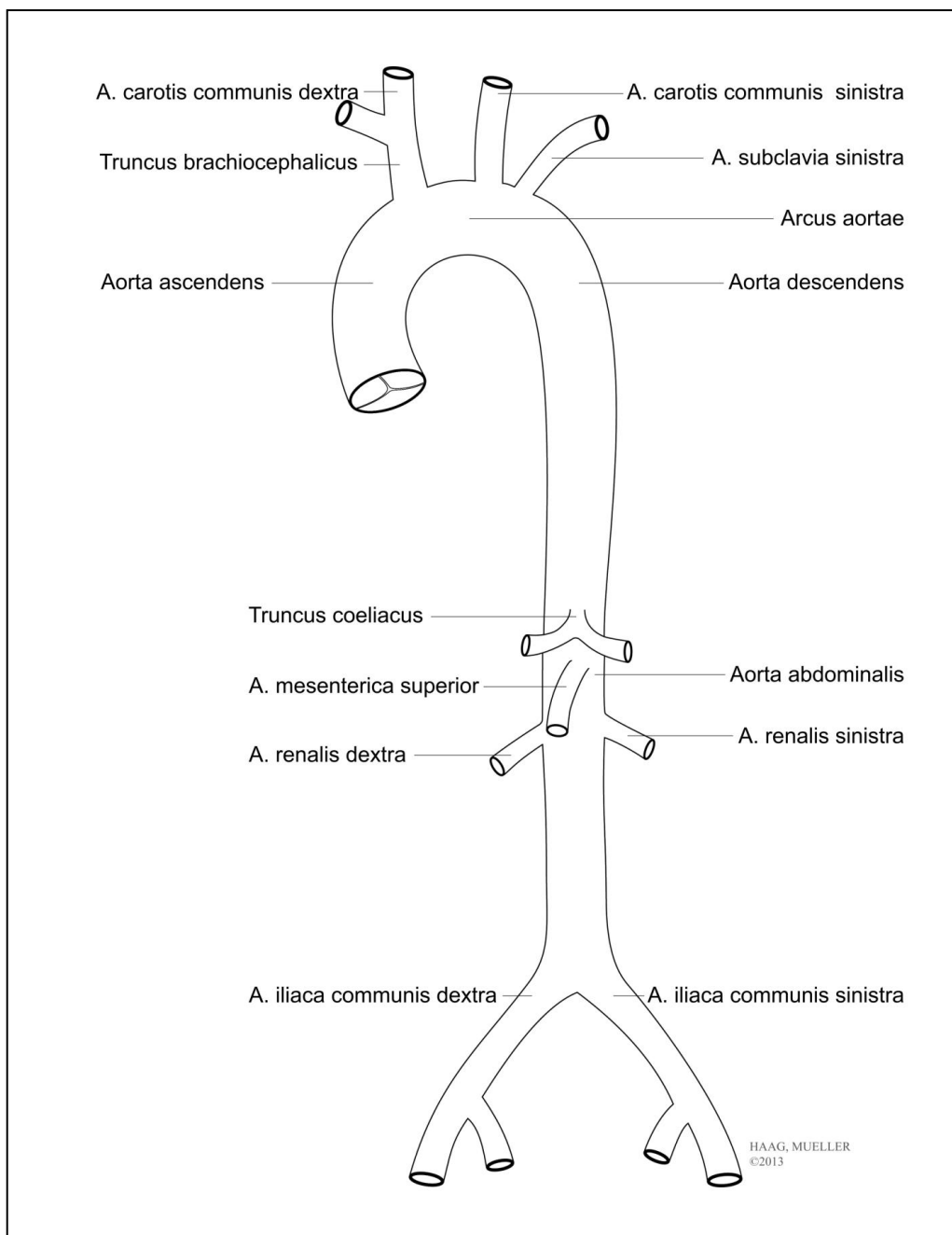


Abbildung 2: Skizze des anatomischen Verlaufs der Aorta

1.3 Erkrankungen der thorakalen Aorta

Generell wird bei den Erkrankungen der thorakalen Aorta zwischen angeboren und erworben unterschieden (Reimer et al. 2007). Unter den erworbenen Erkrankungen kann wiederum eine weitere Unterteilung in akute Aortendissektion, chronisch thorakales Aortenaneurysma sowie entzündlich bedingte Aortenerkrankungen gemacht werden (Schneider et al. 2011).

1.4 Die akute Aortendissektion

Eine akute Aortendissektion ist ein vital äußerst bedrohliches Krankheitsbild. In der Bundesrepublik Deutschland starben im Jahr 2011 849 Personen an einer Dissektion der Aorta. Der Anteil der Männer betrug 519 und der Anteil der Frauen 330 (Statistisches Bundesamt Deutschland 2011). Schnelle Diagnostik und Therapie sind entscheidend für das Überleben der betroffenen Patienten (Hirst et al. 1958; Hagan et al. 2000).

Der Begriff der Dissektion einer Aorta wurde nach ersten detaillierten klinischen Beschreibungen erst im 17. und 18. Jahrhundert durch Maunoir geprägt (Maunoir 1802). Jedoch blieb die Aortendissektion bis ins 20. Jahrhundert eine postmortale Diagnose.

Erst durch den Einsatz der Herz-Lungen-Maschine und frühzeitige Diagnostik war eine operative Versorgung einer Dissektion möglich. Der erste erfolgreiche chirurgische Eingriff wurde schließlich von DeBakey und Cooley im Jahre 1955 durchgeführt (De Bakey et al. 1955).

1.5 Klassifikation

Bei der Klassifikation von Aortendissektionen gibt es eine zeitliche und eine anatomische Unterscheidung. Nach Svensson und Crawford werden Dissektionen, deren Auftreten länger als zwei Wochen zurückliegen zur chronischen Form und diejenigen, welche weniger als zwei Wochen zurückliegen,

zur akuten Form gezählt (Svensson et al. 1997). Diese Einteilung geht auf Beobachtungen von Hirst und Mitarbeitern in 505 Fällen zurück (Hirst et al. 1958).

Für die Dissektionsausbreitung gibt es wiederum diverse Einteilungen, wobei die „DeBakey“- und die „Stanford“-Klassifikationen am meisten verbreitet sind (De Bakey et al. 1966; Daily et al. 1970). DeBakey führte 1966 vom Gesichtspunkt der chirurgischen Therapie die nach ihm benannte neue Klassifikation ein. Hierbei wird die Aorta betreffend der beteiligten Gefäßabschnitte in drei Gruppen (Typ I, II und III) unterteilt (siehe Abb. 3). Beim Typ I nach DeBakey ist die gesamte Aorta betroffen, wobei die Dissektion den Bereich der Aorta ascendens beinhalten muss und sich über den Aortenbogen bis in die Aorta descendens fortsetzt. Beim Typ II nach DeBakey beschränkt sich die Dissektion isoliert auf die Aorta ascendens und beim Typ III nach DeBakey auf die Aorta descendens. Bei letzterem Typ wird noch unterschieden, ob sich die Dissektion oberhalb (Typ IIIa) oder unterhalb (Typ IIIb) des Zwerchfells befindet (De Bakey et al. 1966).

Im Jahre 1970 wurde diese bestehende Klassifikation durch Daily et al. nochmals modifiziert. Die nun neu entstandene Einteilung nach Stanford (Abb. 3) erfasst unter Typ A alle Dissektionen, bei denen die Aorta ascendens betroffen ist. Die Typ B Dissektion nach Stanford beschreibt die Dissektionen, bei denen ausschließlich die Aorta descendens beteiligt ist (Daily et al. 1970).

Bis heute herrscht keine Einigkeit darüber, welche Klassifikation die ideale für den klinischen Gebrauch darstellt. Einige Autoren sind der Meinung, dass eine pragmatischere Herangehensweise mit Einteilung der Aortendissektion in proximal und distal der linken Arteria subclavia sinnvoll wäre. Demnach wäre bei einer Dissektion des Aortenbogens, bei welcher die Aorta ascendens nicht beteiligt ist, dennoch eine unmittelbare operative Versorgung empfohlen. Andere Autoren würden bei ausschließlicher Dissektionsausbreitung auf den Aortenbogen ein konservatives Verfahren wählen, wenn weder proximale Beteiligung, noch Malperfusion oder eine Blutung bei konstantem Befund in der Bildgebung bestünde (Hiratzka et al. 2010).

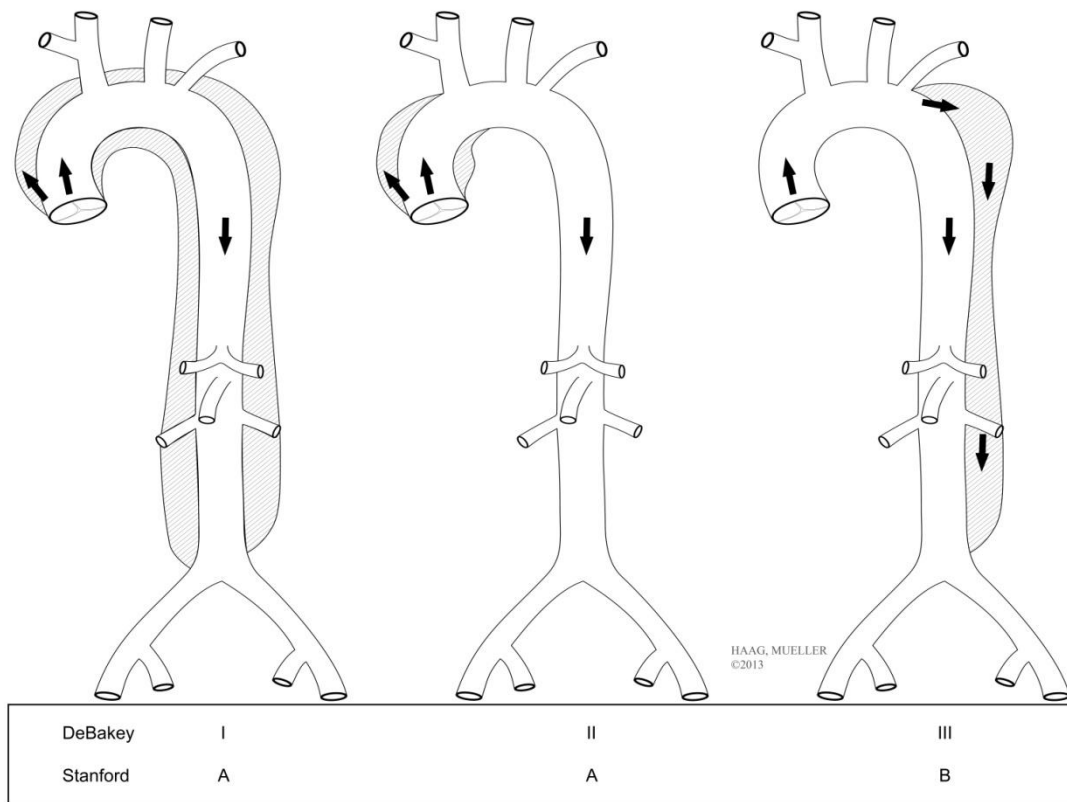


Abbildung 3: Klassifikation der Aortendissektion nach DeBakey und Stanford

Aufgrund von neueren Studien wurde von Svensson und Mitarbeitern eine neue Einteilungsvariante vorgeschlagen. Intramurale Hämatome, intramurale Blutungen und arteriosklerotische Ulzerationen können Zeichen einer beginnenden Dissektion oder Dissektionssubtypen sein (Svensson et al. 1999). Alle Klassen können sowohl in der akuten als auch in der chronischen Form vorhanden sein (Erbel 2001). Die Einteilung des akuten Aortensyndroms in diese fünf Klassen orientiert sich an der zugrunde liegenden Pathogenese (Tabelle 1) (Hiratzka et al. 2010).

Tabelle 1: Einteilungsvariante des akuten Aortensyndroms durch Svensson et al. 1999

Klasse 1	Klassische Aortendissektion mit wahren und falschem Lumen mit/ohne Kommunikation der Lumina
Klasse 2	Intramurale Einblutung oder Hämatom (IMH)
Klasse 3	Umschriebener, begrenzter Einriss der Intima mit aneurysmatischer Auswölbung ohne Hämatombildung
Klasse 4	Penetrierendes Aortenulkus (PAU; bis zur Tunica adventitia) mit oder ohne umgebendes Hämatom
Klasse 5	Iatrogene oder traumatische Aortendissektion

1.6 Ätiologie und Pathophysiologie

Für die Entstehung einer Aortendissektion existieren verschiedene Ursachen. Laut Reece et al. sind vor allem mechanische Kräfte zu nennen, die direkt auf die Aortenwand wirken (z.B. Hypertonus, Hypervolämie, Störung des Blutflusses, etc.), aber auch Faktoren, die die Zusammensetzung der Aortenwand beeinflussen (z.B. Bindegewebserkrankungen oder direkte chemische Destruktion). Atherosklerose an sich erhöht nicht das Risiko einer Dissektion; entsteht sie jedoch an Stellen mit vorbestehendem Aneurysma oder besteht ein penetrierendes arteriosklerotisches Ulcus (PAU), dann kann dies auch zu einer Dissektion in der Aorta descendens führen (Shiau et al. 2010). Außerdem sind iatrogene Traumata der Intima, z. B. im Rahmen von Herzkatheteruntersuchungen, aortalen oder femoralen Kanülierungen oder aortenchirurgischen Eingriffen ursächlich zu nennen (Reece et al. 2008). Zusätzlich sind Hochrasanztraumata, wie sie bei Verkehrsunfällen auftreten können, anzuführen.

Auch hereditäre Erkrankungen wie das Marfan-Syndrom oder das Ehlers-Danlos-Syndrom sowie familiär auftretende Aortendilatationen und -dissektionen sind als Dissektionsursachen bekannt (Erbel 2001). Zusätzlich wurden Dissektionen gehäuft in der Schwangerschaft, bei der cystischen Medianekrose, bei

Kokaineinnahme und bei entzündlichen Erkrankungen des rheumatoiden Formenkreises beobachtet (Svensson et al. 1997; Erbel 2001).

Für das akute Auftreten einer Dissektion gibt es unterschiedliche pathophysiologische Mechanismen. In der überwiegenden Anzahl der Fälle kommt es zu einem Einriss der Gefäßintima. Diese sogenannten Entries erlauben es dem Blut in die Gefäßmedia einzudringen und so ein falsches Lumen zu bilden (Abb. 4) (Cooley 1990). Die Entries verlaufen meist transversal und können gleichzeitig an mehreren Stellen auftreten (Hirst et al. 1958). Grundsätzlich kann eine Dissektion nur ein einzelnes Segment betreffen oder sie kann sich vom befallenen Segment aus antegrad oder retrograd ausbreiten. Dabei können Gefäßabgänge mit betroffen sein, was dann weitere Komplikationen, wie Gefäßobstruktion, nach sich zieht (Erbel 2001). Häufig vereint sich das falsche Lumen durch ein Re-Entry wieder mit dem wahren Lumen. Gelegentlich endet es aber einfach blind. Der zweite Entstehungsmechanismus beruht auf einem schon vorher bestehenden intramuralen Hämatom, welches sekundär perforieren kann (Cooley 1990).

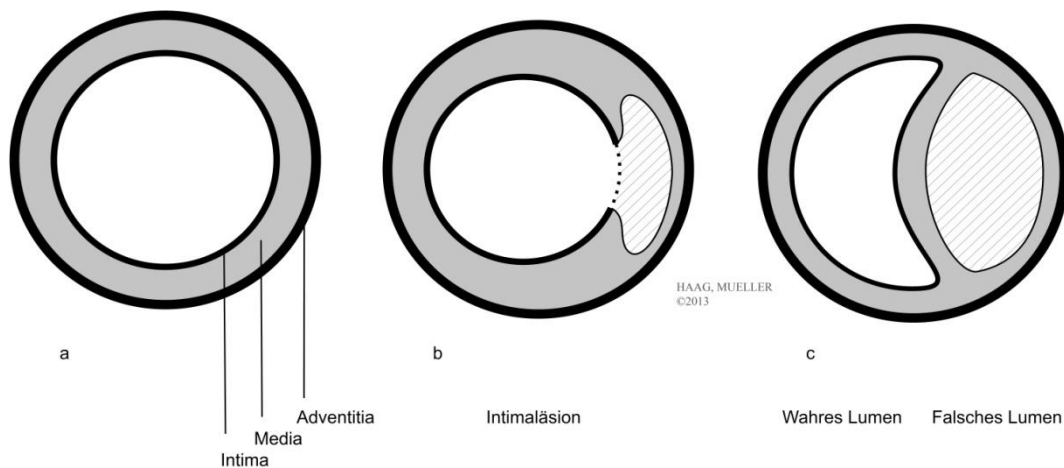


Abbildung 4: Aortenquerschnitt mit a intakten Wandschichten, b gerissener Intima mit Zugang zur Media und c wahren und falschem Lumen

Mit Bezug auf Roberts (Roberts et al. 1991) und Fann (Fann et al. 1995) berichten Pretre und Segesser, dass die Konvexität der Aorta ascendens (ein oder zwei Zentimeter oberhalb des Aortensinus) in 60 Prozent der Fälle, der Aortenbogen in

10 Prozent der Fälle sowie der Beginn der Aorta descendens (direkt distal des Abgangs der linken Arteria subclavia) in 30 Prozent der Fälle von einer Dissektion betroffen sind. Die große Gefahr für die proximale Aorta ascendens besteht darin, dass sie während der Systole dem maximalen arteriellen Blutdruck ausgesetzt ist (Prêtre et al. 1997).

1.7 Klinik

Klinisch steht bei einer akuten Aortendissektion Typ A in über neunzig Prozent der Fälle ein akuter Schmerzbeginn im Vordergrund. Dieser Schmerz wird als scharf (62 %), reißend (49 %) und teilweise als wandernd (15 %) beschrieben. Des Weiteren wird von über neunzig Prozent der Patienten ein Vernichtungsschmerz, meist zwischen den Schulterblättern, angegeben (Hagan et al. 2000). Differentialdiagnostisch kommt bei einer solchen Schmerzsymptomatik laut Cooley eine Dissektion der thorakalen Aorta, ein Myokardinfarkt, eine Lungenembolie, eine Ruptur eines Aneurysmas im Sinus Valsalva, ein aortoiliakaler Verschluss, ein Schlaganfall oder die Perforation eines peptischen Ulkus in Betracht (Cooley 1990).

Neben Anamnese und klinischer Zeichen gibt es für die weitere Diagnostik einer akuten Aortendissektion Typ A eine ganze Reihe von nicht-invasiven und invasiven Untersuchungstechniken.

2. Diagnostik

Von Kodolitsch und Kollegen haben herausgefunden, dass bei 96 % der Aortendissektionen mit dem Vorliegen eines abrupt einsetzenden Schmerzes (scharf, reißend), eine mediastinale und/oder aortale Verbreiterung im Röntgen-Thorax und eine Puls- und/oder Blutdruckveränderung (Fehlen eines Extremitäten- oder Carotidenpuls; >20 mmHg Differenz beider Arme) identifiziert werden kann (von Kodolitsch et al. 2003).

Das Elektrokardiogramm (EKG) spielt eine untergeordnete Rolle. Hierdurch kann nicht auf eine Aortendissektion geschlossen werden. Jedoch können akute Thoraxschmerzen im Sinne eines akuten Koronarsyndroms durch eine Aortendissektion begründet sein (Manning 2012).

Einen weitaus größeren Stellenwert in der Diagnostik hat die Bildgebung. Hierbei wurde in der im Jahre 2000 durch Hagan et al. durchgeführten IRAD-Studie (International Registry of Acute Aortic Dissection) gezeigt, dass pro Patient nicht nur eine, sondern mehrere bildmorphologische Untersuchungen (durchschnittlich 1,83 pro Patient), durchgeführt werden (Hagan et al. 2000).

Die Vor- und Nachteile der einzelnen Bildgebungstechniken sind in Tabelle 2 aufgeführt. Diese wurden als Guidelines im Jahre 2001 von der Task Force der European Society of Cardiology veröffentlicht (Erbel 2001).

Tabelle 2: Aussagekraft der Bildgebungstechniken bei Aortendissektion

	TTE/TEE	CT	MRT	Angiographie	IVUS
Methodik					
Sensitivität	++	++	+++	++	+++
Spezifität	+++	++	+++	++	+++
Klassifikation	+++	++	++	+	++
Komfort für Patienten	+	++	+	+	+
Intraoperative Verfügbarkeit	+++	-	-	(+)	(+)
Röntgenexposition	-	++	-	+++	-
Follow-Up Studien	++	++	+++	-	-
Krankheitsbild					
Lokalisierung der Läsion	+++	-	++	+	+
Aortale Regurgitation	+++	-	++	++	-
Perikardialer Ausfluss	+++	++	++	-	-
Mediastinalhämatom	++	+++	+++	-	+
Seitenastbeteiligung	+	++	++	+++	+++

TTE/TEE=transthorakale/transösophagiale
 Echokardiographie
 CT=Computertomographie
 MRT=Magnetresonanztomographie
 IVUS=Intravaskulärer Ultraschall

(modifiziert nach Erbel 2001)

In Bezug auf diese Guidelines empfiehlt Manning, dass grundsätzlich bei Patienten mit akuten Brustschmerzen und/oder klinischer Instabilität notfallmäßig eine transthorakale Echokardiographie (TTE) und eventuell zusätzlich eine transösophagiale Echokardiographie (TEE) durchgeführt werden sollte. Bei hämodynamisch instabilen Patienten kann dies sogar direkt im Operationssaal erfolgen (Manning 2012).

Die Magnetresonanztomographie (MRT) wird bei chronischen Brustschmerzen und hämodynamisch stabilen Patienten sowie zur Verlaufskontrolle bei chronischer Dissektion verwandt (Manning 2012).

Für die Diagnose einer akuten Aortendissektion hat sich die Computertomographie (CT) etabliert. Es handelt sich hierbei um ein weit verbreitetes Diagnostikum, welches eine schnelle sowie zielgenaue Diagnose liefern kann. Außerdem

ermöglicht die Multidetektor-CT eine rasche und sorgfältige Erfassung der gesamten Aorta. Hierdurch können wichtige Komplikationen, die die Operationsplanung beeinflussen könnten, ermittelt werden. Zusätzlich ist eine dreidimensionale Darstellung der Strukturen möglich (McMahon et al. 2010).

Auch zusätzliche Strukturen wie Pleurahöhle und Perikard können mitbeurteilt werden (Reece et al. 2008). Anatomische Anomalien und weitere Formen des akuten Aortensyndroms (z.B. intramurales Hämatom, penetrierende arteriosklerotisches Ulcus) können ebenfalls diagnostiziert werden. Durch EKG-getriggerte CT-Techniken können bewegungsfreie und somit artefaktfreie Bilder der Aortenwurzel und der Koronarien dargestellt werden, wodurch der Ausschluss einer koronaren Herzkrankheit möglich sein kann (Hiratzka et al. 2010).

Der generelle Ablauf beim Verdacht auf eine akute Aortendissektion Typ A sieht eine Untersuchung ohne Kontrastmittel vor, um subtile Veränderungen des intramuralen Hämatoms zu ermitteln. Im Anschluss folgt die Untersuchung mit Kontrastmittel, um die Präsenz und das Ausmaß eines „Intimaflaps“ (abgelöste Aortenintima) sowie Areale mit potentieller Malperfusion zu beschreiben. Außerdem kann der Austritt von Kontrastmittel durch eine Leckage der Aortenwand nachgewiesen werden (Hiratzka et al. 2010).

Die Nachteile der Computertomographie lagen bis vor zwanzig Jahren darin, dass ein Flap der Intima (abgelöste Aortenintima) nur in weniger als 75 Prozent gesehen werden konnte und auch ein Entry selten detektiert werden konnte (Vasile et al. 1986). Der Nachteil, der heute im Vordergrund steht, ist die potentielle Nephrotoxizität des Kontrastmittels (Manning 2012) sowie die Strahlenbelastung (Brenner et al. 2007).

3. Operative Versorgung

Eine akute Aortendissektion Typ A stellt eine Notfallindikation zur operativen Versorgung dar, weil die Mortalität bei den betroffenen Patienten ein bis zwei Prozent pro Stunde nach Auftreten der ersten Symptome beträgt (Hirst et al. 1958; Hagan et al. 2000).

3.1 Operationsindikation

Die Dringlichkeit der Indikationsstellung geht zurück auf das hohe Risiko einer letalen Komplikation wie Aortenruptur, aortaler Insuffizienz, Perikardtamponade oder Myokardinfarkt. Weiterhin ist für die Wahl der operativen Versorgung die Beschaffenheit der Aortenklappe sowie die Ausprägung der Dilatation im Bereich der Aortenwurzel entscheidend (Erbel 2001). Eine Übersicht und Empfehlung zur operativen Versorgung gibt die folgende Tabelle 3.

Tabelle 3: Interventionelle Therapie bei akuter Aortendissektion

Empfehlung	Evidenzlevel
Notfalloperation zur Vermeidung einer Tamponade/Aortenruptur	K I
Klappenerhaltende Operation im Sinne eines suprakoronaren Ascendensersatzes bei normalgroßer Aortenwurzel und unveränderter Aortenklappe	K I
Aorten- und Aortenklappenersatz (Composite-Ersatz) bei proximal ektatisch erweiterter Aorta und/oder pathologischen Veränderungen der Aortenklappe/-wand	K I
Aortenklappenersatz mit Rekonstruktion der Aortenwurzel bei Klappenveränderungen	K IIa
Klappenerhaltende Operation mit Rekonstruktion der Aortenwurzel bei Marfanpatienten	K IIa

Klasse I: Evidenz vorhanden und/oder allgemeine Übereinstimmung der Fachkreise
 Klasse II: Widerspruch der Evidenzen und/oder voneinander abweichende Meinungen über Nutzen/Effizienz der Methode oder Behandlung
 Klasse IIa: Mehrzahl der Evidenzen belegt Nutzen/Effizienz
 Klasse IIb: Nutzen/Effizienz weniger gut belegt
 Klasse III: Evidenz/allgemeine Übereinstimmung der Fachkreise, dass eine Methode oder Behandlung nicht sinnvoll oder in Einzelfällen sogar schädlich sein könnte.

(Erbel 2001)

3.2 Operationsverfahren

3.2.1 Aorta ascendens

Zur Versorgung einer Aortendissektion gibt es nach aktueller Studienlage verschiedene Verfahrenstechniken. Je nach Ausdehnung der Dissektion und Mitbeteiligung weiterer Strukturen (insbesondere Aortenwurzel und Aortenklappe) wird entschieden, welche Methode angewendet wird. Die aktuell angewandten operativen Techniken sind laut Conzelmann und Kollegen zum einen der suprakoronare Aorta ascendens Ersatz sowie erweiterte Eingriffe am Aortenbogen und der Aorta descendes. Darüber hinaus gibt es Eingriffe an der Aortenwurzel mit Rekonstruktion der Aortenklappe nach David (Reimplantations-Technik) und Yacoub (Remodeling-Technik), einen konventionellen Aortenklappenersatz mit suprakoronarem Ascendensersatz, bzw. die Implantation eines klappentragenden Konduits (Abb. 5) (Conzelmann et al. 2009).

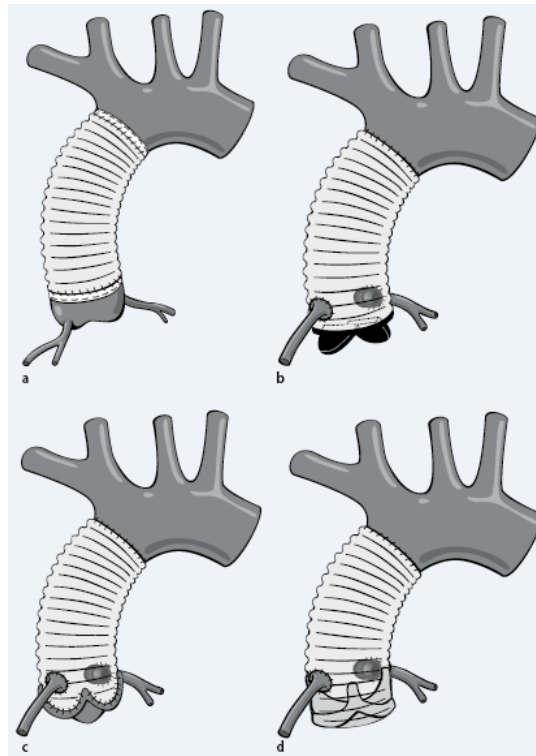


Abbildung 5: Operationstechniken zur chirurgischen Versorgung der Aorta ascendens bei akuter Aortendissektion Typ A. a Suprakoronarer Ersatz der Aorta ascendens b klappentragendes Conduit c klappenerhaltende Remodeling-Technik nach Yacoub und d klappenerhaltende Reimplantationstechnik nach David (Grafik aus: (Conzelmann et al. 2011))

Die klassische chirurgische Therapie der akuten Typ-A-Dissektion wird wie folgt beschrieben: Initial erfolgt eine mediane Sternotomie mit anschließender Anlage eines kardiopulmonalen Bypasses. Es folgt die Anlage eines linksventrikulären Vents und die Kühlung des Patienten. Die Aorta ascendens wird durch eine Rohrprothese ersetzt. Hierbei wird im hypothermen Kreislaufstillstand gearbeitet und die distale Anastomose in offener Technik durchgeführt. Nach Aortenklemmung und Gabe einer kardioplegischen Lösung erfolgt der Herzstillstand. Während der Kühlungsphase wird die proximale Anastomose angefertigt. Liegt eine Klappeninsuffizienz oder stenosierte Aortenklappe vor, wird diese entsprechend rekonstruiert oder ersetzt (Tsagakis et al. 2009).

Für die distale Anastomose muss ein hypothermer Kreislaufstillstand erzeugt werden. Nach Entfernung der Aortenklemme erfolgt in Abhängigkeit von der Temperatur ggf. die Insertion von Hirnperfusionskathetern zur cerebralen

Protektion, bevor die distale Aorta ascendens und der Aortenbogen auf weitere mögliche Intimaeinrisse inspiziert wird (Tsagakis et al. 2009). Falls diese vorliegen, müssen sie reseziert und der betreffende Teil durch ein Prothese ersetzt werden. Die im Rahmen der offener Technik durchgeführte End-zu-End-Anastomose erlaubt eine sichere Rekonstruktion des wahren Lumens und die Dichtigkeit der Anastomose (Cooley et al. 1981).

Eine übliche Art der Aortenwurzelrekonstruktion ist die Entfernung des thrombotischen Materials mit anschließender Verklebung der Aortenwandschichten mittels Gewebekleber. Durch spezielle Klemmen kann die Klebung entlang der Sinus unterstützt werden. Zusätzlich können die Kommissuren mit einer Naht refixiert und stabilisiert werden. Durch diese Rekonstruktion der Aortenwurzel kann eine dissektionsbedingte Insuffizienz der Aortenklappe häufig behandelt und klappenerhaltend operiert werden (Tsagakis et al. 2009).

Da eine Aortenklappeninsuffizienz im Langzeitverlauf das Risiko einer Reoperation mit sich trägt, bevorzugen einige Autoren bei einer Dissektion einen klappenerhaltenden Ersatz der Aortenwurzel mit Reimplantation der Koronarien. Wenn klappenerhaltend operiert wird, sollte bei Marfan-Patienten der Ersatz der Aortenwurzel und die Fixierung des Aortenannulus durch die Reimplantationstechnik nach David durchgeführt werden (Kallenbach et al. 2005).

Diese Aortenklappenrekonstruktion nach David beruht auf der von David und Feindel entwickelten Methode (David et al. 1992). Hierbei wird die Aortenklappe erhalten und in eine Gefäßprothese reimplantiert. Parallel dazu existiert die Remodeling-Technik nach Yacoub, bei der eine entsprechend zurecht modulierte Gefäßprothese die sinusförmige Geometrie der Aortenwurzel nachahmt (Abb. 5) (Sarsam et al. 1993). Laut einer Studie von Hanke et al. profitieren Patienten mit Marfan-Syndrom und/oder einem dilatierten Aortenannulus von der Reimplantations-Technik. Bei Patienten mit einem nicht dilatierten Annulus zeigt sich die Remodeling-Technik als günstiges Therapieverfahren. Bei diesem

Verfahren bleibt eine gewisse Distensibilität der Aortenwurzel erhalten. Dies hat einen günstigen Einfluss auf die Aortenklappendynamik (Hanke et al. 2009).

3.2.2 Operationserweiterung in den Aortenbogen

Ziel der Aorten Chirurgie bei einer akuten Aortendissektion ist die vollständige Resektion aller Aortenabschnitte der Ascendes und des Aortenbogens, die einen Intimariss aufweisen. Beim Bogenersatz wird zwischen einem subtotalen und einem totalen Bogenersatz mit Reimplantation der Kopfhalsgefäße unterschieden. Diese Reimplantation kann sowohl separat als auch als Manschette erfolgen (Karck et al. 2010).

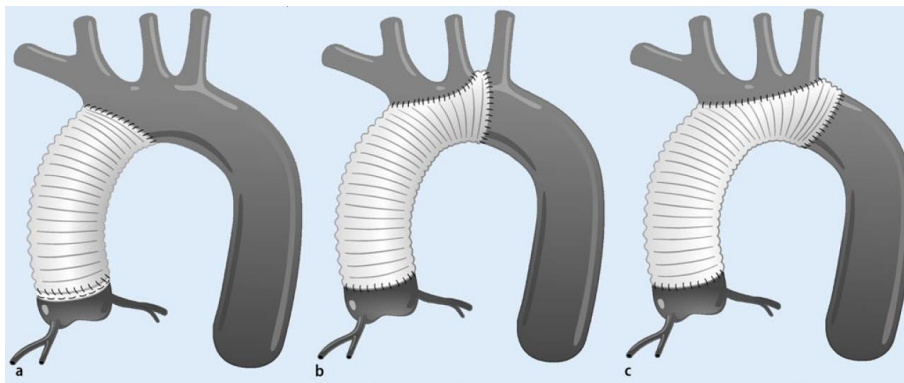


Abbildung 6: Varianten des Aortenbogenersatzes. **a** Proximaler Arkusersatz unter Belassung der Kopf- und Arterien jenseits der distalen prothesioortalen Anastomose. **b** Subtotaler Arkusersatz unter Belassung der A. subclavia sinistra jenseits der prothesioortalen Anastomose. Die rechten Bogenabgänge werden in ein Fenster am Scheitel der Prothese implantiert. **c** Totaler Arkusersatz. Die prothesioortale Verbindung liegt distal des Abgangs der A. subclavia sinistra. Alle Bogenabgänge sind in ein Fenster implantiert.

(Grafik aus (Weigang et al. 2010; Conzelmann et al. 2011) und Beschriftung aus (Karck et al. 2010))

3.2.3 Operationserweiterung in die Aorta descendens

Die Erweiterung der Operation in die Aorta descendens ist nicht umstritten (Dobrilovic et al. 2006). Bei der durch Borst entwickelten Elephant-Trunk-Technik

(ET) wird der proximale Teil der Prothese am Übergang des Aortenbogens zur Aorta descendens vernäht und der distale Teil der Prothese hängt frei in der Aorta descendens. Dieser kann bei einem weiteren Eingriff im thorako-abdominellen Bereich als Anschlussprothese dienen (Borst et al. 1983; Weigang et al. 2010; Conzelmann et al. 2011). Die Frozen-Elephant-Trunk-Technik ist wiederum eine Abwandlung der klassischen Elephant-Trunk-Technik. Hierbei wird anstelle eines konventionellen ET (Gefäßprothese) ein Stent Graft in das Gefäßlumen implantiert. Dieser Stent Graft ist heutzutage kombiniert mit einer konventionellen Gefäßprothese zum Aortenbogensersatz verfügbar und wird Hybridprothese genannt. Ein Vorteil dieser Technik liegt in einer höheren Wahrscheinlichkeit eines sog. Remodelling der descendierenden Aorta. Auch an diesen Stent Graft kann eine weitere Prothese oder katheterinterventionell ggf. ein weiterer Stent Graft angesetzt werden. (Baraki et al. 2007; Jakob et al. 2008; Karck et al. 2008).

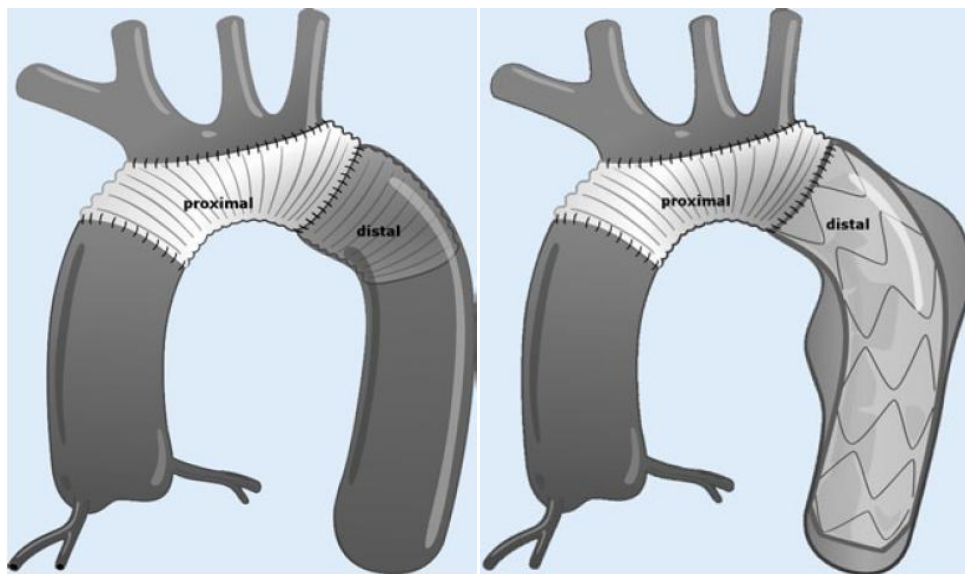


Abbildung 7: Elephant-Trunk-Technik und Frozen-Elephant-Trunk-Technik

(Grafik aus: (Weigang et al. 2010))

Zielstellung

Die Behandlung von Patienten mit einer akuten Aortendissektion Typ A ist und bleibt eine große Herausforderung. In der Betreuung dieser komplizierten Fälle ist die initiale, notfallmäßige operative Versorgung nur der erste Schritt in einer ganzen Reihe von Schritten. Die postoperative Nachsorge ist eminent wichtig, denn viele dieser Patienten entwickeln eine Dilatation der verbliebenen Aorta, die nicht selten eine Restdissektion aufweist. Eine mögliche Gefahr dieser Dilatation besteht in einer Aortenruptur. Deshalb müssen alle an einer akuten Aortendissektion erkrankten bzw. operierten Patienten regelmäßig mittels Computertomographie oder Magnetresonanztomographie nachuntersucht werden.

Eine Erkennung von prä-, intra- und postoperativen Faktoren, die eine progrediente Aortendilatation vorhersagen können, würde die Entscheidung einer nachfolgenden chirurgischen oder interventionellen Versorgung vereinfachen.

Das Ziel dieser Arbeit bestand darin, frühzeitige und mittelfristige Veränderungen der Aorta descendens bei denjenigen Patienten festzustellen, die aufgrund einer akuten Aortendissektion Typ A operativ versorgt wurden. Außerdem sollten Faktoren identifiziert werden, die einen Einfluss auf das Wachstum des Aortendiameters haben könnten. Zusätzlich wurden Faktoren analysiert, die mit aortenbezogenen Ereignissen (z. B. Re-Operation) in Verbindung stehen könnten.

4. Originalpublikation

Postoperative Changes in the Distal Residual Aorta after Surgery for Acute Type A Aortic Dissection: Impact of False Lumen Patency and Size of Descending Aorta

Sergey Leontyev^{1,*}, Felix Haag^{1,*}, Piroze M. Davierwala¹, Lukas Lehmkuhl²,
Michael A. Borger¹, Christian D. Etz¹, Martin Misfeld¹, Mathias Gutberlet² and
Friedrich W. Mohr¹

¹ *Department of Cardiac Surgery, Heart Center, University of Leipzig, Leipzig, Germany.*

² *Department of Radiology, Heart Center, University of Leipzig, Leipzig, Germany.*

* Both authors contributed equally to this work.

Thorac Cardiovasc Surg 2017;65:90–98.

Received: October 11, 2015; Accepted after revision: December 16, 2015

Published online: April 25, 2016

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0036-1571813>.

ISSN 0171-6425.

© 2017 Georg Thieme Verlag KG; Stuttgart · New York

Postoperative Changes in the Distal Residual Aorta after Surgery for Acute Type A Aortic Dissection: Impact of False Lumen Patency and Size of Descending Aorta

Sergey Leontyev^{1,*} Felix Haag^{1,*} Piroze M. Davierwala¹ Lukas Lehmkuhl² Michael A. Borger¹
Christian D. Etz¹ Martin Misfeld¹ Matthias Gutberlet² Friedrich W. Mohr¹

¹Department of Cardiac Surgery, Heart Center, University of Leipzig, Leipzig, Germany

²Department of Radiology, Heart Center, University of Leipzig, Leipzig, Germany.

Address for correspondence Sergey Leontyev, MD, PhD, Klinik für Herzchirurgie, Herzzentrum, Universität Leipzig, Strümpellstr. 39, 04289 Leipzig, Germany (e-mail: sergey.leontyev@medizin.uni-leipzig.de).

*Both authors contributed equally to this work.

Thorac Cardiovasc Surg 2017;65:90–98.

Abstract

Objective In the present study, we retrospectively identified and analyzed the factors that influenced progressive dilatation of the residual distal aorta after surgical repair for acute type A aortic dissection (acute type A).

Methods A total of 477 patients underwent surgical repair for acute type A aortic dissection between 1995 and 2012. Postoperative and follow-up computed tomography (CT) scans of the descending aorta were available in 105 patients. We analyzed the maximum aortic diameter, total luminal area, and true luminal area of the descending thoracic and abdominal aorta.

Results The mean follow-up time was 4.5 ± 3 years, and the mean time interval between CT scan investigations was 2.0 ± 2.3 years. A residual dissection membrane was observed in 80 (76%) patients, with presence of a patent false lumen (FL) in 52 patients (50%) and a thrombosed FL in 28 patients (26%).

Progression of aortic disease with an increase in aortic diameter greater than 10 mm was observed in 14.3% ($n = 15$) of patients during follow-up. The independent predictors that influenced progressive dilatation of the descending aorta by 10 mm or more were postoperative descending aortic diameter greater than 40 mm ($p = 0.006$; odds ratio [OR], 5.6; 95% confidence interval [CI], 1.6–19) and postoperative patent FL ($p = 0.002$; OR, 8.5; 95% CI, 2.2–32.3).

The unadjusted 1- and 5-year freedom from reoperation was 96.9 ± 2 and $80.1 \pm 5\%$, respectively. Marfan syndrome ($p = 0.006$; OR, 5.2; 95% CI, 1.6–16.9) and postoperative descending aortic diameter greater than 40 mm ($p = 0.07$; OR, 4.1; 95% CI, 1.4–11.6) were independent predictors of aorta-related reoperations.

The mean survival at 1, 5, and 8 years was 90.7 ± 3 , 82.5 ± 4 , and $70 \pm 6\%$, respectively. Previous cardiac surgery was independent predictor of midterm survival (hazard ratio, 3.6; 95% CI, 1.03–2.8; $p = 0.04$).

Keywords

- ▶ type A aortic dissection
- ▶ follow-up CT scan
- ▶ progressive dilatation

received
October 11, 2015
accepted after revision
December 16, 2015
published online
April 25, 2016

© 2017 Georg Thieme Verlag KG
Stuttgart · New York

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0036-1571813>.
ISSN 0171-6425.

Conclusions A regular follow-up CT scan is mandatory to assess progressive dilatation of the distal residual aortic arch, descending thoracic, and abdominal aorta after surgical repair of acute type A dissection, particularly in patients with a patent FL, descending aortic diameter greater than 40 mm, and/or Marfan syndrome.

Introduction

The treatment of patients with acute type A aortic dissection (acute type A) continues to be challenging. The early postoperative mortality rate lies between 15 and 30%.¹ The initial emergent operation is only the first step for these patients, who often develop dilatation of the residual distal aorta with an imminent risk of aortic rupture.² The analysis of pre-, intra-, and postoperative factors together with follow-up computed tomography (CT) scan images will help to evaluate an optimal treatment strategy to prevent aortic dilatation and facilitate timely decision-making for surgical or endovascular interventions. Most previous publications only analyzed changes in the maximum and minimum diameter of the aorta but not those in cross-sectional area.^{3–6} The aims of the present study are as follows:

- Evaluation of early and medium-term postoperative changes in the descending aorta following surgery for acute type A aortic dissection.
- Identification of factors influencing increase in aortic diameter.
- Evaluation of the influence of surgical technique and patency of false lumen (FL) on the fate of the distal residual aorta during follow-up.

Patients and Methods

A total of 477 consecutive patients underwent emergency aortic surgery for acute type A aortic dissection at our institution between May 1995 and March 2012. Of these, 388 patients survived the operation, resulting in an in-hospital mortality rate of 18.7% ($n = 89$). A total of 105 survivors (27.5%) had both postoperative and follow-up CT scan images available, and formed the focal point of this study.

The mean follow-up time was 4.5 ± 3 years, and the mean time interval between CT scan investigations was 2.0 ± 2.3 years (1 month to 10.3 years). The data were prospectively collected in a computerized database, and retrospective review was approved by the local ethics committee. Individual patient consent was waived.

Patients were followed up annually with a mailed questionnaire or, when needed, by contacting the referring cardiologist or general practitioner. Follow-up was 100% complete.

Operative Technique

All patients underwent emergent surgery. The details of the techniques used for aortic surgery, including the methods of cerebral protection and arterial cannulation, have been previously described.^{7,8} All patients were operated on through a midline sternotomy. Arterial cannulation was performed via the right axillary artery (arterial cannula,

Stöckert, 5.2 mm or Fem-Flex, Edwards Lifesciences; size, 18 Fr) in 83 patients (79%). The femoral artery (Fem-Flex II, Edwards Lifesciences; size, 16–18 Fr) was used in all other patients. The right atrium was cannulated with a double-stage cannula (Thin-Flex dual stage venous drainage cannula, Edwards Lifesciences; size, 29/37 Fr) and the left ventricle was vented via the right superior pulmonary vein. Patients were cooled down to a temperature between 22 and 28°C depending on the extent of the aortic pathology, following which circulatory arrest was initiated.

Antegrade selective brain perfusion, used in the majority of cases, was established by clamping the brachiocephalic trunk (in cases of right axillary artery cannulation), thus allowing perfusion of the right common carotid artery with a flow rate of 10 mL/kg/min with oxygenated cold blood at a temperature of 24°C. In complex cases, bilateral antegrade cerebral perfusion was established by additional perfusion of the left common carotid artery using direct cannulation (True Flow RDB cannula, Conecto, Bologna, Italy; size, 14–17 Fr). When right axillary artery cannulation was not used, right-sided brain perfusion was established by direct cannulation of the brachiocephalic trunk. The left subclavian artery was either occluded with a Fogarty catheter (Fogarty occlusions catheter, Edwards Lifesciences; size, 8/14 Fr) or directly perfused in difficult cases (True Flow RDB cannula, Conecto; size, 14–17 Fr) with an additional flow rate of 5 mL/kg/min. The extent of surgery was based on the extent of aortic dissection, the degree of involvement of the aortic root and aortic valve, and surgeon preference. Total aortic arch replacement with or without elephant trunk procedure was reserved for patients with an entry-site or reentry tear in the aortic arch. The brachiocephalic vessels were reimplemented either as an island or separately via side arms of a multi-branched graft (→ Table 1).

CT Scan Protocol

CT scans of the entire aorta were performed on a 64-row CT (Brilliance 64, Philips Medical Systems, Cleveland, Ohio, United States) or on a 128-row CT (Siemens Somatom Definition Flash, Siemens Healthcare, Forchheim, Germany). Patients were investigated in the supine position during breath-hold. After intravenous administration of 90 to 100 mL nonionic iodinated contrast medium (iopromide, 370 mg iodine per milliliter, Ultravist 370, Schering, Berlin, Germany; or iomeprol, 400 mg iodine per milliliter, Bracco Imaging, Konstanz, Germany) with a flow rate of 4 mL/s, followed by 40 to 60 mL saline flush, the scan was started by bolus tracking in the ascending aorta in the craniocaudal direction. Overlapping images were reconstructed at a slice thickness of 0.67 to 0.75 mm using a soft tissue reconstruction algorithm.

Table 1 Preoperative and operative data of patients operated for acute type A aortic dissection who underwent postoperative and follow-up CT scans ($n = 105$)

	$n = 105$
Age (y)	57 ± 14
Diabetes	12 (11.4)
Hypertension	86 (81.9)
Hyperlipidemia	19 (18.1)
COPD	3 (2.9)
Peripheral vascular disease	5 (4.8)
Coronary artery disease	13 (12.4)
Bicuspid aortic valve	10 (9.5)
Preexisting aortic aneurysm	53 (50.5)
Iatrogenic aortic dissection	5 (4.8)
LVEF (%)	58 ± 11
Prior cardiac surgery	8 (7.6)
Critical preoperative state	26 (24.8)
Resuscitation	7 (6.7)
Ventilation	15 (14.3)
Inotropic support	15 (14.4)
Pericardial tamponade	41 (39)
Malperfusion syndrome	31 (29.5)
Coronary malperfusion	7 (7.3)
Cerebral malperfusion	14 (14.6)
Extremity malperfusion	14 (14.6)
Visceral malperfusion	3 (3.1)
Operation	
Length of surgery	306 ± 103
CPB time (min)	196 ± 64
Cross clamp time (min)	107 ± 46
Circulatory arrest time (min)	29 ± 17
Axillary artery cannulation	83 (79.0)
Isolated ascending aorta replacement	9 (8.6)
Partial aortic arch replacement	55 (52.4)
Total aortic arch replacement	41 (39.0)
Elephant trunk technique	27 (25.7)
Reimplantation of supra-aortic vessels	
Separate	11 (10.5)
Island technique	30 (28.6)
Aortic valve/root intervention	
Aortic valve replacement	4 (3.8)
Aortic root replacement	41 (39)
AV reconstruction (Yacoub)	13 (12.4)
AV reimplantation (David)	11 (10.5)
Modified Yacoub procedure and others	7 (6.7)

Abbreviations: AV, aortic valve; COPD, chronic obstructive pulmonary disease; CPB, cardiopulmonary bypass; LVEF, left ventricular ejection fraction.

Note: Values expressed as mean \pm SD or n (%).

Thoracic and Cardiovascular Surgeon Vol. 65 No. 2/2017

Definition of Aortic Segments

For the image analysis, the aorta was divided into four segments (\rightarrow Fig. 1). The segment of the descending aorta extending from the left subclavian artery to the celiac trunk was divided into a proximal and a distal segment (descending aorta 1 [D1] and descending aorta 2 [D2]). The abdominal segment extending from the celiac trunk to the bifurcation of the aorta was also divided into a proximal and a distal part (abdominal aorta [A1] and abdominal aorta [A2]).

Image Analysis

All image postprocessing and analysis was performed on a commercially available medical workstation (Philips Extended Brilliance Workspace V 3.5.0.2254, Comprehensive Cardiac and CT Viewer, Philips Medical Systems, Best, the Netherlands).

All measurements were performed in a multiplanar reconstruction exactly perpendicular to the axis of the aortic blood flow (\rightarrow Fig. 2). The true lumen cross-sectional area (TrLA), FL cross-sectional area (FLA), total cross-sectional area (ToLA), and the maximum and minimum diameter measurements of the thoracic aorta were performed at three

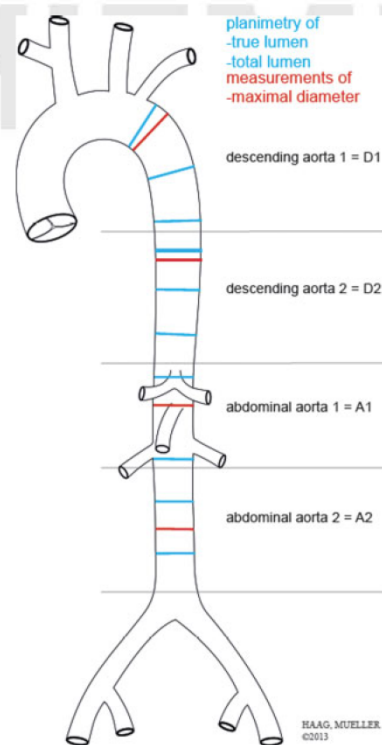


Fig. 1 Segments of the descending thoracic and abdominal aorta.

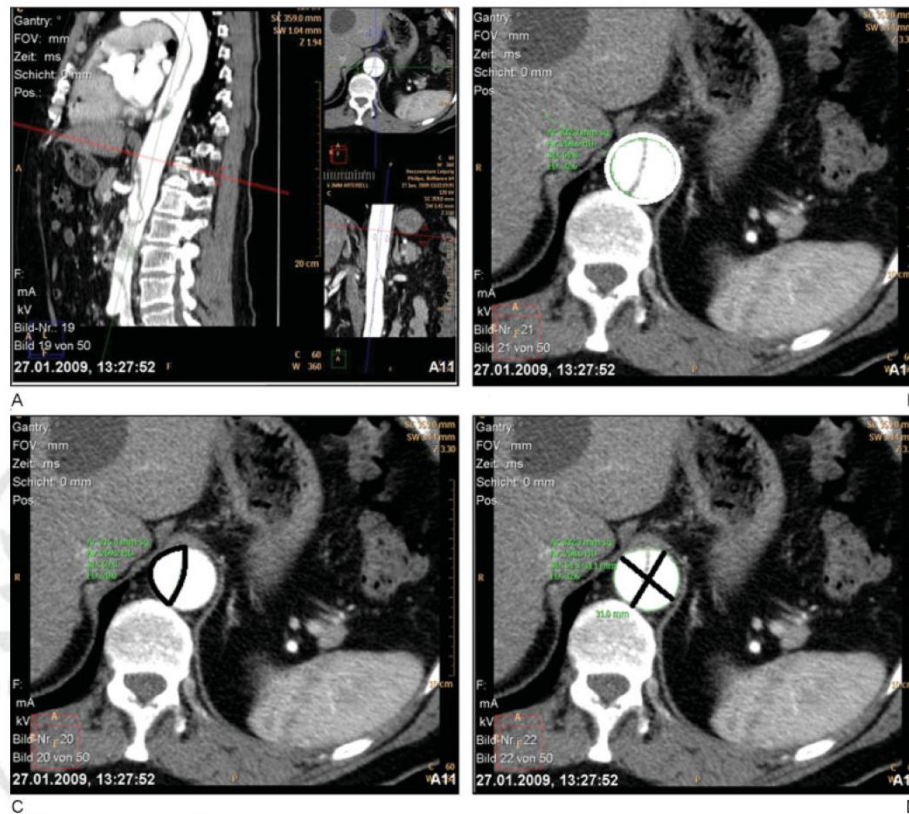


Fig. 2 Measurements of the descending thoracic aorta. (A) Adjustment of the cutting plane. (B) Measurement of the total lumen area of the aorta. (C) Measurement of the true lumen area of the aorta. (D) Measurement of the maximum and minimum diameter.

different levels for each segment, and respective changes were analyzed.

Statistical Analysis

Continuous variables are expressed as mean \pm standard deviation and categorical data as proportions throughout the article. Categorical variables were compared using the chi-square test or Fisher exact test. Independent continuous variables were compared by unpaired Student *t*-test for comparison of normally distributed data between two groups, or Kruskal–Wallis test for the comparison of more than two groups as appropriate. For comparison of postoperative and follow-up aortic parameters, we used individual repeat measurements.

Independent predictors of midterm mortality, freedom from reoperation, and an increase in aortic diameter greater than 10 mm during follow-up were determined with Cox proportional hazards analysis (see **Table 2**).

Event-free survival was calculated by Kaplan–Meier methods with 95% confidence interval (CI). A *p*-value less than 0.05 was considered statistically significant. All statistical analyses were performed using SPSS 17.0 (Chicago, Illinois, United States).

Results

The preoperative and operative data of 105 patients included in the study are presented in **Table 1**.

CT Scan Measurements

CT scan measurements showed significant increase in maximum aortic diameter (MAD), ToLA, and TrLA in the D1 and D2 segments. In the whole patient cohort, we observed 9% ($p < 0.001$) and 10% ($p < 0.001$) increase in MAD in the D1 and D2 segments, respectively. The increase in ToLA was 19% ($p < 0.001$) and 22% ($p < 0.001$), while the increase in TrLA

Table 2 Preoperative factors used in Cox regression analyses

<ul style="list-style-type: none"> • Age • Sex • Chronic pulmonary disease • Peripheral vascular disease • Preoperative cerebrovascular accident • Chronic renal insufficiency • Preoperative dialysis • Diabetes mellitus • Smoker • Coronary artery disease • Bicuspid aortic valve • Marfan syndrome 	<ul style="list-style-type: none"> • Aortic aneurysm • Iatrogenic aortic dissection • Prior cardiac surgery • Critical preoperative state • Malperfusion syndrome • History of aortic aneurysm • Redo cardiac surgery • Type of surgical technique (isolated ascending aorta replacement, partial or total aortic arch replacement) • Aortic size • Status of false lumen (occluded, patent, thrombosed) • Area of true lumen
---	--

was 20% ($p < 0.001$) and 19% ($p < 0.001$) in the D1 and D2 segments, respectively (► **Table 3**).

The postoperative CT scan before discharge revealed that residual dissection membrane was observed in 80 patients (76%), with a patent FL in 52 patients (50%) and a thrombosed FL in 28 patients (26%). An occluded FL was present in 25 (24%) patients.

During follow-up, patients with a patent FL had a significant increase in MAD (13%; $p < 0.001$) and ToLA (29%; $p < 0.001$), while the TrLA remained constant. Conversely, patients with a thrombosed FL showed no change in MAD and ToLA but showed a significant increase in the TrLA (39%; $p = 0.001$) during follow-up. Patients with an occluded FL presented an increase in MAD, ToLA, and TrLA in the D1 segment but these parameters were unchanged in the D2 segment (► **Table 3**).

The number of patients with a patent FL ($n = 52$) in the D1 segment was comparable between patients who underwent isolated replacement of the ascending aorta (55.6%; 5 of 9 patients) and those who underwent partial arch replacement (54.5%; 30 of 55 patients) but was lower in patients with total arch replacement (43.9%; 17 of 41 patients); however, the difference was not statistically significant ($p = 0.2$). Follow-up CT scan revealed 55 patients with a patent FL. Of these, six patients had a thrombosed FL and one had an obliterated FL on the pre-discharge CT scan. Conversely, four patients showed an obliteration or thrombosis of a previously patent FL.

Predictors of Increase in the Descending Aortic Diameter Greater than 10 mm

The progression of aortic disease with an increase in aortic diameter greater than 10 mm was observed in 15 patients (14.3%) during follow-up. In this group of patients, the mean postoperative and follow-up MAD were 38.4 ± 5.6 and 54.2 ± 9.5 mm ($p = 0.019$), respectively. The ToLA nearly doubled during follow-up (postoperative: $1,025 \pm 321$ mm² vs. follow-up: $1,901 \pm 860$ mm²; $p < 0.001$). The TrLA was also significant higher during follow-up and postoperative period (postoperative: 559 ± 356 mm² vs. follow-up: 633 ± 425 mm²; $p < 0.001$). The independent predictors that influenced progressive dilation of the descending aorta by ≥ 10 mm were postoperative descending aortic diameter greater than 40 mm ($p = 0.006$; odds ratio [OR],

5.6; 95% CI, 1.6–19) and a patent FL on postoperative CT scan ($p = 0.002$; OR, 8.5; 95% CI, 2.2–32.3) (► **Fig. 2**).

In patients with a patent FL ($n = 52$) on the postoperative CT scan, TrLA lower than 25% of the ToLA ($p = 0.02$; OR, 15.2; 95% CI, 2.6–87) and postoperative descending aortic diameter greater than 40 mm ($p = 0.003$; OR, 12.4; 95% CI, 2.3–67) were factors that independently predicted dilatation of the descending aorta by ≥ 10 mm (► **Fig. 3**).

Predictors of Aorta-Related Reoperation

During follow-up, 18 patients were reoperated for a thoracoabdominal aortic aneurysm (16 planned, 1 after disease progression, and 1 after new onset of symptoms) after a mean interval of 1.7 ± 1.6 years, ranging from 36 days to 6.1 years. One patient underwent emergent surgery for rupture of the descending aorta, while 16 patients received replacement of the thoracic aorta with or without replacement of the abdominal aorta. One patient underwent a debranching procedure, and thoracic endovascular aortic repair was performed in one patient during follow-up.

The unadjusted 1- and 5-year freedom from reoperation were 96.9 ± 2 and $80.1 \pm 5\%$, respectively. Cox proportional hazards analysis revealed Marfan syndrome ($p = 0.006$; OR, 5.2; 95% CI, 1.6–16.9) and postoperative descending aortic diameter greater than 40 mm ($p = 0.07$; OR, 4.1; 95% CI, 1.4–11.6) as predictors of aorta-related reoperation (► **Fig. 4**). In patients with a patent FL ($n = 52$) on postoperative CT scan, TrLA smaller than 25% of the ToLA ($p = 0.02$; OR, 4.5; 95% CI, 1.2–16.3) was found to be an independent predictor of aorta-related reoperation.

Predictors of Long-Term Survival

The estimated mean survival time for all patients was 9.5 ± 0.5 years, ranging from 40 days to 12.1 years, with a total follow-up of 475 patient-years.

The unadjusted 1-, 5-, and 8-year survival times for the entire group were 90.7 ± 3 , 82.5 ± 4 , and $70 \pm 6\%$, respectively. Cox proportional hazards analysis revealed prior cardiac surgery (hazard ratio [HR], 3.6; 95% CI, 1.03–12.8; $p = 0.04$) as the only independent predictor of midterm survival.

The 1-, 5-, and 8-year survival of 283 patients (not included in the study) who did not receive follow-up CT

Table 3 Segment-wise measurements of the descending thoracic and abdominal aorta before discharge and at follow-up

	Postoperatively (mean \pm SD) (mm)	Follow-up (mean \pm SD) (mm)	Percent changes (%)
Maximum diameter (mm)			
D1	37.7 \pm 7.7	40.9 \pm 10.0	9
No dissection membrane	33.0 \pm 7.2	35.7 \pm 9.6	9
Patent FL	37.0 \pm 4.0	42.0 \pm 7.5	13
Thrombosed FL	43.0 \pm 10.1	43.6 \pm 12.9	1
D2	31.7 \pm 5.5	35.0 \pm 8.3	10
No dissection membrane	29.3 \pm 7.9	29.9 \pm 9.0	2
Patent FL	32.1 \pm 4.0	36.9 \pm 6.9	15
Thrombosed FL	34.7 \pm 5.1	35.1 \pm 9.9	1
A1	28.5 \pm 4.8	30.9 \pm 6.1	8
No dissection membrane	25.1 \pm 4.1	26.5 \pm 7.0	5
Patent FL	29.4 \pm 4.5	32.3 \pm 5.4	11
Thrombosed FL	31.1 \pm 4.4	28.6 \pm 3.7	-8
A2	24.9 \pm 6.8	28.6 \pm 7.9	12
No dissection membrane	23.1 \pm 8.3	27.5 \pm 11.3	4
Patent FL	25.2 \pm 4.8	28.5 \pm 6.1	15
Thrombosed FL	35.6 \pm 13.4	35.3 \pm 14.7	-2
Total lumen area (mm ²)			
D1	891 \pm 357	1,040 \pm 475	19
No dissection membrane	690 \pm 359	791 \pm 477	16
Patent FL	868 \pm 177	1,114 \pm 374	29
Thrombosed FL	1,114 \pm 477	1,125 \pm 572	2
D2	691 \pm 225	836 \pm 372	22
No dissection membrane	591 \pm 305	640 \pm 404	7
Patent FL	710 \pm 177	921 \pm 338	32
Thrombosed FL	812 \pm 202	775 \pm 332	-6
A1	515 \pm 168	609 \pm 258	17
No dissection membrane	390 \pm 134	471 \pm 300	15
Patent FL	548 \pm 161	656 \pm 245	21
Thrombosed FL	587 \pm 148	531 \pm 119	-8
A2	449 \pm 278	559 \pm 304	20
No dissection membrane	398 \pm 338	555 \pm 503	7
Patent FL	447 \pm 170	547 \pm 203	27
Thrombosed FL	969 \pm 715	759 \pm 505	-19
True lumen area (mm ²)			
D1	442 \pm 277	519 \pm 354	20
No dissection membrane	679 \pm 370	748 \pm 495	10
Patent FL	293 \pm 103	322 \pm 155	13
Thrombosed FL	508 \pm 231	666 \pm 263	39
D2	339 \pm 218	378 \pm 233	19
No dissection membrane	581 \pm 278	604 \pm 274	5
Patent FL	233 \pm 83	274 \pm 145	24
Thrombosed FL	418 \pm 150	467 \pm 126	21

(Continued)

Table 3 (Continued)

	Postoperatively (mean \pm SD) (mm)	Follow-up (mean \pm SD) (mm)	Percent changes (%)
A1	266 \pm 139	283 \pm 170	11
No dissection membrane	388 \pm 133	446 \pm 203	13
Patent FL	213 \pm 109	226 \pm 130	12
Thrombosed FL	382 \pm 95	370 \pm 108	-1
A2	282 \pm 237	271 \pm 289	1
No dissection membrane	393 \pm 338	513 \pm 511	0.1
Patent FL	211 \pm 119	182 \pm 90	1
Thrombosed FL	481 \pm 187	506 \pm 188	6

Abbreviation: FL, false lumen.

scan of the aorta was 86.7 ± 2 , 75 ± 3 , and $61.2 \pm 4\%$, respectively, and was comparable with the study patients who underwent postoperative and follow-up CT scans (log rank $p = 0.13$) (**Fig. 5**).

Discussion

The current study involves an analysis of the follow-up clinical and CT scan data of a large patient cohort that required emergency surgery for acute type A aortic dissection. The initial aortic diameter, patent FL, and Marfan syndrome were factors that influenced the fate of the descending aorta with ensuing increased risk of reoperation.

Fate of the Descending Aorta

Halstead and colleagues have shown that the growth rate of descending thoracic and abdominal aorta is 1 and 0.8 mm/year, respectively. An aortic size greater than 4 cm or less than 4 cm, but with a patent FL, were factors responsible for a greater increase in the diameter of aorta.⁶ In the present series, we observed significant enlargement of descending thoracic and abdominal aorta in all patients at follow-up. In patients with a patent FL, the size or area of the perfused true

lumen played an important role in progression of descending aortic disease. Song and colleagues identified an initial FL diameter of 22 mm or more as an independent factor for progression of aortic disease.⁹ Immer and coworkers showed that a TrLA of less than 30% at 6 months after surgery is the strongest predictor for secondary dilatation of the descending aorta.¹⁰ In our study, we were able to show that a TrLA less than 25% combined with an aortic diameter greater than 40 mm on the postoperative CT scan was an independent predictor of an increase in aortic diameter of 10 mm or more.

An extensive total aortic arch replacement alone reduced the incidence of FL patency due to radical resection of the dissected aortic tissue.^{11,12} Hirotoni et al reported their results of extended total arch replacement performed even in patients without intimal tears in aortic arch or descending thoracic aorta. Intimal tears were detected in the arch and proximal descending thoracic aorta in 42 and 14% of their patients, respectively. Importantly, a third of these patients had no visible intimal tear at surgery.¹³ In our institution, we prefer to exclude the intimal tear by extending the resection from partial to total aortic arch. In the present study, we did not find significant influence of surgical technique on FL patency. The FL was patent in 43% of patients, who

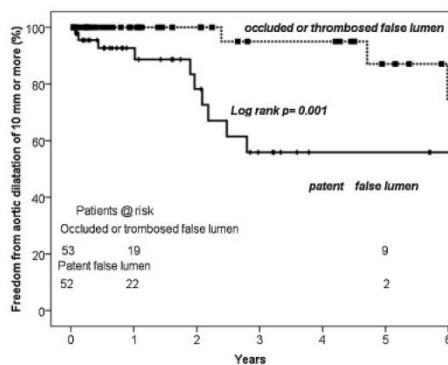


Fig. 3 Freedom from descending aortic dilatation of 10 mm or more according to false lumen patency.

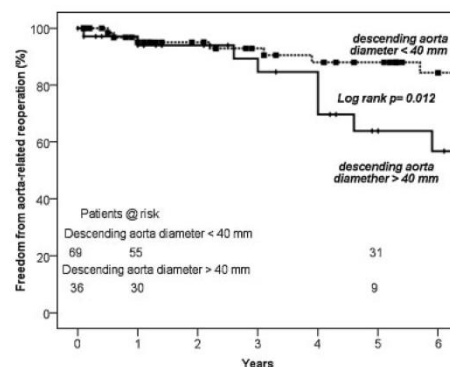


Fig. 4 Freedom from reoperation on the distal residual aorta according to the initial diameter of the aorta.

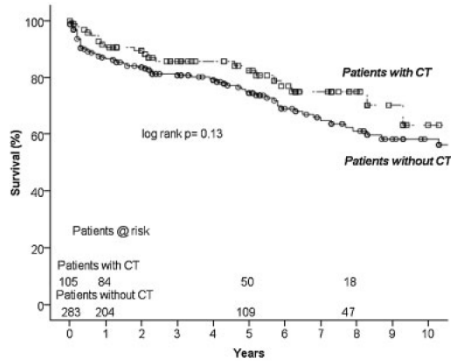


Fig. 5 Comparison of overall survival of patients undergoing surgery for type A aortic dissection with postoperative and follow-up CT scan and without CT scan during follow-up.

underwent total arch replacement compared with 55 and 56% with isolated ascending aorta and partial arch replacement, respectively. This proves that visual inspection of the diseased aorta cannot reliably exclude the presence of an intimal tear and a more extensive resection of diseased aorta is worth considering.

In the current era of endovascular therapy, new technological solutions can be used to prevent FL patency in patients after surgery for acute type A aortic dissection. The “frozen elephant trunk” technique involves the use of a prosthesis that combines a conventional vascular prosthesis and a stent graft. Gorlitzer and colleagues reported that the FL had completely thrombosed in all patients with acute and chronic dissection 3 months after surgery.¹⁴ The results of the international registry, including a large patient cohort, showed a 76% rate of complete FL thrombosis in patients operated upon with the frozen elephant trunk implantation technique without an increase in inhospital mortality in acute type A dissection patients compared with all other patients who underwent total arch replacement.^{15,16}

Thrombosis of the FL has a protective impact on late aortic dilatation contrary to fate of descending aorta in patients with patent FL.⁵ In our study, more than a quarter of the patients had complete thrombosis of the FL in the proximal part of descending thoracic aorta at the time of discharge. The ToLA remained constant in these patients, with a significant increase in the TrLA (39%), particularly at the D1 level. We found complete obliteration of the FL in the follow-up CT scan in 30 patients. The size of the descending thoracic aorta increased in this patients group, but the MAD continued to remain under 40 mm.

Predictors for Reoperation

Song et al reported 5- and 10-year freedom from distal aorta-related reoperation 78 and 66%, respectively.⁴ It has been shown in literature that a patent FL,⁴ initial aortic diameter, and Marfan syndrome¹⁷ independently predict

aorta-related reoperations. Conversely, closure of the intimal tear at the initial operation is associated with a reduced rate of reoperations.¹⁸

In the present study, the 5-year freedom from aorta-related reoperations was 80%. Majority of patients underwent elective reoperations on the distal aortic arch or descending thoracic aorta. The independent predictors of reoperation were Marfan syndrome and postoperative residual aortic diameter greater than 40 mm. Thirty-eight percent of patients with postoperative residual aortic diameter of greater than 40 mm underwent repeat intervention on the residual distal aorta. Neither the presence of a dissection membrane nor the status of FL, whether perfused or thrombosed, was identified as factor influencing late reoperation rate.

Medium-Term Survival

In spite of the progression of disease in the distal residual aorta, the overall postdischarge survival was an acceptable 82% at 5 years. The influence of aortic pathology on overall survival is extensively discussed in the literature. A patent FL,^{3,6,16} partial thrombosis of the FL,⁴ FL diameter,⁹ age, and/or new neurological deficit at presentation⁶ are factors that have been identified as independent predictors for late death in previous publications. Contrarily, we were not able to identify these factors as independent predictors of late mortality in our series. Similar to a report published by Kimura and colleagues,¹⁹ we did not find patency of FL to impact medium-term survival. In the present study, we revealed prior cardiac surgery as independent predictor of late death. Half of these patients suffered from malperfusion syndrome and other comorbidities. In addition, 25% of patients developed a postoperative permanent neurological deficit. These factors are known as predictors of late death.

Summary

In spite of successful surgical treatment of acute type A aortic dissection, patients continue to have progressive dilatation of the aortic arch and/or descending aorta distal to the replaced aortic segment. The increase in diameter of the distal residual aorta and the need for a reoperation are influenced by FL patency, descending aortic diameter greater than 40 mm, and Marfan syndrome. Primary replacement of the entire aortic arch with or without an elephant trunk technique could not only prevent persistence of FL patency due to a more extensive resection of the intimal tear, but also facilitate a second-stage surgical or endovascular repair of the distal aorta. Performance of a follow-up CT scan investigation at regular intervals cannot be overemphasized to evaluate the status of the residual diseased aorta and prevent late aorta-related complications by a timely intervention, particularly in patients with a patent FL, descending aortic diameter greater than 40 mm, and/or Marfan syndrome. Early reinterventions on the distal residual aorta are recommended in patients with a persistent patent FL and postoperative TrLA less than 25%.

Study Limitation

First, the retrospective and nonrandomized nature makes it susceptible to selection bias. Second, only 30% of all patients operated for acute type A aortic dissection received both postoperative and follow-up CT scan evaluation and were included in the study. However, in our opinion, the present study reflects the real-world scenario and shows that follow-up investigations at regular intervals are very important in identifying new or continuing changes in the residual descending aorta, which would help plan a timely reintervention to achieve successful outcomes in patients with complex aortic pathology.

Acknowledgments

Sergey Leontyev contributed in study design, data analysis and writing of the manuscript.

Felix Haag was involved completely in this project including study design, work of protocol for data collection and data collection. After data collection S.L. and F.H. together performed the data analysis and interpretation. F.H. was fully involved also in the preparing of the manuscript, especially in preparation of tables, figures as well as in text correction.

He will use this work for his MD thesis.

References

- 1 Trimarchi S, Nienaber CA, Rampoldi V, et al; International Registry of Acute Aortic Dissection Investigators. Contemporary results of surgery in acute type A aortic dissection: The International Registry of Acute Aortic Dissection experience. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2005;129(1):112–122
- 2 Heinemann M, Laas J, Karck M, Borst HG. Thoracic aortic aneurysms after acute type A aortic dissection: necessity for follow-up. *Ann Thorac Surg* 1990;49(4):580–584
- 3 Bernard Y, Zimmermann H, Chocron S, et al. False lumen patency as a predictor of late outcome in aortic dissection. *Am J Cardiol* 2001;87(12):1378–1382
- 4 Song SW, Chang BC, Cho BK, et al. Effects of partial thrombolysis on distal aorta after repair of acute DeBakey type I aortic dissection. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2010;139(4):841–7.e1, discussion 847
- 5 Kim JB, Lee CH, Lee TY, et al. Descending aortic aneurysmal changes following surgery for acute DeBakey type I aortic dissection. *Eur J Cardiothorac Surg* 2012;42(5):851–856, discussion 856–857
- 6 Halstead JC, Meier M, Etz C, et al. The fate of the distal aorta after repair of acute type A aortic dissection. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2007;133(1):127–135
- 7 Leontyev S, Borger MA, Legare JF, et al. Iatrogenic type A aortic dissection during cardiac procedures: early and late outcome in 48 patients. *Eur J Cardiothorac Surg* 2012;41(3):641–646
- 8 Misfeld M, Leontyev S, Borger MA, et al. What is the best strategy for brain protection in patients undergoing aortic arch surgery? A single center experience of 636 patients. *Ann Thorac Surg* 2012; 93(5):1502–1508
- 9 Song JM, Kim SD, Kim JH, et al. Long-term predictors of descending aorta aneurysmal change in patients with aortic dissection. *J Am Coll Cardiol* 2007;50(8):799–804
- 10 Immer FF, Krähenbühl E, Hagen U, et al. Large area of the false lumen favors secondary dilatation of the aorta after acute type A aortic dissection. *Circulation* 2005;112(9, Suppl): I249–I252
- 11 Kazui T, Washiyama N, Muhammad BA, et al. Extended total arch replacement for acute type A aortic dissection: experience with seventy patients. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2000;119(3):558–565
- 12 Urbanski PP, Siebel A, Zacher M, Hacker RW. Is extended aortic replacement in acute type A dissection justifiable? *Ann Thorac Surg* 2003;75(2):525–529
- 13 Hirotsani T, Nakamichi T, Munakata M, Takeuchi S. Routine extended graft replacement for an acute type A aortic dissection and the patency of the residual false channel. *Ann Thorac Surg* 2003; 76(6):1957–1961
- 14 Gorlitzer M, Weiss G, Meinhart J, et al. Fate of the false lumen after combined surgical and endovascular repair treating Stanford type A aortic dissections. *Ann Thorac Surg* 2010;89(3):794–799
- 15 Tsagakis K, Pacini D, Di Bartolomeo R, et al. Arch replacement and downstream stent grafting in complex aortic dissection: first results of an international registry. *Eur J Cardiothorac Surg* 2011; 39(1):87–93, discussion 93–94
- 16 Leontyev S, Tsagakis K, Pacini D, et al. Impact of clinical factors and surgical techniques on early outcome of patients treated with frozen elephant trunk technique by using EVITA open stent-graft: results of a multicentre study. *Eur J Cardiothorac Surg* 2016;49(2):660–666
- 17 Fattouch K, Sampognaro R, Navarra E, et al. Long-term results after repair of type A acute aortic dissection according to false lumen patency. *Ann Thorac Surg* 2009;88(4):1244–1250
- 18 Bachet JE, Termignon JL, Dreyfus G, et al. Aortic dissection. Prevalence, cause, and results of late reoperations. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1994;108(2):199–205, discussion 205–206
- 19 Kimura N, Tanaka M, Kawahito K, Yamaguchi A, Ino T, Adachi H. Influence of patent false lumen on long-term outcome after surgery for acute type A aortic dissection. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2008;136(5):1160–1166, 1166.e1–1166.e3

5. Zusammenfassung der Arbeit

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Dr. med.

Postoperative Veränderungen der distalen Aortenwandarchitektur bei Patienten nach chirurgischer Behandlung einer akuten Aortendissektion Typ A

eingereicht von: Felix Georg Haag

angefertigt an: Klinik für Herzchirurgie – Herzzentrum Leipzig GmbH

betreut von: Prof. Dr. med. Friedrich Wilhelm Mohr
PD Dr. med. Sergey Leontyev
Prof. Dr. med. Martin Misfeld

Juni 2017

Die Aortendissektion ist ein vital äußerst bedrohliches Krankheitsbild. Klinisch steht der Schmerz im Vordergrund und ist häufig richtungsweisend. Sowohl für eine schnelle und sichere Diagnose als auch für die Nachsorge der Patienten hat sich die Computertomographie etabliert. Sie ist weit verbreitet und ermöglicht einen raschen und zielgenauen Befund. Zusätzlich können mit dieser Methode verschiedene Formen des akuten Aortensyndroms unterschieden und mittels EKG-getriggter CT-Technik bewegungsfreie Bilder erstellt werden. Die Computertomographie hat somit eine große Bedeutung bei der Indikationsstellung zur Operation sowie bei der Operationsplanung.

Die Ziele dieser Arbeit bestanden darin, frühzeitige und mittelfristige Veränderungen der Aorta descendens bei Patienten festzustellen, die aufgrund einer Aortendissektion Typ A operativ versorgt wurden. Es wurden Faktoren analysiert, die Einfluss auf das Wachstum des Aortendiameters haben könnten. Zudem sollten Einflussgrößen definiert werden, die mit aortenbezogenen Ereignissen in Verbindung stehen könnten.

Mit diesen Zielstellungen im Blick konnten 452 konsekutive Patienten, die zwischen 1995 und 2012 aufgrund einer akuten Aortendissektion Typ A am Herzzentrum Leipzig operiert wurden, eingeschlossen werden. Nach Analyse der vorhandenen diagnostischen Bildmaterialien (CT, MRT) konnten 105 (30%) der überlebenden 355 Patienten (78,5%) in die Analyse einbezogen werden. Bei diesen Patienten waren sowohl frühe postoperative CT-Bilder als auch CT-Bilder im Nachuntersuchungszeitraum verfügbar.

Zur besseren Objektivierbarkeit der Ergebnisse wurde die Aorta in vier Abschnitte unterteilt und anschließend die Flächen- und auch Diametermessungen anhand eines vorher festgelegten, einheitlichen Algorithmus durchgeführt. Die Aorta wurde im Planarmodus für jede einzelne Messung so eingestellt, dass sich die Schnittebene immer exakt orthogonal zum Aortenverlauf darstellte. Für die im Anschluss an die Messungen folgende statistische Analyse wurde SPSS 17.0 (Chicago, IL) verwendet.

Bei insgesamt 80 Patienten (76%) lag eine fortbestehende Dissektionsmembran vor. Hiervon zeigten 52 Patienten (50%) ein bestehendes bzw. perfundiertes falsches Lumen und 28 Patienten (26%) ein thrombosiertes falsches Lumen.

Ein Fortschreiten des Aortensyndroms mit einem Zuwachs des Aortendiameters um mehr als 10 mm wurde bei 15 Patienten (14,3%) im Nachbeobachtungszeitraum erkannt. Die unabhängigen Risikofaktoren für eine progressive Dilatation der Aorta descendens um mindestens 10 mm waren ein initialer postoperativer Aortendurchmesser von mehr als 40 mm sowie ein postoperativ perfundiertes falsches Lumen.

Reoperationen im Verlauf mussten bei 18 Patienten erfolgen. Die unbereinigte 1-, 5- und 8-Jahres-Freiheit einer aortenbezogenen Reoperation betrug $96,9 \pm 1,8\%$, $80,1 \pm 4,9\%$, und $75,2 \pm 5,7\%$. Reoperationen traten häufiger beim Marfan-Syndrom und bei einem initialen postoperativen Aortendurchmesser von mehr als 40 mm auf. Als einziger unabhängiger Einflussfaktor auf die mittlere Überlebenszeit konnte ein vorausgegangener herzchirurgischer Eingriff identifiziert werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass trotz der erfolgreichen operativen Versorgung einer akuten Aortendissektion Typ A eine Dilatation der Aortenabschnitte distal der implantierten Gefäßprothese in aller Regel fortschreitet. Die Zunahme des Diameters der distalen Aortenabschnitte sowie die Notwendigkeit einer erneuten Operation sind beeinflusst durch die Beschaffenheit des falschen Lumens (perfundiert oder thrombosiert), den postoperativen aortalen Diameter sowie das Vorliegen eines Marfan-Syndroms. Um den Zustand der verbliebenen erkrankten Aorta zu beurteilen und um weitere Komplikationen durch rechtzeitiges Einschreiten zu verhindern, sollten im Nachuntersuchungszeitraum in regelmäßigen Abständen (jährlich) CT- bzw. MRT-Verlaufskontrollen durchgeführt werden.

Literaturverzeichnis

Baraki, H; Hagl, C; Khaladj, N; Kallenbach, K; Weidemann, J; Haverich, A; Karck, M (2007): "The frozen elephant trunk technique for treatment of thoracic aortic aneurysms." *The Annals of Thoracic Surgery* 83 (2): S819-S823.

Beckmann, A; Funkat, A-K; Lewandowski, J; Frie, M; Ernst, M; Hekmat, K; Schiller, W; Gummert, JF; Cremer, JT (2015): "Cardiac Surgery in Germany during 2014: A Report on Behalf of the German Society for Thoracic and Cardiovascular Surgery." *Thorac cardiovasc Surg* 63 (04): 258-269.

Borst, HG; Walterbusch, G; Schaps, D (1983): "Extensive aortic replacement using "elephant trunk" prosthesis." *Thorac Cardiovasc Surg* 31 (1): 37-40.

Brenner, DJ; Hall, EJ (2007): "Computed Tomography — An Increasing Source of Radiation Exposure." *N Engl J Med* 2007 357 (22): 2277-2284.

Conzelmann, L; Dapunt, O; Kallenbach, K; Karck, M; Weigang, E (2009): "Deutsches Register für akute Aortendissektion Typ A (GERAADA)." *Zeitschrift für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie* 23 (5): 298-304.

Conzelmann, LO; Krüger, T; Hoffmann, I; Rylski, B; Easo, J; Oezkur, M; Kallenbach, K; Dapunt, O; Karck, M; Weigang, E (2011): "Deutsches Register für akute Aortendissektion Typ A (GERAADA)." *Herz* 36 (6): 513-524.

Cooley, DA (1990): "Surgical management of aortic dissection." *Texas Heart Institute Journal* 17 (4): 289.

Cooley, DA; Livesay, JJ (1981): "Technique of "open" distal anastomosis for ascending and transverse arch resection." *Cardiovascular diseases* 8 (3): 421.

Daily, PO; Trueblood, HW; Stinson, EB; Wuerflein, RD; Shumway, NE (1970): "Management of Acute Aortic Dissections." *The Annals of Thoracic Surgery* 10 (3): 237-247.

David, TE; Feindel, C (1992): "An aortic valve-sparing operation for patients with aortic incompetence and aneurysm of the ascending aorta." *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery* 103 (4): 617-621; discussion 622.

De Bakey, ME; Beall, AC, Jr.; Cooley, DA; Crawford, ES; Morris, GC, Jr.; Garrett, HE; Howell, JF (1966): "Dissecting aneurysms of the aorta." *The Surgical clinics of North America* 46 (4): 1045.

De Bakey, ME; Cooley, DA; Creech, O, Jr. (1955): "Surgical considerations of dissecting aneurysm of the aorta." *Annals of surgery* 142 (4): 586.

Dobrilovic, N; Elefteriades, JA (2006): "Stenting the descending aorta during repair of type A dissection: Technology looking for an application?" *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery* 131 (4): 777-778.

Erbel, R (2001): "Diagnosis and management of aortic dissection Task Force on Aortic Dissection, European Society of Cardiology." *European Heart Journal* 22 (18): 1642-1681.

Fann, JI; Smith, JA; Miller, DC; Mitchell, RS; Moore, KA; Grunkemeier, G; Stinson, EB; Oyer, PE; Reitz, BA; Shumway, NE (1995): "Surgical management of aortic dissection during a 30-year period." *Circulation* 92 (9): 113-121.

Hagan, PG; Nienaber, CA; Isselbacher, EM; Bruckman, D; Karavite, DJ; Russman, PL; Evangelista, A; Fattori, R; Suzuki, T; Oh, JK (2000): "The international registry of acute aortic dissection (IRAD)." *JAMA: the journal of the American Medical Association* 283 (7): 897-903.

Hanke, T; Charitos, EI; Stierle, U; Robinson, D; Gorski, A; Sievers, H-H; Misfeld, M (2009): "Factors associated with the development of aortic valve regurgitation over time after two different techniques of valve-sparing aortic root surgery." *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery* 137 (2): 314-319.

Hiratzka, LF; Bakris, GL; Beckman, JA; Bersin, RM; Carr, VF; Casey, DE; Eagle, KA; Hermann, LK; Isselbacher, EM; Kazerooni, EA; Kouchoukos, NT; Lytle, BW; Milewicz, DM; Reich, DL; Sen, S; Shinn, JA; Svensson, LG; Williams, DM (2010): "2010 ACCF/AHA/AATS/ACR/ASA/SCA/SCAI/SIR/STS/SVM Guidelines for the Diagnosis and Management of Patients With Thoracic Aortic Disease: A Report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines, American Association for Thoracic Surgery, American College of Radiology, American Stroke Association, Society of Cardiovascular Anesthesiologists, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Interventional Radiology, Society of Thoracic Surgeons, and Society for Vascular Medicine." *Circulation* 121 (13): e266-e369.

Hirst, AE, Jr.; Johns, VJ, Jr.; Kime, WS, Jr. (1958): "Dissecting aneurysm of the aorta: a review of 505 cases." *Medicine* 37 (3): 217.

Jakob, H; Tsagakis, K; Tossios, P; Massoudy, P; Thielmann, M; Buck, T; Eggebrecht, H; Kamler, M (2008): "Combining classic surgery with descending stent grafting for acute DeBakey type I dissection." *The Annals of Thoracic Surgery* 86 (1): 95-101.

Kallenbach, K; Karck, M; Pak, D; Salcher, R; Khaladj, N; Leyh, R; Hagl, C; Haverich, A (2005): "Decade of Aortic Valve Sparing Reimplantation Are We Pushing the Limits Too Far?" *Circulation* 112 (9 suppl): I-253-I-259.

Karck, M; Kallenbach, K (2010): "Aneurysma und Dissektion der thorakalen und thorakoabdominalen Aorta". Herzchirurgie: Die Eingriffe am Herzen und an den herznahen Gefäßen. Ziemer, G; Haverich, A, Springer DE. 3: 691-725.

Karck, M; Kamiya, H (2008): "Progress of the treatment for extended aortic aneurysms; is the frozen elephant trunk technique the next standard in the treatment of complex aortic disease including the arch?" European Journal of Cardio-Thoracic Surgery 33 (6): 1007-1013.

Leitz, K (2009): "Geschichte der Herzchirurgie in Deutschland". Herzchirurgie. Die Eingriffe am Herzen und an den herznahen Gefäßen. Haverich A; Ziemer G. Berlin, Heidelberg, New York., Springer. 3. Auflage 3-26.

Manning, WJ (2012): Clinical manifestations and diagnosis of aortic dissection. Waltham, MA, UpToDate, Basow, DS (Ed). Waltham, MA.

Maunoir, JP (1802): Mémoires physiologiques et pratiques sur l'anévrisme et la ligature des artères, Paschaud, JJ.

McMahon, MA; Squirrell, CA (2010): "Multidetector CT of Aortic Dissection: A Pictorial Review." Radiographics 30 (2): 445-460.

Prêtre, R; Von Segesser, LK (1997): "Aortic dissection." The Lancet 349 (9063): 1461-1464.

Reece, TB; Green, GR; Kron, IL (2008): "Aortic dissection". Cardiac Surgery in the Adult. New York, McGraw-Hill: 1195-1222.

Reimer, P; Vosshenrich, R; Landwehr, P (2007): "Imaging of aortic disease." Radiologie (47): 443.

Roberts, CS; Roberts, WC (1991): "Aortic dissection with the entrance tear in the descending thoracic aorta. Analysis of 40 necropsy patients." Annals of surgery 213 (4): 356.

Sarsam, M; Yacoub, M (1993): "Remodeling of the aortic valve anulus." The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery 105 (3): 435-438.

Schneider, CA; Beuckelmann, D, Eds. (2011). Erkrankungen der thorakalen Aorta. Klinische Kardiologie, Springer Berlin Heidelberg.

Shiau, MC; Godoy, MC; de Groot, PM; Ko, JP (2010): "Thoracic aorta: Acute syndromes." Applied Radiology 39 (1): 6.

Statistisches Bundesamt Deutschland (2011): Todesursachen Einzelnachweis. 12.

Svensson, LG; Crawford, ES (1997): Cardiovascular and vascular diseases of the aorta. Philadelphia, Saunders WB.

Svensson, LG; Labib, SB; Eisenhauer, AC; Butterly, JR (1999): "Intimal Tear Without Hematoma: An Important Variant of Aortic Dissection That Can Elude Current Imaging Techniques." *Circulation* 99 (10): 1331-1336.

Tsagakis, K; Massoudy, P; Jakob, H (2009): "Operative Techniken zur chirurgischen Therapie der akuten Typ-A-Dissektion." *Zeitschrift für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie* 23 (6): 335-344.

Uflacker, R (2010): "Atlas Of vascular anatomy: an angiographic approach." *JOP. J Pancreas* 11.

Vasile, N; Mathieu, D; Keita, K; Lellouche, D; Bloch, G; Cachera, JP (1986): "Computed tomography of thoracic aortic dissection: accuracy and pitfalls." *Journal of computer assisted tomography* 10 (2): 211-215.

von Kodolitsch, Y; Csösz, SK; Koschyk, DH; Schalwat, I; Loose, R; Karck, M; Dieckmann, C; Fattori, R; Haverich, A; Berger, J (2003): "Intramural hematoma of the aorta predictors of progression to dissection and rupture." *Circulation* 107 (8): 1158-1163.

Weigang, E; Conzelmann, L; Kallenbach, K; Dapunt, O; Karck, M (2010): "German Registry for Acute Aortic Dissection Type A (GERAADA) – Lessons Learned from the Registry." *The Thoracic and Cardiovascular Surgeon* 58 (03): 154-158.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilungsvariante des akuten Aortensyndroms	7
Tabelle 2: Aussagekraft der Bildgebungstechniken bei Aortendissektion	11
Tabelle 3: Interventionelle Therapie bei akuter Aortendissektion	14

Abbildungsverzeichnis

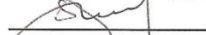
Abbildung 1: Wandschichten der Aorta.....	2
Abbildung 2: Skizze des anatomischen Verlaufs der Aorta	3
Abbildung 3: Klassifikation der Aortendissektion nach DeBakey und Stanford	6
Abbildung 4: Aortenquerschnitt.....	8
Abbildung 5: Operationstechniken zur chirurgischen Versorgung der Aorta ascendens bei akuter Aortendissektion Typ A	15
Abbildung 6: Varianten des Aortenbogensersatzes	17
Abbildung 7: Elephant-Trunk-Technik und Frozen-Elephant-Trunk-Technik.....	18

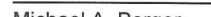
Darstellung des wissenschaftlichen Beitrags

Wissenschaftlicher Beitrag des Promovenden Felix Georg Haag zur Publikation bei geteilter Erstautorenschaft:


- Beteiligung am Studiendesign
- Datenerhebung
- Auswertung der Computertomographiebilder
- Statistische Auswertung
- Interpretation der Ergebnisse
- Literaturrecherche
- Erstellung von Tabellen und Schaubildern
- Mitverfassung, Bearbeitung und Korrektur Publikationsschrift

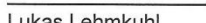
Herzzentrum Leipzig
Universitätsklinik
Klinik für Herzchirurgie
Oberarzt PD Dr. med. Sergey Leontyev



Sergey Leontyev
(geteilter Erstautor und Mitautor)


Michael A. Borger
(Mitautor)


Universität Leipzig
HERZZENTRUM
Herzzentrum Leipzig GmbH
Klinik für Herzchirurgie
Direktor
Friedrich-W. Mohr
(Mitautor)
Strümpfelstraße 39
04289 Leipzig
Tel.: 0341 865-1421, Fax: 0341 865-1452


Christian D. Eitz
(Mitautor)


Lukas Lehmkuhl
(Mitautor)


Martin Misfeld
(Mitautor)


Dr. P. Davierwala
Funktionsoperateur der Klinik für Herzchirurgie
Herzzentrum Leipzig-Universitätsklinik
Piroze M. Davierwala
(Mitautor)


UNIVERSITÄT LEIPZIG
HERZZENTRUM
Abteilung für Diagnostische und
Interventionelle Radiologie
Oberarzt Prof. Dr. med. Matthias Gutberlet

Matthias Gutberlet
(Mitautor)

Erklärung über die eigenständige Abfassung der Arbeit

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar eine Vergütung oder geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, und dass die vorgelegte Arbeit weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt wurde. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Die aktuellen gesetzlichen Vorgaben in Bezug auf die Zulassung der klinischen Studien, die Bestimmungen des Tierschutzgesetzes, die Bestimmungen des Gentechnikgesetzes und die allgemeinen Datenschutzbestimmungen wurden eingehalten. Ich versichere, dass ich die Regelungen der Satzung der Universität Leipzig zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis kenne und eingehalten habe.

.....

Datum

.....

Unterschrift

Lebenslauf

Name	Felix Georg Haag
Geburtsdatum	18. Januar 1984
Geburtsort	Nördlingen
Familienstand	Ledig

Schulbildung

1994 – 2003	Ostalbgymnasium Bopfingen: Abitur
-------------	-----------------------------------

Studium

2004 – 2005	Studium der Mineralogie und Kristallographie an der Universität zu Köln
2005	Physikstudium an der RWTH Aachen
2005 – 2006	Studium der Zahnmedizin an der Universität Leipzig
2006 – 2012	Studium der Humanmedizin an der Universität Leipzig: Staatsexamen und Approbation

Promotion

Prof. Dr. med. Friedrich Wilhelm Mohr
PD Dr. med. Sergey Leontyev – Herzzentrum Leipzig

Berufserfahrung

03/2013 – 10/2013	Allgemeine Chirurgie, Unfallchirurgie, Orthopädie <i>Dr. med. O. Lanzinger – Stiftungs Krankenhaus Nördlingen</i>
02/2014 – 02/2016	Innere Medizin – Gastroenterologie, Hämatologie und Onkologie, Nephrologie <i>Prof. Dr. med. S. Kahl – DRK Kliniken Berlin Köpenick</i>

05/2016 – 04/2017

Allgemeinmedizin, Pädiatrie

Dr. med. Christiane Boroske-Senger – MVZ für Familien

Klemens Senger – MVZ für Familien

05/2017 – 04/2018

Allgemeinmedizin

Gabriele Fahrbach – Praxis am Kreuzberg

Danksagung

Hiermit bedanke ich mich an erster Stelle bei Herrn Prof. Dr. med. Friedrich Wilhelm Mohr für die Bereitstellung des Themas sowie bei Herrn Prof. Dr. med. Michael Borger für die Idee und Initiierung der Arbeit. Sehr großer Dank gebührt der betreuenden Hand von PD Dr. med. Sergey Leontyev, der mir geduldig, kollegial und fachlich stets zur Seite stand. Herrn PD Dr. med. Lukas Lehmkuhl danke ich für die Unterstützung bei der Auswertung der CT-Bilder. Herrn Dr. rer. nat. Meinhard Mende wiederum danke ich für die Hilfe bei der statistischen Ausarbeitung. Bei Herrn Dr. Piroze Davierwala bedanke ich mich für seine kompetente Unterstützung und Herrn Prof. Dr. med. Martin Misfeld gebührt Dank für die Hilfe beim letzten Feinschliff der Arbeit.

Großer Dank gilt außerdem Félix Laignel, der mich als Freund und erfahrener Doktorand sowohl emotional als auch fachlich stets unterstützte. Auf ähnliche Weise profitierte ich vom reichen Erfahrungsschatz von Francisca Hoyer, die mir in Sachen Literaturrecherche, Zitierweisen, EndNote und als treue Bibliotheksbegleitung ebenfalls eine große Hilfe war. Dank gilt auch meinem Freund Sebastian Müller, mit dessen Hilfe die Schaubilder nie so gut gelungen wären. Obendrein danke ich Johann Gerhard für die unzähligen, gemeinsamen und dadurch kurzweiligen Stunden der Datenerhebung.

Mein ganz besonderer Dank gebührt meinen Eltern, die meinen vor allem zu Beginn des Studiums nicht ganz leichten Weg stets mit Ruhe, Besonnenheit und Liebe begleiteten. Auch meinen mittlerweile verstorbenen Großeltern gebührt Dank, weil auch sie mir in jeder Lebenslage das Gefühl gaben, ein besonderer Mensch zu sein. Insbesondere für meine Großmütter würde mit Verleihung des Dokortitels ein Wunschtraum in Erfüllung gehen – ihnen widme ich diese Arbeit.

Dank gilt neben meiner Familie auch meinen Freunden für die vertrauensvolle Begleitung auf meinem bisherigen Lebensweg. Der letzte Dank gilt meiner Verlobten Sarah Hiller, die mein Leben reicher macht. Durch ihre Liebe geht so vieles so einfach von der Hand – und ich bin glücklich.