

## 3.8 Was gibt es Neues in der Aortenbogenchirurgie?

E. WEIGANG, L.O. CONZELMANN und C.-F. VAHL

### 1 Einleitung

Operationen am Aortenbogen im tief hypothermen Kreislaufstillstand ohne selektive antegrade Hirnperfusion gingen früher mit einer hohen Morbidität und Letalität einher. Verbesserungen des perioperativen Managements und Einführungen neuer Operationsstrategien wie die antegrade selektive Hirnperfusion über die A. subclavia optimierten das postoperative Patienten-Outcome erheblich. Nach Veröffentlichung eines interdisziplinären Konsensus-Schreibens im vergangenen Jahr wird den Erkrankungen und der Therapie der thorakalen Aorta jetzt noch mehr Aufmerksamkeit geschenkt [38]. Seitdem wurden alternative, interventionelle Strategien auch für den Aortenbogen entwickelt, die versuchen, dem Anspruch der komplexen Situation im Aortenbogen gerecht zu werden.

### 2 Aortenbogenpathologien

Die Pathologie des Aortenbogens spielt eine entscheidende Rolle bei der operativen Strategieplanung. Pathologien des Aortenbogens umfassen atherosklerotische Aneurysmen, perforierende Aortenzulzera (PAU), obliterative akute Typ B Aortendissektionen mit distaler Aortenbogenbeteiligung, dilatative chronische Typ B Aortendissektionen mit distaler Aortenbogenbeteiligung, dilatative chronische Typ A Aortendissektionen nach Ersatz der Aorta ascendens mit Aortenbogenbeteiligung und traumatische Aortenrupturen. Die degenerative Gefäßerkrankung, bedingt durch die generalisierte Atherosklerose, ist die Hauptursache für die Entstehung von Aortenbogenaneurysmen. Weit seltener sind iatrogen bedingte Ur-

sachen z.B. nach Kathetereingriffen, genetische Erkrankungen wie z.B. das Marfan-Syndrom sowie infektiöse Erkrankungen [15].

Drei Gruppen können anhand ihrer Lokalisation und Extension unterschieden werden:

1. proximale Pathologien, die von der Aorta ascendens auf den Aortenbogen übergehen;
2. isolierte Aortenbogenpathologien und
3. distale Aortenbogenpathologien, die ihren Ursprung im Bereich des Aortenbogens haben und auf die Aorta descendens übergreifen.

### 3 Patientenselektion

Asymptomatische kleine Aortenbogenaneurysmen bis zu einem Durchmesser von 5 cm sollten primär konservativ behandelt werden. Bei Größenprogredienz, Symptomatik oder einem Durchmesser von mehr als 5 cm sollte eine chirurgische Behandlung erfolgen. Prinzipiell bestehen drei Möglichkeiten zur chirurgischen Versorgung:

- der offenen, chirurgische Aortenbogensersatz mittels Gefäßprothese [3, 47],
- das Hybridverfahren mit chirurgischer Revascularisation der supraaortalen Gefäße (Aortenbogen-„Debranching“ und -„Rerouting“) und anschließender endovaskulärer Versorgung des Aortenbogens mit nicht-gebranchter und nicht-fenestrierter Stentgraft-Prothese [6, 7, 46].
- oder die totale endovaskuläre Aortenbogenrekonstruktion mit gebranchten oder fenestrierten Prothesen [20].

Hierbei sollte für jeden Patienten eine individuelle Behandlungsstrategie erarbeitet werden, um ein

optimales postoperatives Ergebnis für den einzelnen Patienten zu erzielen. Um diese Strategie effizient durchführen zu können, sollten strenge Anforderungen an die Patientenselektion gestellt werden. Eine dezidierte Erhebung des klinischen Status sowie eine präzise kardiovaskuläre Abklärung sollten vor jedem größeren operativen Eingriff erfolgen. Die präoperative kardiovaskuläre Standardabklärung sollte eine Dopplersonografie und eine Computer-Tomographie oder eine Magnet-Resonanz-Tomographie der supraaortalen und intrakraniellen Gefäße beinhalten.

Im Falle einer hämodynamisch relevanten Stenose der extrakraniellen Gefäße sollte eine chirurgische oder interventionelle Versorgung vor dem Aortenbogen-Eingriff erfolgen. Bei hochgradigen Stenosen oder Verschlüssen von relevanten, intrakraniellen Gefäßen ohne Interventionsmöglichkeit, ist eine offene Chirurgie mit Aortenbogenersatz im Kreislaufstillstand und tiefer Hypothermie sowie selektiver antegrader Hirnperfusion die sicherste Behandlungsmethode.

## 4 Diagnostik

Die strategische, präoperative Planung eines Aortenbogeneingriffs, sei er offen chirurgisch oder endovaskulär, stellt eine hohe Anforderung an die moderne Bildgebung dar. Um Aortenbogenpathologien eindeutig zu verifizieren, ist die konventionelle Röntgen-Thorax-Aufnahme keine geeignete Methode. Der Goldstandard in der Aortenbogendiagnostik ist die kontrastmittelunterstützte Computertomographie (CT). Aber auch die Magnetresonanztomographie (MRT) hat in der bildgebenden Diagnostik des Aortenbogens zunehmende Bedeutung. Mit der MRT-Untersuchung kann auf Röntgenstrahlen und jodhaltiges Kontrastmittel, mit der Gefahr von Nierenschädigungen oder allergischen Reaktionen, zum Teil verzichtet werden. Mit der transösophagealen Echokardiographie ist die Aorta ascendens, nicht aber der komplette Aortenbogen, einsehbar und daher zur Beurteilung des Aortenbogens von untergeordneter Bedeutung.

Große Bedeutung für die endovaskuläre Operationsplanung hat ein halbautomatisches Bildnachverarbeitungsverfahren von CT-Angiografien, die sogenannte *Centerline-Analyse*, bekommen [43]. Der entscheidende Vorteil dieser Technik ist die Darstellung der geometrischen Mittelachse von Gefäßen. Darüber hinaus können Messungen von Querschnitt und Distanz entlang der Mittelachse eines Gefäßes durchgeführt werden. Die Centerline-Analyse ist ein Meilenstein in der präzisen Quantifizierung und präoperativen Strategieplanung von Aorten(bogen)läsionen. Mit diesem technischen Novum können differenzierte Aussagen über die Komplexität des Aortenbogens mit seiner Länge, Krümmung und Torsion gewonnen werden. Ein Hauptaugenmerk bei der Visualisierung von Aortenbogenpathologien liegt auf der exakten Definition der Landungszonen eines Stentgrafts. Zur Therapieplanung benötigt man quantitative (Größe, Länge, Durchmesser, Krümmungsgrad, Torsion) und qualitative (Thrombosierung, Verkalkung) Parameter der Verankerungszonen, sowie detaillierte Informationen über den Aortenbogen (Größe, Extension der Läsion), die supraaortalen Äste (Topografische Anatomie) und die Zugangsgefäße (Durchmesser, Pathologie) [43].

Eine weitere Entwicklung der Bildverarbeitung ist die *fluss-sensitive 4D Magnetresonanztomografie* (4D MRT). Diese Darstellung bietet die Möglichkeit einer detaillierten Analyse der 3D Strömungsverhältnisse durch eine Kombination von zeitaufgelöster, dreidimensionaler Bildgebung und gleichzeitiger Akquisition dreidirektionaler Blutflussgeschwindigkeiten [27, 44]. Die erhobenen MRT-Daten enthalten Informationen in den drei Raumrichtungen der Geschwindigkeit und der Dimension der Zeit. Flussbeschleunigung, Wirbelbildung, antegrader und retrograder sowie helikaler Fluss wie auch komplexe Blutflussmuster lassen sich dreidimensional visualisieren und interpretieren. Der Blutfluss kann in jedem Abschnitt der Aorta mithilfe dreier verschiedener Darstellungsmöglichkeiten abgebildet werden:

- zweidimensionale Vektorenfelder
- dreidimensionale Stromlinien und
- dreidimensionale Teilchenspuren.

Die fluss-sensitive 4D MRT ermöglicht eine detaillierte visuelle Interpretation von Blutflussmustern. Diese Methode erlaubt eine qualitative Charakterisierung von lokalen und globalen pathologisch bedingten Änderungen der Hämodynamik, die über die Möglichkeiten üblicher Verfahren hinausgeht [44].

## 5 Therapiestrategien am Aortenbogen

Heutzutage stehen bei Aortenbogenerkrankungen der konventionelle, offene Bogenersatz mittels Gefäßprothese, die komplette endovaskuläre Versorgung des Aortenbogens mit gebräuchteren oder fenestrierten Stentgraft-Prothesen und das Hybridverfahren, eine Kombination aus offenem „Aortenbogen-Debranching“ mit Revaskularisation der supraaortalen Gefäße und anschließender endovaskulärer Versorgung des Aortenbogens mit herkömmlichen Stentgraft-Prothesen zur Verfügung [6, 7, 31, 36, 46, 47].

### 5.1 Offene Chirurgie

Die offene Chirurgie des Aortenbogens ist ohne Einsatz der Herz-Lungen-Maschine und ohne Kreislaufstillstand in tiefer Hypothermie nicht möglich. Neben diesen Grundvoraussetzungen haben die Methode der arteriellen Kanülierung und Perfusion, die Neuroprotektion sowie die richtige Wahl und entsprechende Durchführung der operativen Maßnahme selbst, einen wesentlichen Einfluss auf das postoperative Outcome eines Patienten [47]. Zerebrale Schädigungen, Blutungskomplikationen, Aktivierung des Komplementsystems, Systemic Inflammatory Response Syndrome (SIRS), Infektionen, verlängerter Intensiv-, Krankenhaus- und Rehabilitationsaufenthalt sind hierbei potentielle Nachteile, die durch die Komplexität dieses Eingriffs entstehen können [15]. Die offene Chirurgie des Aortenbogens ist daher mit einer signifikanten Morbidität und Letalität insbesondere bei älteren Patienten hauptsächlich durch neurologische Komplikationen bedingt, behaftet [1, 13,

48]. Dabei ist die mediane, komplette Sternotomie der Standardzugang für den chirurgischen Eingriff am Aortenbogen. Nach Anschluss an die Herz-Lungen-Maschine erfolgt eine Abkühlung des Patienten, um dann den hypothermen Kreislaufstillstand zu etablieren.

#### 5.1.1 Neuroprotektion

Es gibt verschiedene neuroprotektive Verfahren, die beim offenen Aortenbogenersatz eingesetzt werden, um Schäden des zentralen Nervensystems nach Möglichkeit zu vermeiden [40]. Nach aktueller Studienlage sind die effektivsten neuroprotektiven Maßnahmen die Hypothermie und die antegrade Hirnperfusion [12, 22, 32, 33, 37].

#### 5.1.2 Hypothermie

Für das offene chirurgische Verfahren sind übersichtliche und blutfreie Verhältnisse im Aortenbogen essentiell. Um dies zu gewährleisten, macht man sich das Prinzip des Kreislaufstillstandes in tiefer Hypothermie zu Nutze. Hierbei wird eine Körperkerntemperatur von 20–24°C unter Verwendung einer selektiven antegraden Hirnperfusion zur Neuroprotektion gewählt. Studien konnten belegen, dass ein Kreislaufstillstand bei diesen Temperaturen den Patienten ausreichend vor schweren neurologischen Defiziten schützt [9, 23, 37].

#### 5.1.3 Perfusionsmethoden

Eine Vielzahl von arteriellen Perfusionstechniken ermöglicht unterschiedliche Ansätze zur Aufrechterhaltung des Kreislaufs und Protektion des zentralen Nervensystems. Die *retrograde Perfusion* nach Kanülierung der A. femoralis wird wegen ihrer Nachteile zugunsten der antegraden Perfusionstechniken zunehmend verlassen. Atherosklerotische Plaques, die aus der Aorta descendens sowie aus den Beckenarterien abgelöst werden, können durch die retrograde Perfusion zu zerebralen Embolien führen [39]. Die Inzidenz postoperativer neurologischer Defizite ist bei der antegraden Perfusion deutlich geringer als bei der retrograden Perfusion über die A. femoralis [39].

Die *selektive antegrade Hirnperfusion* erfolgt über eine Kanülierung der A. subclavia, des Truncus brachiocephalicus oder der A. carotis [8, 14, 18, 21, 32, 41]. Die bilaterale zerebrale Kanülierung und Perfusion beider Hirnhemisphären ist im Vergleich zur unilateralen Hirnperfusion für das Überleben der Patienten von Vorteil [33]. Bei der antegraden Hirnperfusion kann das Gehirn während der offenen Anastomose im Aortenbogen, im Gegensatz zur retrograden Perfusion, kontinuierlich perfundiert werden [32, 40]. Nach dem heutigen Kenntnisstand sollten offene chirurgische Eingriffe am Aortenbogen nach Kanülierung der A. subclavia, A. axillaris oder A. carotis mit antegrader selektiver Hirnperfusion im hypothermen Kreislaufstillstand bei Körperkerntemperaturen von 20–24°C durchgeführt werden [23]. Mit diesem Regime konnte die Letalität auf unter 10 % und das Schlaganfallrisiko auf unter 5 % gesenkt werden [21].

Der Vorteil der kontinuierlichen *antegraden Perfusion* über die A. subclavia oder A. axillaris liegt in der kürzeren Herz-Lungen-Maschinenzeit sowie einer verkürzten Operationszeit und im Verzicht einer extrem tiefen Hypothermie von 16–20°C [26, 30, 31]. Patienten, die über die A. axillaris oder A. subclavia kanüliert und perfundiert wurden, zeigten bei Nachuntersuchungen weniger postoperative neurologische Defizite als nach Kanülierung und Perfusion über die A. femoralis [39]. Die Kanülierung der A. carotis ist eine Alternative zur Kanülierung der A. axillaris und A. subclavia, wenn letztere durch Dissektionen, Stenosen oder schwerer Atherosklerose pathologisch verändert sind [41]. Die A. carotis kann operativ einfach ohne einen weiteren chirurgischen Zugang erreicht werden [42]. Das Risiko einer Luftembolie ist durch diese Methode minimiert, da eine komplette Unterbrechung der zerebralen Perfusion nicht notwendig ist [41, 42].

Die Methode der *True Lumen Cannulation* der Aorta ascendens ist eine Alternative zu den beschriebenen arteriellen Kanülierungsarten bei Notfallpatienten mit akuter Typ A Aortendissektion und Bogenbeteiligung [5, 17, 24]. Mit der *Direct True Lumen Cannulation* Technik wird zunächst der rechte Vorhof kanüliert und dann das venöse Blut in die Herz-Lungen-Maschine drainiert bis der systolische Blutdruck unter 30 mmHg fällt. Anschließend

wird die Aorta ascendens in Trendelenburg Position durchtrennt und eine arterielle Kanüle unter direkter Sicht in das wahre Lumen eingeführt. Mit einem Mersilene®-Band, das zuvor um die Aorta ascendens geschlungen wurde, wird jetzt die arterielle Kanüle angezügelt (Abb. 1). Ein zusätzlicher Gefäßzugang ist nicht notwendig. Mit dieser Kanülierungs- und Perfusionstechnik ist eine sofortige, antegrade Perfusion von Gehirn, abdominellen Organen und Extremitäten in der Notfallsituation gewährleistet. Des Weiteren wird eine Progression der Dissektion sowie eine zerebrale Embolisation durch abgeschwemmten Detritus durch diese Perfusionstechnik verhindert. Die ersten Ergebnisse bei Hochrisikopatienten mit akuter Typ A Aortendissektion sind mit dieser Kanülierungs- und Perfusionsmethode sehr vielversprechend [5, 17].

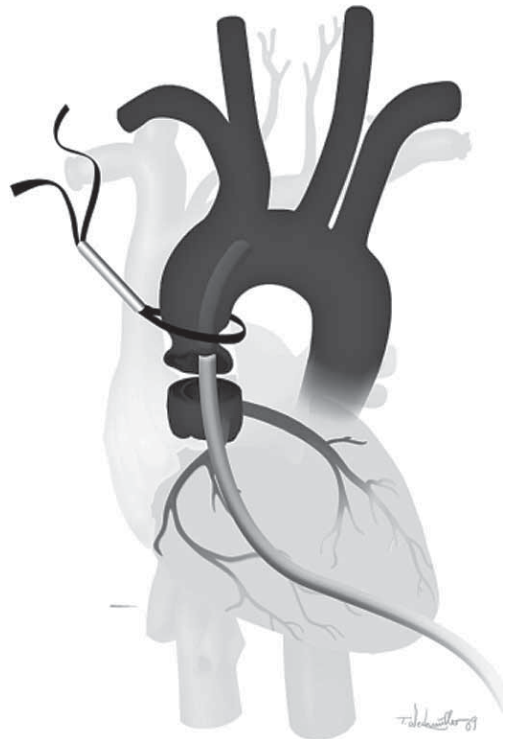


Abb. 1: Direct True Lumen Cannulation Technik.

### 5.1.4 Konventionelle, chirurgische Techniken

#### ... an Aorta ascendens und Aortenbogen

Die akute Typ A Aortendissektion erfordert einen konventionellen, offen chirurgischen Eingriff, um Dissektionsentrys in der Aorta ascendens und im Aortenbogen zu identifizieren und behandeln zu können. Wenn weitere Entrys im Aortenbogen ausgeschlossen sind, erfolgt die offene distale Anastomose im hypothermen Kreislaufstillstand zwischen der Gefäßprothese und dem proximalen Aortenbogen (proximaler Bogenersatz, Abb. 2a). Werden weitere Entrys im Aortenbogen nachgewiesen, muss ein partieller (Hemiarch, Abb. 2b) oder kompletter Bogenersatz (Abb. 2c) durchgeführt werden. Gelingt es beim proximalen Aortenbogenersatz, im Aortenbogen schräg zu anastomosieren, müssen die supraaortalen Gefäße nicht separat an die Gefäßprothese angeschlossen werden. Beim partiellen sowie kompletten Aortenbogenersatz wird ein ovales Stück aus der Konkavität der Gefäßprothese ausgeschnitten und in den so entstandenen Defekt die supraaortalen Gefäße gemeinsam als Insel reimplantiert. Können die supraaortalen Äste nicht gemeinsam als Insel in die Prothese reinseriert werden (z.B. wenn die

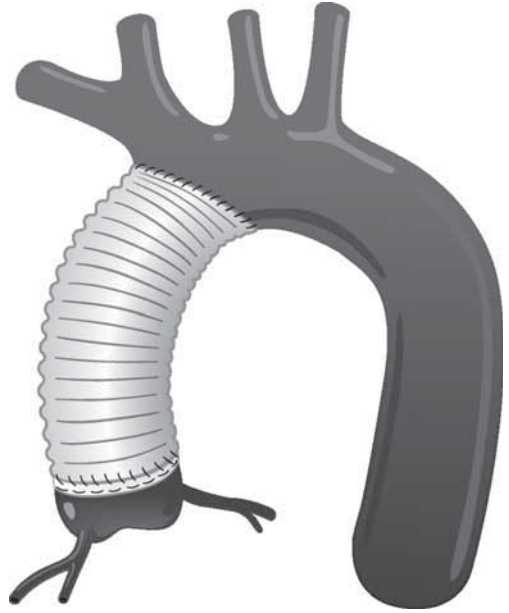


Abb. 2a: Proximaler Aortenbogenersatz.

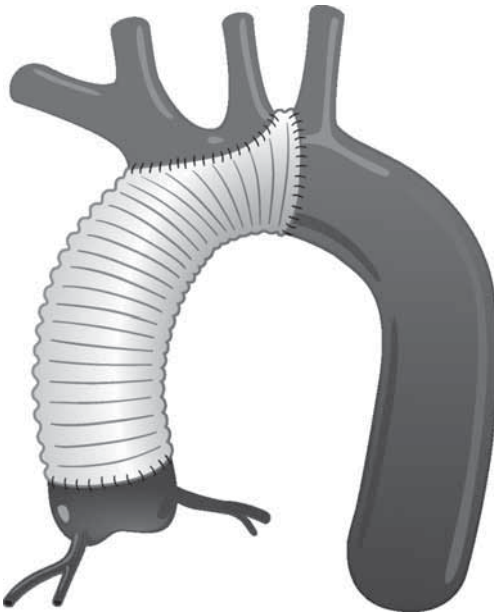


Abb. 2b: Partieller Aortenbogenersatz.

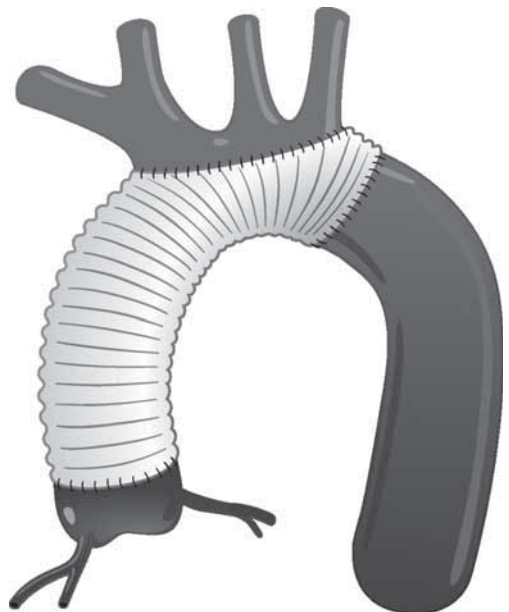


Abb. 2c: Totaler Aortenbogenersatz.