

Fortschritte in der Behandlung thorakaler Aortenaneurysmen

Wird die Frozen-elephant-trunk-Technik zum zukünftigen Behandlungsstandard für segmentübergreifende Aortenbogenaneurysmen?

Die chirurgische Therapie von kombinierten Pathologien der Aorta ascendens, des Aortenbogens sowie der Aorta descendens stellt auch heute noch eine anspruchsvolle Operation im kardiochirurgischen Bereich dar. Das proximale Drittel der Aorta descendens kann zwar grundsätzlich über die mediane Sternotomie erreicht werden, dennoch bergen Eingriffe an diesem Segment aufgrund des begrenzten operativen Zugangs ein erhöhtes operatives Risiko mit Blutungsgefahr. Aus diesem Grund bevorzugen viele Chirurgen einen zweizeitigen Eingriff, insbesondere wenn die Ausdehnung des Aneurysmas über das erste Drittel der Aorta descendens hinausgeht.

1983 wurde zur Therapie solcher komplexer Aortenaneurysmen von Borst et al. [6] das Verfahren der Elephant-trunk-Technik etabliert. Während der ersten Operation wird über eine mediane Sternotomie zunächst die Aorta ascendens sowie der Aortenbogen ersetzt. Im hypothermen Kreislaufstillstand wird dabei ein Gefäßprothesenüberstand in die Aorta descendens vorgeschoben. In einem Zweiteingriff über eine linkslaterale Thorakotomie wird die Aorta descendens teilweise oder vollständig ersetzt. Dabei kann der während des Ersteingriffes implantierte

Gefäßprothesenüberstand direkt aufgesucht und mit der neuen Prothese anastomosiert werden. Beide Eingriffe stellen jedoch hohe Anforderungen an den Chirurgen. Sie gehen mit einem durchaus substanziellen Risiko aufgrund der kumulativen Mortalität beider Eingriffe und der Sterblichkeit während der Wartezeit zwischen den Eingriffen einher [40].

Um das Gesamtrisiko zu reduzieren, bevorzugen es einige Chirurgen, den Eingriff in einem einzeitigen Verfahren über eine sog. „clamshell incision“ (quere Thorakotomie) [39] oder eine linkslaterale Thorakotomie [54] durchzuführen. Eine weitere Variante besteht in einer Kombination aus einer medianen Sternotomie und einer linkslateralen Thorakotomie [29]. Seit Dake et al. [12] 1998 die endovaskuläre Stent-Graft-Technologie für die Behandlung von thorakalen Aortenaneurysmen einführten, haben sich Mortalität und Morbidität der konventionellen Behandlungsalternative stetig reduziert. Die Versorgung des Aortenbogens mit einem endovaskulären Stentgraft ist allerdings aufgrund der Gefäßtopographie der supraaortalen Gefäße, ungeachtet kleinerer klinischer Kohorten mit „rerouting“ der supraaortalen Äste, bisher klinisch nicht fest etabliert.

Der nächste Schritt in der Behandlung des segmentübergreifenden thorakalen Aortenaneurysmas war die Einfüh-

rung der Frozen-elephant-trunk-Technik (Hybridprothese) [21]. Hierbei wird nach medianer Sternotomie ein Stentgraft antegrad durch den eröffneten Aortenbogen in die Aorta descendens platziert. Der anschließende Ersatz der Aorta ascendens und des Aortenbogens erfolgt konventionell. Die Kombination aus chirurgischen und interventionellen Verfahren erscheint erfolgversprechend.

In der vorliegenden Arbeit werden die Vorteile und Grenzen der derzeitigen Verfahren analysiert. Zu diesem Zweck wurde eine ausführliche Literaturrecherche in den Datenbanken „Pub-Med“ und „EMBASE“ vorgenommen. Herangezogen wurden Literaturquellen von 1970 bis 2008.

Die konventionelle Elephant-trunk-Technik

Das Grundprinzip des konventionellen Verfahrens besteht in der Einbringung eines Gefäßprothesenüberstandes in die Aorta. Dieses Gefäßprothesenende liegt damit distal der eigentlichen Anastomose auf Höhe des Abgangs der linken A. subclavia [6]. Nach Erholung des Patienten kann dann in einem zweiten Eingriff über eine linkslaterale Thorakotomie die Aorta descendens teilweise oder vollständig ersetzt werden. Dabei wird das zuvor implantierte Prothesenende gefasst,

Tab. 1 Die konventionelle Elephant-trunk-Technik

Autor	Jahr	Mortalität des Ersteingriffs	Patienten mit Folgeeingriff	Mortalität des Folgeeingriffs	Referenz
Safi et al.	2007	16/254 (6,3%)	115/254 (45,3%)	11/115 (9,6%)	[40]
Coselli et al.	2006	18/148 (12,2%)	76/148 (51,4%)	3/76 (3,9%)	[27]
Svensson et al.	2005	2/94 (2,1%)	47/94 (50%)	4/47 (8%) ^a	[46]
Hanafusa et al. ^b	2002	1/12 (8,3%)	0		[18]
Kuki et al.	2002	0/17 (0%)	9/17 (52,9%)	0/9 (0%)	[26]
Takahara et al.	2002	3/37 (8,1%)	0		[48]
Schepens et al.	2002	8/100 (8%)	44/100 (44%)	NA	[41]
Kirali et al. ^c	2002	9/28 (32,1%)	0		[23]
Naka et al.	1999	1/9 (11,1%)	6/9 (66,7%)	2/6 (33,3%)	[34]
Ando et al.	1998	2/15 (13,3%)	0		[1]
Heinemann et al.	1995	10/72 (13,9%)	24/72 (33,3%)	NA	[19]
Gesamt		70/786 (8,9%)	321/694 (46,3%)	20/268 (7,7%)	

^a Inklusive 7 Patienten mit Stenting; ^b 10 Patienten mit akuter Typ-A-Dissektion, zwei mit chronischer Typ-A-Dissektion; ^c alle Patienten mit akuter Typ-A-Dissektion.

Tab. 2 Operative Ergebnisse nach konventioneller Elephant-trunk-Technik mit anschließender endovaskulärer Ergänzung (two-stage procedure)

Autor	Jahr	Mortalität der endovaskulären Ergänzung	Paraplegierate der endovaskulären Ergänzung	Referenz
Brat et al.	2006	0/3 (0%)	0/3 (0%)	[7]
Greenberg et al.	2005	1/22 (4,5%)	0/22 (0%)	[17]
Matsuda et al.	2005	0/4 (0%)	0/4 (0%)	[30]
Carroccio et al.	2005	1/12 (8,3%)	0/12 (0%)	[9]
Gesamt		2/41 (4,9%)	0/41 (0%)	

geklemmt und anschließend mit der neuen Prothese anastomosiert. Auf diese Weise kann die risikoreiche Abklemmung des Aortenbogens selbst entfallen.

Nach der Erstveröffentlichung von Borst et al. [6] und der von Crawford 1990 [11] vorgestellten wegweisenden Publikation, wurde diese Methode zunehmend zur Behandlung komplexer Erkrankungen der Aorta eingesetzt [11, 23, 40]. Derzeit kommt dieses Verfahren beim Aneurysma und der chronischen Dissektion Typ Stanford A zum Einsatz; seltener auch bei einer akuten Dissektion [23]. Thorakoabdominelle Aortenaneurysmen stellen ein weiteres Einsatzgebiet dieses Verfahrens dar [11, 40, 41]. Zwischenzeitlich wurde über einige Modifikationen der Originaltechnik berichtet. Coselli u. Oberwalder [10] stellten die „umgekehrte“ Elephant-trunk-Technik vor, während Carrel et al. [8] eine bidirektionale Variante für den Ersatz der Aorta descendens vorschlugen. Die Folgeeingriffe für den Ersatz des Aortenbogens und der thorakoabdominellen Aorta konnten hierdurch erleichtert werden.

Zur Reduktion des Risikos einer Nahtdehiszenz der Anastomose distal der linken A. subclavia sowie zur Vorbeugung der Hämostase wurden weitere Modifikationen beschrieben, zu denen unter anderem die Verlagerung der Anastomose zu einem weiter proximal gelegenen Aortensegment gehört. So schlugen beispielsweise Svensson et al. [45] eine Versetzung der Anastomose in den Aortenbogen zwischen der linken A. carotis communis und der linken A. subclavia vor. Eine andere und etwas radikalere Herangehensweise haben Kuki et al. [26] beschrieben. Sie berichten von insgesamt 17 Patienten, bei denen die Anastomose an der Basis des Truncus brachiocephalicus angelegt wurde. Während die Länge des „elephant trunk“ vom Ausmaß der distalen Aortendilatation abhängt und nach Borst et al. höchstens 7–8 cm betragen sollte, sieht die von Kuki et al. beschriebene Modifikation eine Länge von ca. 15 cm vor. Die beschriebene Methode könnte ein potenzielles Risiko bergen, denn ein langer „elephant trunk“ kann Komplikationen aufgrund von „kinking“ und Prothesenver-

schluss verursachen. Crawford et al. [11] beschreiben zudem ein erhöhtes Risiko für periphere Embolien nach Implantation eines „elephant trunk“ und weisen auf ein ebenfalls erhöhtes Paraplegierisiko aufgrund von Gerinnselbildung um den Graft herum hin. Das zusätzliche Risiko der konventionellen Variante liegt in der Zweizeitigkeit des Eingriffs begründet: Das Rupturrisiko innerhalb des Zeitintervalls zwischen den Eingriffen sowie das kumulierende Operationsrisiko bei der Interventionen stehen dabei im Vordergrund.

Wesentliche Veröffentlichungen zur konventionellen Elephant-trunk-Technik sind in **Tab. 1** zusammengefasst. Die Frühsterblichkeit nach dem Primäreingriff liegt bei 8,9% und bei 7,7% nach der Folgeoperation. Safi et al. [40] sprachen sogar von einer „Intervallmortalität“ von 16% (7/45 Patienten). Diese Tatsache zeigt sehr deutlich die Grenzen eines mehrzeitigen Eingriffes auf.

Die Primäroperation der Elephant-trunk-Technik mit sekundärer transfemorale Stentgraftimplantation

Die Idee eine Elephant-trunk-Prothese im Sinne eines endovaskulären Stentgraftes zu verwenden und diese antegrad in die Aorta descendens einzuführen, stammt von Buffolo et al. [37]. Diese Technik wurde von ihm bei Patienten mit Aortendissektion Typ B eingesetzt. Bereits kurz nach Einführung transfemorale implantierbarer Endografts stellte sich heraus, dass sich die Implantate auch zur sicheren Verankerung in einer vorher implantierten Elephant-trunk-Prothese eignen [12]. **Tab. 2** fasst die entsprechenden Publikationen zusammen.

Trotz der insgesamt geringen Fallzahlen erscheinen die Ergebnisse dennoch vielversprechend und das Risiko einer postoperativen Paraplegie gering. Sollten die anatomischen Voraussetzungen für ein endovaskuläres Vorgehen gegeben sein (d. h., wenn die distale Verankerung sicher gewährleistet werden kann), kann eine solche endovaskuläre Ergänzung eine sinnvolle und risikoarme Alternative zum konventionellen Folgeeingriff darstellen.

Tab. 3 Einzeitiger segmentübergreifender Aortenersatz

Autor	Jahr	Mortalität	Referenz
Kouchoukos et al. ^a	2007	5/69 (7,2%)	[25]
Hu et al. ^b	2006	0/13 (0%)	[20]
Doss et al. ^a	2003	1/15 (6,6%)	[14]
Beaver et al. ^c	2001	2/14 (14,3%)	[4]
Massimo et al. ^b	1997	5/34 (14,7%)	[29]
Westaby et al. ^d	1997	1/18 (5,6%)	[54]
Minale et al. ^a	1994	2/16 (12,5%)	[32]
Gesamt		16/179 (8,9%)	

^a Clamshell-Verfahren, ^b Mediane Sternotomie und Thorakoabdominelle Inzision, ^c Mediane Sternotomie,

^d Laterale Thorakotomie.

Tab. 4 Frozen-elephant-trunk-Technik (Hybridverfahren)

Autor	Jahr	Mortalität	Paraplegierate	Referenz
Di Bartolomeo et al.	2008	1/24 (4,2%)	1/24 (4,2%)	[13]
Baraki et al. [*]	2007	5/39 (12,8%)	0/39 (0%)	[3]
Liu et al.	2006	2/60 (3,3%)	1/60 (1,6%)	[28]
Uchida et al.	2006	2/35 (5,7%)	0/35 (0%)	[49]
Flores et al.	2006	3/25 (12%)	4/25 (16%)	[16]
Usui et al.	2002	0/24 (0%)	1/24 (4,2%)	[52]
Mizuno et al.	2002	1/9 (11,1%)	0/0 (0%)	[33]
Fleck et al.	2002	1/8 (12,5%)	0/0 (0%)	[15]
Orihashi et al.	2001	1/15 (6,7%)	1/15 (6,7%)	[36]
Gesamt		15/239 (6,7%)	8/239 (3,3%)	

Der einzeitige komplexe Aortenersatz

Zur Durchführung eines segmentübergreifenden thorakalen Aortenersatzes in einem einzeitigen Eingriff, stehen als operative Zugangswege (1) die mediane Sternotomie [24], (2) die mediane Sternotomie mit zusätzlicher lateraler Thorakotomie [29], (3) die laterale Thorakotomie [54] und (4) die bilaterale anteriore Thorakotomie (Clamshell-Inzision) [14, 20], zur Verfügung.

Trotz der akzeptablen Ergebnisse der beschriebenen Varianten findet ihre Anwendung nur in geringem Maße statt. Die Gründe hierfür dürften besonders in der Komplexität und der Invasivität der Eingriffe liegen. Die Gesamtmortalität des einzeitigen Eingriffes liegt bei 8,9% (■ Tab. 3). Die verfügbaren Datensätze unterstreichen den hohen Komplexitätsgrad des einzeitigen Vorgehens.

Die Frozen-elephant-trunk-Technik (Hybridprothese)

Als eine weitere Möglichkeit, segmentübergreifende thorakale Aortenaneurys-

men einzeitig über eine mediane Sternotomie zu versorgen, hat sich die Frozen-elephant-trunk-Technik entwickelt. Hierbei wird das Konzept der konventionellen Elephant-trunk-Technik mit der Endografttechnologie in der Behandlung der Aneurysmen der Aorta descendens kombiniert. Dieses Verfahren wurde bereits Ende der 1990er Jahre als „offene Stentgrafttechnik“ vorgestellt [44, 50]. Mit Verfeinerung der Technik wurde der Terminus „frozen elephant trunk-technique“ oder Hybridverfahren eingeführt. Dieser Eingriff wird unter Einsatz der Herz-Lungen-Maschine bei moderat hypothermem Kreislaufstillstand und unter Verwendung antegrader Hirnperfusion durchgeführt. Hierzu wurde eine neuartige Hybridgefäßprothese mit Stentanteil entwickelt. Während der proximale Anteil der Prothese aus konventionellem Dacron besteht, ist sein distaler Anteil ein expandierbarer Endograft. Der gestentete Abschnitt ist mit einem Nitinolgeflecht durchwirkt. Die Prothese kann dabei individuell nach entsprechender präoperativer Diagnostik mittels Computertomographie angefertigt werden. Der gestentete Abschnitt der Hybridprothese wird dabei zunächst über

ein Einführungsbesteck in die aneurysmatische oder dissezierte Aorta descendens vorgeschoben. Die Freisetzung und Expansion des Stents erfolgt unter Bildwandlerkontrolle. Proximal wird die am Stent fixierte Prothese distal der linken A. subclavia zirkumferenziell in die Aorta descendens eingenäht [21]. Anschließend kann der Aortenbogen und ggf. auch die Aorta ascendens in konventioneller Weise durch den ungestenteten Prothesenteil ersetzt werden.

Während bei der konventionellen Elephant-trunk-Technik der Rüssel der Bogenprothese frei in der Aorta descendens flottiert und damit in der Regel die Thrombusbildung zwischen dem Graft und der aneurysmatischen Gefäßwand verhindert, führt die Implantation der Hybridprothese meist zur Thrombosierung des Perigrafttraumes. Suto et al. [44] beschrieben initial einen Patienten mit einem Aneurysma des distalen Aortenbogens und der Aorta descendens, das über eine mediane Sternotomie bei Kreislaufstillstand mittels antegrader Implantation eines Gianturco-Stents in Kombination mit einer konventionellen Gefäßprothese versorgt wurde. 1999 beschrieben Usui et al. [50] (basierend auf Buffolos früheren Erfahrungen mit dem Einsatz von nicht gestenteten Elephant-trunk-Prothesen bei akuter Typ-B-Dissektion [38] und den Beschreibungen von Kato et al. [22], die einen endovaskulären Stentgraft über eine mediane Sternotomie einbrachten) 12 Patienten mit distalem Aortenbogenaneurysma, bei denen unter Zuhilfenahme eines Pigtail-Katheters ein ummantelter Endograft implantiert wurde.

In der Folge wurde diese Technik vermehrt und mit immer besseren Ergebnissen eingesetzt.

Übersicht über die Erfahrungen mit der Frozen-elephant-trunk-Technik

Es sind 9 Studien über die Frozen-elephant-trunk-Technik bei „PubMed“ und „EMBASE“ zu finden (■ Tab. 4). Die durchschnittliche Mortalität liegt in diesen Studien bei 6,7% und ist damit vergleichbar mit der Mortalität von 8,9% in der Primäroperation der konventionellen Elephant-trunk-Technik. Die Wahr-

scheinlichkeit für das Auftreten einer Paraplegie nach dem Hybridverfahren liegt bei 3,3 %, wobei Flores et al. in ihrer Untersuchung von einer deutlich höheren postoperativen Paraplegierate berichten [16]. Hier werden 6 Fälle (24%) von Rückenmarkschädigungen mit Paraparese oder eine Monoparese der unteren Extremitäten beschrieben. Als Risikofaktor wurde die Höhe der distalen Verankerung der Hybridprothese identifiziert (Th $8 \pm 0,6$ vs. Th $6,5 \pm 1,1$). Im eigenen Patientengut sahen wir dagegen keine Paraplegie [3]. Dies liegt wahrscheinlich daran, dass die Indikation für die Implantation der Hybridprothese ausschließlich für Patienten mit einem Aortenaneurysma in der proximalen Hälfte der Aorta descendens gestellt wurde. Darüber hinaus wurde der Stentgraft an die individuelle Pathologie der Patienten angepasst.

Die Ergebnisse von Flores et al. aber auch theoretische Gründe lassen das Hybridverfahren bei Patienten, bei denen die unteren Extremitäten oder die Viszeralorgane über das falsche Lumen versorgt werden, nicht als ratsam erscheinen. Dies gilt auch in Fällen einer chronischen Aortendissektion mit einer ausgeprägten Thrombosierung des falschen Lumens.

In unseren Untersuchungen kam es in 2 Fällen zur Bildung von Endoleaks [3]. Eine Patientin mit chronischer Aortendissektion entwickelte ein kleines Endoleak in das falsche Lumen am Ursprung der linken A. subclavia. Eine Reintervention wurde jedoch patientenseits abgelehnt. Bei einem weiteren Patienten mit chronischer Typ-A-Aortendissektion konnte das „gestentete“ Segment nicht ohne Leckage an eine vorher implantierte thorakoabdominelle Aortenprothese angeschlossen werden. Das aufgetretene distale Endoleak wurde Wochen später mittels einer transfemorale Endograftimplantation erfolgreich behandelt.

Hybridprothesen sind für die Implantation als „frozen elephant trunk“ mittlerweile kommerziell verfügbar. Obwohl wir bei unserer Literatursuche keine nachteiligen Berichte über selbstgefertigte Prothesen finden konnten, empfiehlt sich diesbezüglich dieselbe Zurückhaltung wie bei jedem anderen selbstgefertigten medizinischen Implantat auch.

Gefäßchirurgie 2009 · 14:183–190 DOI 10.1007/s00772-009-0695-z
© Springer Medizin Verlag 2009

H. Naser · M. Karck

Fortschritte in der Behandlung thorakaler Aortenaneurysmen. Wird die Frozen-elephant-trunk-Technik zum zukünftigen Behandlungsstandard für segmentübergreifende Aortenbogenaneurysmen?

Zusammenfassung

Die chirurgische Therapie kombinierter Pathologien der Aorta ascendens, des Aortenbogens sowie der Aorta descendens stellt auch heute noch hohe Ansprüche an den Operateur. 1983 wurde zur Therapie solcher komplexer Aortenaneurysmen von Borst et al. das Verfahren der Elephant-trunk-Technik etabliert und hat seitdem als anerkanntes Standardverfahren die chirurgische Behandlung dieser Pathologien erleichtert. Als Erweiterung dieses Verfahrens wurde vor einigen Jahren die Frozen-elephant-trunk-Technik (Hybridverfahren) eingeführt. Sie erlaubt die einzeitige definitive Versorgung von segmentübergreifenden Aneurysmen der Aorta ascendens, des Aortenbogens und der Aorta descendens über eine mediane Sternotomie unter Verwendung einer neuartigen Gefäßprothese mit Stentanteil, der antegrad in die Aorta descendens eingebracht wird. Anschließend wird der Aortenbogen und ggf.

auch die Aorta ascendens in konventioneller Weise ersetzt. Das neue Verfahren kann mit einem Risiko verwendet werden, das demjenigen der konventionellen Elephant-trunk-Technik vergleichbar ist. Sein wesentlicher Vorteil liegt darin, dass es sich hierbei um einen einzeitigen Eingriff handelt und damit ein mit der konventionellen Variante erforderlicher Zweiteingriff entfallen kann. Obwohl sich die chirurgische Strategie an der individuellen Pathologie des Patienten orientiert, könnte die Frozen-elephant-trunk-Technik das bisherige konventionelle Verfahren als Behandlungsstandard für ausgedehnte Aortenaneurysmen ersetzen.

Schlüsselwörter

Segmentübergreifendes Aortenaneurysma · Frozen-elephant-trunk-Technik · Behandlungsstandard

Advances in treatment of extensive aortic aneurysms. Is the frozen elephant trunk technique the future standard for combined pathologies of the aorta and aortic arch?

Abstract

Surgical treatment of combined pathologies of the ascending aorta, aortic arch and the descending aorta still makes great demands on the surgeon. In 1983 Borst et al. established the elephant trunk procedure for treatment of such complex aortic aneurysms, which subsequently became the recognized standard procedure and has simplified the surgical treatment of these pathologies. The frozen elephant trunk technique (hybrid procedure) was recently introduced as an extension of this procedure. This procedure permits the single-stage definitive treatment of intersegmental aneurysms extending over the ascending aorta, the aortic arch and the descending aorta via transmediastinal sternotomy using a new type of prosthetic bypass graft with stent portion, which is inserted antegrade in the descending aorta. The aor-

tic arch and, if necessary, the ascending aorta are subsequently replaced in the conventional manner. The new procedure can be implemented with a risk probability which is comparable to that of the elephant trunk technique. The main advantage is that this is a single-stage approach and the second stage which is necessary by the conventional approach can be omitted. Although the surgical strategy is oriented to the individual pathology of each patient, the frozen elephant trunk technique could replace the previous conventional procedure as the treatment standard for extensive aortic aneurysms.

Keywords

Intersegmental aortic aneurysm · Frozen elephant trunk technique · Treatment standard

Tab. 5 Bypass der supraaortalen Gefäße und endovaskuläres Stenting des Aortenbogens

Autor	Jahr	Mortalität	Referenz
Wang et al.	2008	1/20 (5%)	[53]
Szeto et al.	2007	1/8 (12,5%)	[47]
Antona et al.	2007	0/4 (0%)	[2]
Melissano et al.	2007	2/14 (14,3%)	[31]
Shah et al.	2006	0/5 (0%)	[43]
Bergeron et al.	2006	2/15 (13,3%)	[5]
Schumacher et al.	2003	1/8 (12,5%)	[42]
Gesamt		7/74 (9,5%)	

Trotz der höheren Kosten des Hybridverfahrens im Vergleich zum konventionellen Verfahren glauben wir, dass das neue Verfahren die chirurgischen Ergebnisse der Behandlung komplexer thorakaler Aortenaneurysmen verbessern kann. Verglichen zur konventionellen zweizeitigen Prozedur kann es sogar darüber hinaus Kosten senken.

Praktische Hinweise

Unter praktischen Gesichtspunkten sind aus persönlicher Sicht die folgenden 7 Aspekte bei der Implantation einer Hybridprothese von Bedeutung:

- Die vorsichtige Mobilisation an der dorsalen Zirkumferenz des Aortenbogens vor oder kurz nach dem Einsetzen des Kreislaufstillstandes erlaubt es, den Verlauf des N. laryngeus recurrens zu identifizieren und diesen zu schonen.
- Die stabile Positionierung der Spitzen der Perfusionskanülen für die selektive antegrade Hirnperfusion in den Ostien des Truncus brachiocephalicus und der linken A. carotis communis verhindert Zeitverzögerungen aufgrund einer Dislokation während der Operation.
- Die Okklusion der A. subclavia sinistra durch einen Ballonkatheter oder eine Klemme verhindert den störenden Blutrückfluss aus diesem Gefäß während der Anastomosenanlage zwischen dem Hybridendograft und der proximalen Aorta descendens.
- Eine suffiziente Mobilisation der proximalen Aorta descendens erleichtert die sichere Freisetzung der Hybridprothese und die anschließende Prothesennaht. Bei Patienten mit Aortendissektion ist es wichtig, die Adven-

titia des falschen Lumens soweit zu mobilisieren, dass die anschließende Adaptation der drei „Schichten“ Adventitia, Dissektionsmembran und Hybridprothese spannungsfrei erfolgen kann.

- Der Durchmesser des Hybridgrafts sollte auf den Durchmesser der Aorta distal der A. subclavia sinistra präzise angepasst sein. Im Falle einer Dissektion entspricht dies dem Durchmesser des wahren Lumens und nicht dem der gesamten dissezierten Aorta. Durch die Verwendung eines überdimensionierten Grafts können gefährliche Risse in der Aortenwand distal der eigentlichen Nahtstelle entstehen, die später nur schwer zu verschließen sind.
- Es ist wesentlich einfacher, die Hybridprothese in die Aorta descendens so einzubringen, dass der „nichtgestentete“ Anteil der Prothese in das „gestentete“ Segment invaginiert ist. So kann die Anastomosennaht wesentlich problemloser am Invaginationsrand genäht werden.
- Die Anastomosennahte für die Fixierung des Grafts mit der distal der linken A. subclavia befindlichen Aorta descendens und diejenigen für die Reimplantation der supraaortalen Gefäße müssen von vornherein vollständig blut trocken sein. Es ist ratsam, die Nahtreihen mit einem Teflonfilzstreifen zu verstärken. Das zusätzliche Abdichten mit biologischen Klebern sollte in Betracht gezogen werden.

Bypass der supraaortalen Gefäße und endovaskuläres Stenting des Aortenbogens

In der jüngeren Vergangenheit sind einige Publikationen über eine Methode erschie-

nen, die die Implantation eines extraanatomischen Bypasses an die supraaortalen Gefäße mit der Implantation eines Endografts in den Aortenbogen kombinieren. Die entsprechenden Ergebnisse sind in **Tab. 5** zusammengefasst. Diese neue Methode könnte die operative Mortalität und insbesondere die neurologische Morbidität reduzieren. Die Gesamtmortalität beträgt derzeit noch 9,5%, was allerdings nicht geringer ist als diejenige nach Elephant-trunk-Technik oder nach Implantation einer Hybridprothese. Darüber hinaus können die Aortenwurzel und die Aorta ascendens mit dieser Technik nicht behandelt werden. Dennoch könnte die neue Methode nach weiterer technischer Verfeinerung zu einer tragfähigen Alternative zur Frozen-elephant-trunk-Technik werden. Derzeit sollte die Indikation zu diesem Verfahren jedoch noch auf anderweitig nichtoperable Patienten beschränkt bleiben.

Fazit für die Praxis

In diesem Artikel wurden einige Methoden zur Behandlung des ausgedehnten Aortenaneurysmas vorgestellt. Im Vergleich zur konventionellen Elephant-trunk-Methode scheint das Hybridverfahren aus folgenden Gründen empfehlenswert:

- Die operative Mortalität ist bei beiden Methoden etwa gleich.
- Das Hybridverfahren erlaubt eine einzeitige Operation von Aneurysmen, die die erste Hälfte der Aorta descendens einschließen.
- Das distale Ende der Hybridprothese bietet eine sichere Landungszone für zusätzliche endovaskuläre Eingriffe.
- Eine konventionelle Folgeoperation ist möglich, z. B. bei Entwicklung eines thorakoabdominellen Aneurysmas.

Andere einzeitige Verfahren mit unterschiedlichen Zugangswegen können ebenfalls eine Alternative zum Hybridverfahren darstellen. Dennoch scheint die Frozen-elephant-trunk-Technik Vorteile zu bieten, da sie die mediane Sternotomie als Zugangsweg nutzt, und damit einen gleichzeitigen Eingriff am Herzen erlaubt. Das Kombinationsverfahren

aus „Rerouting“ mit anschließender Endograftimplantation hat zurzeit noch eine höhere Mortalität als ursprünglich angenommen und sollte daher nur bei hochselektionierten Patienten zum Einsatz kommen.

Das Vorgehen bei einer akuten Typ-A-Aortendissektion verdient eine separate Betrachtung. Wenn hier das falsche Lumen innerhalb der ersten Hälfte der Aorta descendens endet, kann mit der Frozen-elephant-trunk-Technik ein perfektes Ergebnis mit Ausschluss des falschen Lumens erzielt werden. Die Frozen-elephant-trunk-Technik erlaubt eine einzeitige Versorgung segmentübergreifender thorakaler Aortenaneurysmen mit einer ähnlichen operativen Mortalität wie die konventionelle Elephant-trunk-Technik. Obwohl die chirurgische Strategie spezifisch an die individuelle Pathologie jedes Patienten angepasst werden sollte, könnte dieses Verfahren die konventionelle Elephant-trunk-Technik als Standardmethode in der Behandlung dieser komplexen Aortenpathologien ablösen.

Korrespondenzadresse

Dr. H. Naser

Klinik für Herzchirurgie,
Universitätsklinikum Heidelberg
Im Neuenheimer Feld 110, 69120 Heidelberg
helalnaser@googlemail.com

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- Ando M, Okita Y, Morota T et al (1998) Elephant trunk procedure for surgical treatment of aortic dissection. *Ann Thorac Surg* 66:82–87
- Antona C, Vanelli P, Petulla M et al (2007) Hybrid technique for total arch repair: Aortic neck reshaping for endovascular-graft fixation. *Ann Thorac Surg* 83(3):1158–1161
- Baraki H, Hagl C, Khaladj N et al (2007) The frozen elephant trunk technique for treatment of thoracic aortic aneurysms. *Ann Thorac Surg* 83:5819–5823; discussion 5824–5831
- Beaver TM, Martin TD (2001) Single-stage transmediastinal replacement of the ascending, arch, and descending thoracic aorta. *Ann Thorac Surg* 72:1232–1238
- Bergeron P, Mangialardi N, Costa P et al (2006) Great vessel management for endovascular exclusion of aortic arch aneurysms and dissections. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 32(1):38–45
- Borst H, Schaps D (1983) Extensive aortic replacement using „elephant trunk“ prosthesis. *Thorac Cardiovasc Surg* 31:37–40
- Brat R, Jursa R (2006) Combined surgical and endovascular treatment of extensive thoracic aortic aneurysm. *J Cardiovasc Surg (Torino)* 47:187–190
- Carrel T, Berdat P, Kipfer B et al (2001) The reversed and bidirectional elephant trunk technique in the treatment of complex aortic aneurysms. *J Thorac Cardiovasc Surg* 122:587–591
- Carroccio A, Spielvogel D, Ellozy SH et al (2005) Aortic arch and descending thoracic aortic aneurysms: Experience with stent grafting for second-stage „elephant trunk“ repair. *Vascular* 13:5–10
- Coselli JS, Oberwalder P (1998) Successful repair of mega aorta using reversed elephant trunk procedure. *J Vasc Surg* 27:183–188
- Crawford ES, Coselli JS, Svensson LG et al (1990) Diffuse aneurysmal disease (chronic aortic dissection, Marfan, and mega aorta syndromes) and multiple aneurysm. Treatment by subtotal and total aortic replacement emphasizing the elephant trunk operation. *Ann Surg* 211:521–537
- Dake MD, Miller DC, Mitchell RS et al (1998) The „first generation“ of endovascular stent-grafts for patients with aneurysms of the descending thoracic aorta. *J Thorac Cardiovasc Surg* 116:689–703 Discussion 703–684
- Di Bartolomeo R, Pacini D, Armaro A et al (2008) Complex repair of the thoracic aorta with the E-vita open prosthesis. *J Cardiovasc Surg (Torino)* 49:825–828
- Doss M, Woehleke T, Wood JP et al (2003) The clamshell approach for the treatment of extensive thoracic aortic disease. *J Thorac Cardiovasc Surg* 126:814–817
- Fleck T, Czerny M, Ehrlich MP et al (2002) Combined surgical and endovascular treatment of acute aortic dissection type A: Preliminary results. *Ann Thorac Surg* 74:761–765
- Flores J, Kunihara T, Shiyu N et al (2006) Extensive deployment of the stented elephant trunk is associated with an increased risk of spinal cord injury. *J Thorac Cardiovasc Surg* 131:336–342
- Greenberg R, Svensson L, O'Neill S et al (2005) Hybrid approaches to thoracic aortic aneurysms: The role of endovascular elephant trunk completion. *Circulation* 112
- Hanafusa Y, Ogino H, Sasaki H et al (2002) Total arch replacement with elephant trunk procedure for retrograde dissection. *Ann Thorac Surg* 74:51836–51839; discussion 51857–51863
- Heinemann MK, Buehner B, Jurmann MJ, Borst HG (1995) Use of the „elephant trunk technique“ in aortic surgery. *Ann Thorac Surg* 60(1):2–6
- Hu X, Zhu JM, Yu CT et al (2006) One-stage total or subtotal aortic replacement. *Ann Thorac Surg* 82:542–546
- Karck M, Chavan A, Hagl C et al (2003) The frozen elephant trunk technique: A new treatment for thoracic aortic aneurysms. *J Thorac Cardiovasc Surg* 125:1550–1553
- Kato M, Ohnishi K, Kaneko M et al (1996) New graft-implanting method for thoracic aortic aneurysm or dissection with a stented graft. *Circulation* 94:1188–1193
- Kirali K, Omeroglu SN, Ardal H et al (2002) Long-term comparison of aortic arch replacement with or without elephant trunk procedure via retrograde cerebral perfusion for aortic arch dissection. *Cardiovasc Surg* 10:38–44
- Kouchoukos N, Rokkas CK, Murphy SF (2001) Single-stage reoperative repair of chronic type A aortic dissection by means of the arch-first technique. *J Thorac Cardiovasc Surg* 122:578–582
- Kouchoukos NT, Mauney MC, Masetti P, Castner CF (2007) Optimization of aortic arch replacement with a one-stage approach. *Ann Thorac Surg* 83:5811–5814; discussion 5824–5831
- Kuki S, Taniguchi K, Masai T et al (2002) An alternative approach using long elephant trunk for extensive aortic aneurysm: Elephant trunk anastomosis at the base of the innominate artery. *Circulation* 106:1253–1258
- LeMaire S, Coselli JS (2006) The elephant trunk technique for staged repair of complex aneurysms of the entire thoracic aorta. *Ann Thorac Surg* 81:1561–1569
- Liu Z, Chang Q, Zhu JM et al (2006) Should the „elephant trunk“ be skeletonized? Total arch replacement combined with stented elephant trunk implantation for Stanford type A aortic dissection. *J Thorac Cardiovasc Surg* 131:107–113
- Massimo C, Cruz Quadron EA, Artounian RV (1997) Extended and total simultaneous aortic replacement: Latest technical modifications and improved results with thirty-four patients. *J Card Surg* 12:261–269
- Matsuda H, Sugimoto K, Okita Y (2005) Secondary elephant trunk fixation with endovascular stent grafting for extensive/multiple thoracic aortic aneurysm. *Eur J Cardiothorac Surg* 28:335–336
- Melissano G, Civitini E, Bertoglio L et al (2007) Results of endografting of the aortic arch in different landing zones. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 33(5):561–566
- Minale C, Wendt G, Messmer BJ (1994) One-stage intrathoracic repair of extended aortic aneurysms. *J Card Surg* 9:604–613
- Mizuno T, Tabuchi N, Wu H, Sunamori M (2002) Stented elephant trunk procedure combined with ascending aorta and arch replacement for acute type A aortic dissection. *Eur J Cardiothorac Surg* 22:504–509
- Naka Y, Ohtake S, Sawa Y et al (1999) Analysis of the elephant trunk method in patients with extensive thoracic aortic aneurysm. *Jpn J Thorac Cardiovasc Surg* 47:607–610
- Ogino H, Sugita T, Matsuyama K et al (2001) Aortic arch repairs through three different approaches. *Eur J Cardiothorac Surg* 19:25–29
- Orihashi K, Watari M, Okada K et al (2001) Endovascular stent-grafting via the aortic arch for distal aortic arch aneurysm: An alternative to endovascular stent-grafting. *Eur J Cardiothorac Surg* 20:973–978
- Palma J, Carvalho AC, Andrade JC, Buffolo E (1997) Surgical treatment of acute type B aortic dissection using an endoprosthesis (elephant trunk). *Ann Thorac Surg* 63:1081–1084
- Palma J, Buffolo E, Almeida DR et al (1998) Endoscopic placement of stents in aneurysms of the descending thoracic aorta. *Ann Thorac Surg* 66:256–258
- Rokkas C (1999) Single-stage extensive replacement of the thoracic aorta: The arch-first technique. *J Thorac Cardiovasc Surg* 117:99–105
- Safi H, Estrera AL, Villa MA et al (2007) Optimization of aortic arch replacement: Two-stage approach. *Ann Thorac Surg* 83:815–818
- Schepens MA, Dossche KM, Morshuis WJ et al (2002) The elephant trunk technique: Operative results in 100 consecutive patients. *Eur J Cardiothorac Surg* 21:276–281