

# 16 Katheterinterventionen und Herzklappenrekonstruktion

L. Paranskaya, C. A. Nienaber

Die transösophageale Echokardiografie eignet sich aufgrund des hohen räumlichen und zeitlichen Auflösungsvermögens als peri-interventionelles und perioperatives bildgebendes Verfahren, mit zusätzlicher Funktionsanalyse über die Dopplerechokardiografie. Wegen der Möglichkeit der dreidimensionalen (3D-) Darstellungen ist die Methode bei der Behandlung struktureller Herzkrankungen unverzichtbar. Mit der Real-Time-Bildgebung kann die TEE auch als portables System im Herzkatheterlabor oder im Operationsaal eingesetzt werden.

Im Rahmen von Interventionen im Herzkatheterlabor oder von Hybrid-Operationen eignet sich die TEE als begleitende Diagnostik bei

- endovaskulärer Stentgraft-Implantation in die Aorta,
- Implantation von Verschlussystemen bei interatrialen Kommunikationen,
- Implantation von Okkludern zum Verschluss eines persistierenden Ductus arteriosus,
- Implantation von Okkludern zum Verschluss eines Ventrikelseptumdefekts,
- Implantation eines Verschlussystems in das linke Herzohr,
- transapikaler Implantation von Aortenklappen,
- transfemorale perkutane Implantation von Aortenklappen (s. a. ▶ Kap. 5),
- perkutanen Interventionen bei Mitralklappeninsuffizienz (s. a. ▶ Kap. 5),
- interventionellem Verschluss eines paravalvulären Lecks.

Im Operationsaal umfasst der Einsatz der TEE die begleitende Diagnostik bei Eingriffen an der

- Mitralklappe,
- Aortenklappe.

## 16.1 Patientenvorbereitung und Platzierung des Echoskops

Generell gilt wie bei jeder transösophagealen Untersuchung die Notwendigkeit einer Nüchternphase von ca. sechs Stunden. Die bekannten Kontraindikationen der transösophagealen Echokardiografie gelten auch beim interventionellen Einsatz.

► **Vorbereitung und Lagerung des Patienten.** Das Einbringen des Echoskops geschieht unter vergleichbaren Bedingungen wie bei der Routineuntersuchung. Nach topischer Rachenanästhesie und optional milder Sedierung wird das Echoskop durch den Beißring unter primärer Anteflexion und anschließender Retroflexion nach Überwindung des Zungengrunds in den Ösophagus vorgeschoben. Der wache Patient wird hierbei gebeten, den Kopf so weit wie möglich zu anteflektieren und nach Platzierung des Instruments im Ösophagus möglichst weit nach links zu drehen. Somit kann das im Mund angesammelte Sekret aus dem Mundwinkel fließen, um einen Hustenreiz und die Aspiration von Sekret zu verhindern.

► **Narkotisierter Patient.** Bei einigen der oben aufgelisteten Eingriffe ist der Patient in Narkose. Weil der Schluckmechanismus fehlt, neigt das Echoskop dazu, in einen Recessus piriformis seitlich abzuweichen. Wenn dieses Problem auftritt, ermöglicht der Vorschub unter Inspektion mit dem Laryngoskop die korrekte Platzierung; initiale Anteflexion und nachfolgende Retroflexion des Echoskops erleichtern auch bei Vorschub unter Sicht die Ösophagussondierung. Mechanische Läsionen der oropharyngealen und ösophagealen Mukosa müssen aufgrund der häufigen prozedurbedingten Antikoagulation auf jeden Fall vermieden werden.

► **Einsatz der TEE komplementär zur Fluoroskopie.** Die interventionsbegleitende TEE hat zum Ziel, die Bildgebung während eines Eingriffs zu optimieren. Sie wird nur in Einzelfällen als alleiniges Verfahren genutzt, um eine Röntgendurchleuchtung zu vermeiden. Mit diesem Vorgehen kann bei Kindern ein Vorhofseptumdefekt sogar ohne Einsatz ionisierender Strahlung verschlossen werden. Wie bei allen Eingriffen unter Röntgenstrahlenexposition sind die Regeln des Strahlenschutzes mit Tragen entsprechender Schutzkleidung im Kontrollbereich und Versuch der Einhaltung des Sicherheitsabstands zum Strahler einzuhalten (§ 31a: effektive Dosis maximal 20 mSv p. a.).

## 16.2 TEE bei der Aorten-Stentgraft-Implantation

Eine akute Typ A-Dissektion der thorakalen Aorta ist mit der extrem hohen Mortalität von 1–2% pro Stunde innerhalb ersten 24 Stunden und 50% innerhalb einer Woche verbunden. Aus diesem Grund ist derzeit eine absolute Indikation zur Operation gegeben (▶ Abb. 16.1). Die Stentgraft-Implantation (SGI) in die Aorta ist ein therapeutisches Verfahren, das sich zur interventionellen Behandlung von pathologischen Veränderungen der Aorta des-

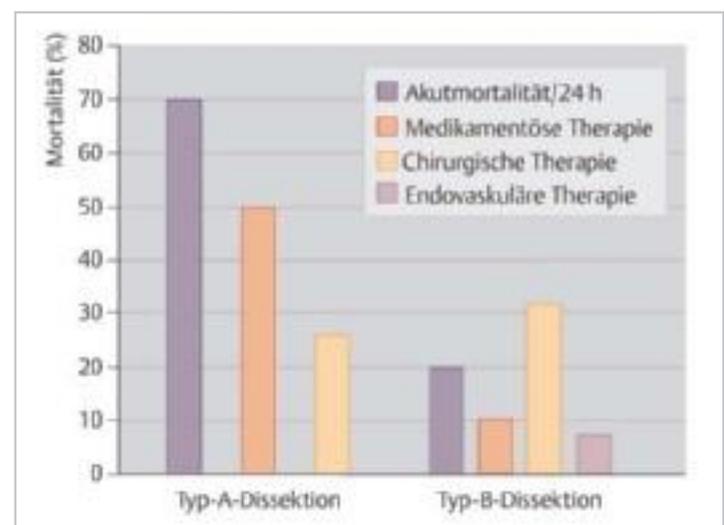


Abb. 16.1 Akutmortalität und intrahospitale Mortalität bei Aorten-dissektion Typ A und Typ B bei den unterschiedlichen therapeutischen Vorgehensweisen.

**Tab. 16.1** Indikation zur Stentgraft-Implantation (SGI) in die Aorta thoracalis descendens.

Erkrankung	Indikation zur SGI	Besonderheit, Klinik
<b>Aortendissektion</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Expansion des FL</li> <li>• FL <math>\geq 5,5</math> cm</li> </ul>	Abdeckung des/der Entries
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Malperfusion durch expandierendes FL</li> <li>• drohende Ruptur</li> </ul>	Pleuraerguss linksseitig
<b>Aneurysma verum</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diameter <math>\geq 5,5</math> cm</li> <li>• Verdrängung/Expansion mit Funktionsbeeinträchtigung</li> </ul>	Heiserkeit, Schmerzen, Atelektase, Hämoptoe
<b>Trauma/Transsektion</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dissektionslamelle</li> <li>• entrundete Wandkontur</li> <li>• Wandausdünnung</li> </ul>	
<b>penetrierendes Aortenulkus (PAU)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiefe des PAU <math>\geq 1</math> cm</li> </ul>	
<b>Aortenisthmusstenose</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gradient <math>&gt; 30</math> mmHg oder</li> <li>• Gradient <math>&gt; 20</math> mmHg und Hypertonie</li> <li>• Aneurysmaausbildung nach Vor-OP mit Dacronprothese</li> </ul>	

FL: falsches Lumen

descendens eignet (► Tab. 16.1). Die INSTEAD-Studie (n=140) zeigte nach zwei Jahren zwar noch keinen Überlebensvorteil bei den Patienten mit Aortendissektion Typ B nach elektiver Stentgraft-Implantation, aber durchaus mit 5% eine niedrigere Mortalität als die nach Literaturangaben erwarteten 30%. Ein Remodeling der dissezierten Aorta (Wiederherstellung des wahren Lumens und Thrombosierung des falschen Lumens) mit stabilem Verlauf über zwei Jahre trat in der TEVAR-Gruppe (Thoracic EndoVascular Aortic Repair) signifikant häufiger als bei medikamentöser Therapie auf. Ausschließlich medikamentös behandelte Patienten zeigten häufig eine Expansion des falschen Lumens und mussten elektiv mittels Stent behandelt oder operiert werden. Langzeitergebnisse sind derzeit noch nicht abschließend bekannt (► Tab. 16.2).

Die durch Stentgraft-Implantation behandelbaren Erkrankungen sind:

- Aneurysma verum der Aorta descendens
- Typ-B-Aortendissektion
- penetrierendes Aortenulkus
- Trauma/Transsektion der thorakalen Aorta
- Aortenisthmusstenose

Die spezifische Diagnostik dieser Erkrankungen wird u.a. in ► Kap. 8 und ► Kap. 15 abgehandelt. Grundbedingung für die Implantation des Stentgrafts ist ein anatomisch passender Stentgraft, dessen Länge 20 cm möglichst nicht überschreiten sollte.

**Tab. 16.2** Ergebnisse der INSTEAD-Studie innerhalb von zwei Jahren nach Randomisierung.

	OMT, n (%)	OMT+TEVAR, n (%)	p
Mortalität	3 (4,4)	8 (11,1)	0,20
Aorta-assoziierte Mortalität	2 (2,9)	4 (5,6)	0,68
sekundäre Interventionen	15 (22,1)	13 (18,1)	0,74
<b>Komplikationen</b>			
• persistierende Paraplegie/Parese	1 (1,4)	2 (2,8)	0,90
• schwere Schlaganfälle	0	2 (2,8)	0,53
<b>morphologische Entwicklung</b>			
• WL-Diameter (Ebene P/D, mm)			
○ Ausgangswerte	20,3 $\pm$ 9,3/17,3 $\pm$ 8,7	19,4 $\pm$ 8,0/17,4 $\pm$ 10,7	0,55/0,91
○ nach 2 Jahren	22,7 $\pm$ 10,9/18,3 $\pm$ 7,8	32,3 $\pm$ 6,4/27,0 $\pm$ 7,3	<0,001
• FL-Diameter (Ebene P/D, mm)			
○ Ausgangswerte	27,7 $\pm$ 11,6/24,0 $\pm$ 10,4	29,3 $\pm$ 12,4/26,9 $\pm$ 10,9	0,65/0,13
○ nach 2 Jahren	26,8 $\pm$ 9,4/26,9 $\pm$ 10,3	12,5 $\pm$ 16,7/13,8 $\pm$ 14,9	<0,001
• komplette Thrombosierung des FL	13 (19,4)	63 (91,3)	<0,001

OMT: optimale medikamentöse Therapie, TEVAR: thoracic endovascular aortic repair, FL: falsches Lumen, WL: wahres Lumen. Ebene P/D: proximaler (P) und distaler (D) Abschnitt der Aorta thoracalis descendens.

## 16.2.1 Stentgraft-Implantation bei Typ-B-Aortendissektion

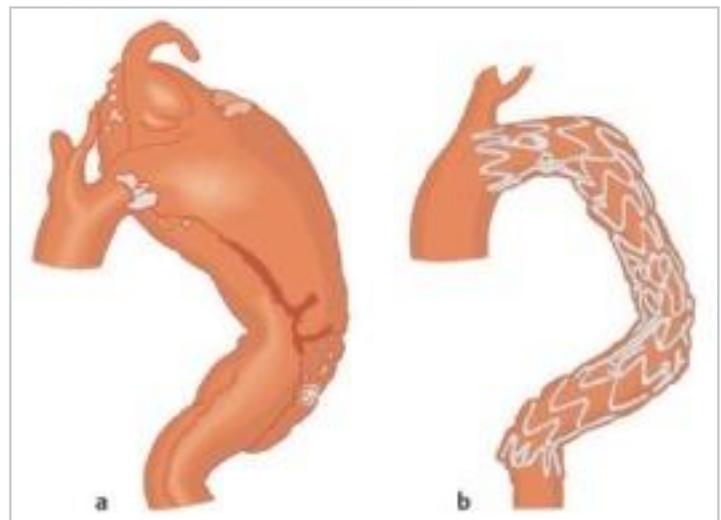
Für die Implantation eines Stentgrafts bei einer Aortendissektion (► Abb. 16.2a, b) ist die Lage des Führungsdrahts im wahren Lumen von eminenter Bedeutung (► Abb. 16.3, ► Abb. 16.4).

► **Aufsuchen des wahren Lumens.** Die Erkennung des wahren Lumens gelingt mithilfe des PW-Dopplerverfahrens und der Farbdopplerechokardiografie sowie über die Erfassung der spät-systolischen Expansion des wahren Lumens.

► **Erfassung des größten Entry.** Vor Freisetzung des Stentgrafts muss die Dissektionslamelle zur Abklärung des größten Entry evaluiert werden. Hierzu wird das Echoskop bei einer transversalen Gefäßdarstellung bei 0–30° mit aktiviertem Farbdopplermodus entlang der gesamten einsehbaren Dissektionszone vorgeschoben und zurückgezogen. Sollte distal der vom Stentgraft abzudeckenden Zone ein größeres Entry/Reentry verbleiben, würde der Effekt der Druckentlastung des falschen Lumens durch die Stentgraft-Implantation nicht ausreichend wirksam werden.

► **Freisetzung des Stentgrafts und Erfolgskontrolle.** Mit Freisetzung des Stentgrafts und Verschluss des/der Entries wird die sofortige Entwicklung von spontanem Echokontrast sichtbar. Die definitive Thrombosierung tritt aufgrund der passageren Antikoagulation zum Interventionszeitpunkt meistens noch nicht auf. Nach Freisetzung des Stentgrafts erfolgt eine Kontrolle der Stentgeometrie unter dem Aspekt einer weitgehend runden Form und der kompletten Apposition. Die Zone des vormaligen Entry wird per Farbdopplertechnik untersucht, um eine Endoleckage auszuschließen, die auch durch mangelhafte proximale Apposition entstanden sein kann. Im typischen Fall ist das entscheidende Entry direkt nach dem Abgang der linken A. subclavia lokalisiert. Sehr schmale (ca. 1–2 mm breite) Farbdopplerflusssignale durch den Stentgraft in das falsche Lumen können durch Mikrodefekte an den Nahtstellen des Dacron-Materials entstehen und dürfen nicht als Endoleckage fehlinterpretiert werden (► Abb. 16.5). Die Stent-Implantationszone wird anschließend mit dem Farbdopplerverfahren erst in transversaler (0–30°), dann in sagittaler Einstellung (80–110°) des Beschallungssektors untersucht. Am distalen Stentende muss ebenfalls auf Apposition geachtet und eine Endoleckage ausgeschlossen werden. Hier kann ein neues Entry entstehen, wenn der Stent eventuell die fragile Dissektionslamelle einreißt. Das bedeutet in aller Regel, dass eine Verlängerung des Stentgrafts erforderlich ist. In erster Linie bietet die TEE die Möglichkeit der sofortigen Erfolgskontrolle. Wenn der Abgang der A. subclavia sinistra vom Stentgraft verschlossen wurde, ist das Dopplersignal drastisch abgeschwächt. In diesen Fällen wird eine Restperfusion nur über die A. vertebralis sinistra (Flussumkehr) und schmalkalibrige Kollateralen aufrechterhalten (► Tab. 16.3). Die postinterventionelle Kontrolle erfolgt auch mit der Computertomografie (► Abb. 16.6a, b).

► **Limitationen der TEE.** Die Steuerung des Stentgrafts vor seiner Platzierung ist per TEE nicht möglich; hierzu ist die intraprozedurale Fluoroskopie mit kompletter Darstellung von Gefäß und Stent notwendig. Weil der Patient sich in Rückenlage befindet, ist mittels TEE der Einblick nach proximal nur bis zum Anfang der

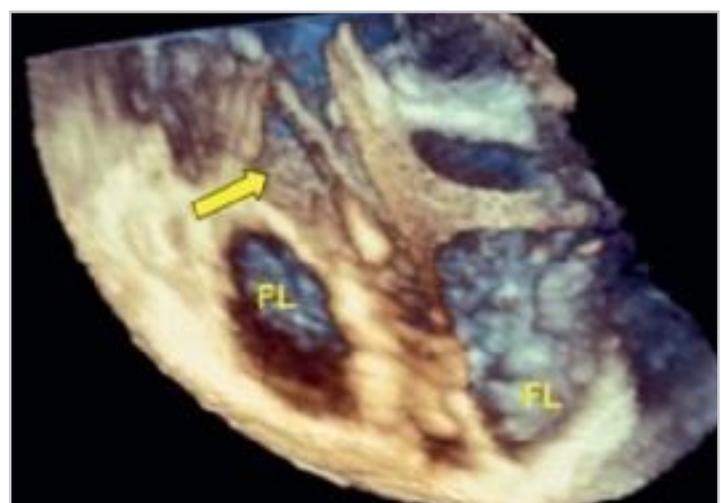


**Abb. 16.2** Aneurysma der Aorta thoracalis.

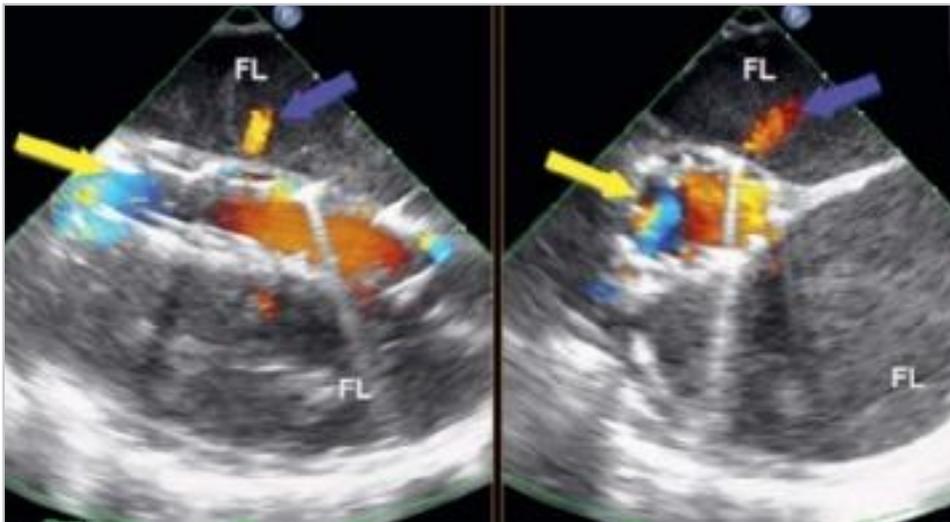
- a** Dreidimensionale Rekonstruktion der Computertomografie eines disseziierenden Aneurysmas der Aorta thoracalis (Typ B).  
**b** Ausgeklammertes Aneurysma nach der Stentgraft-Implantation. Fehlende Opazifizierung des vormaligen Aneurysmas.



**Abb. 16.3** Echokardiografisches Bild eines disseziierenden Aneurysmas (Diameter 8,6 cm) der Aorta thoracalis mit zwei großen falschen Lumina (FL) und einem kleinen wahren Lumen; in diesem ist ein Führungsdraht erkennbar (Pfeil).



**Abb. 16.4** Patient aus ► Abb. 16.3. Die 3D-TEE (3D-Zoom-Modus) zeigt eine korrekte Lage des Führungsdrahts im kleinen wahren Lumen (gelber Pfeil) und zwei falsche Lumina (FL).



**Abb. 16.5** Patient aus ► Abb. 16.3. Intra-prozedurale farbkodierte TEE bei Stentgraft-Implantation mit simultaner Darstellung in zwei Ebenen (xPlane-Modus). Stent im wahren Lumen (gelber Pfeil), beginnende Thrombosierung des falschen Lumens (FL), kleine Farbdopplerflusssignale durch den Stentgraft entstehen durch Mikrodefekte des Dacron-Materials (blauer Pfeil) und dürfen nicht mit einer Leckage verwechselt werden.

Aorta descendens möglich. Der distale Arcus aortae ist nur über wenige Zentimeter einsehbar. Da die proximalen Anteile des Stentgrafts (Bare Springs) meistens im proximalen Arcus aortae verankert werden, ist die proximale Landungszone des Stentgrafts für den TEE-Untersucher häufig nicht einzusehen. Der Abgang der A. subclavia sinistra (LSA) ist nicht immer sichtbar; die LSA kann aber ca. 2 cm distal des Abgangs durch einen via A. brachialis sinistra in der Aorta ascendens platzierten Pigtail-Katheter identifiziert werden.

### 16.2.2 Stentgraft-Implantation bei Aneurysma verum, penetrierendem Aortenulkus, Transektion der Aorta oder Aortenisthmusstenose

Die Technik der Stentgraft-Implantation in die thorakale Aorta unterscheidet sich unwesentlich bei den unterschiedlichen pathologischen Befunden wie dem Aneurysma verum, dem penetrierenden Aortenulkus, der Transektion oder der Aortenisthmusstenose. Die Aspekte bezüglich Stentgeometrie, Apposition und Endoleckage sind vergleichbar mit jenen der Aortendissektion und müssen auch hier postinterventionell beurteilt werden.

► **Besonderheiten bei der Aortenisthmusstenose.** Bei der Aortenisthmusstenose erfolgen die Platzierung eines Stents und die Dilatation mit einem Ballon. Dabei muss auch mit Einrissen von Intima und Media der Aorta gerechnet werden. Dementsprechend kann sich eine Dissektion der Aorta descendens entwickeln, die sich am distalen Ende des Stents oder des Stentgrafts per TEE sichern bzw. ausschließen lässt. Der Stent zur Behandlung der Aortenisthmusstenose ist in vielen Fällen nicht ummantelt und selbstexpandierend und verschließt auch keine Gefäßabgänge.

**Tab. 16.3** Intraprozeduraler Einsatz der TEE während thorakaler Stentgraft-Implantation.

Erkrankung	spezielle Kontrolle
Aortendissektion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abdeckung des Entry</li> <li>• neues Entry am Stentende</li> <li>• Endoleckage</li> <li>• Apposition des Stents</li> <li>• spontaner Echokontrast im FL</li> <li>• Stentgeometrie</li> <li>• Okklusion linke A. subclavia</li> </ul>
Aneurysma verum (AV)/penetrierendes Aortenulkus (PAU)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Endoleckage</li> <li>• komplett ausgeklammertes AV/PAU</li> <li>• spontaner Echokontrast im AV/PAU</li> <li>• Okklusion linke A. subclavia</li> </ul>
Transektion (TS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Endoleckage</li> <li>• Dissektionslamelle angelegt</li> <li>• TS-Zone komplett abgedeckt</li> <li>• spontaner Echokontrast</li> <li>• Okklusion linke A. subclavia</li> </ul>
Aortenisthmusstenose	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lumengewinn</li> <li>• Ausschluss Dissektion</li> </ul>

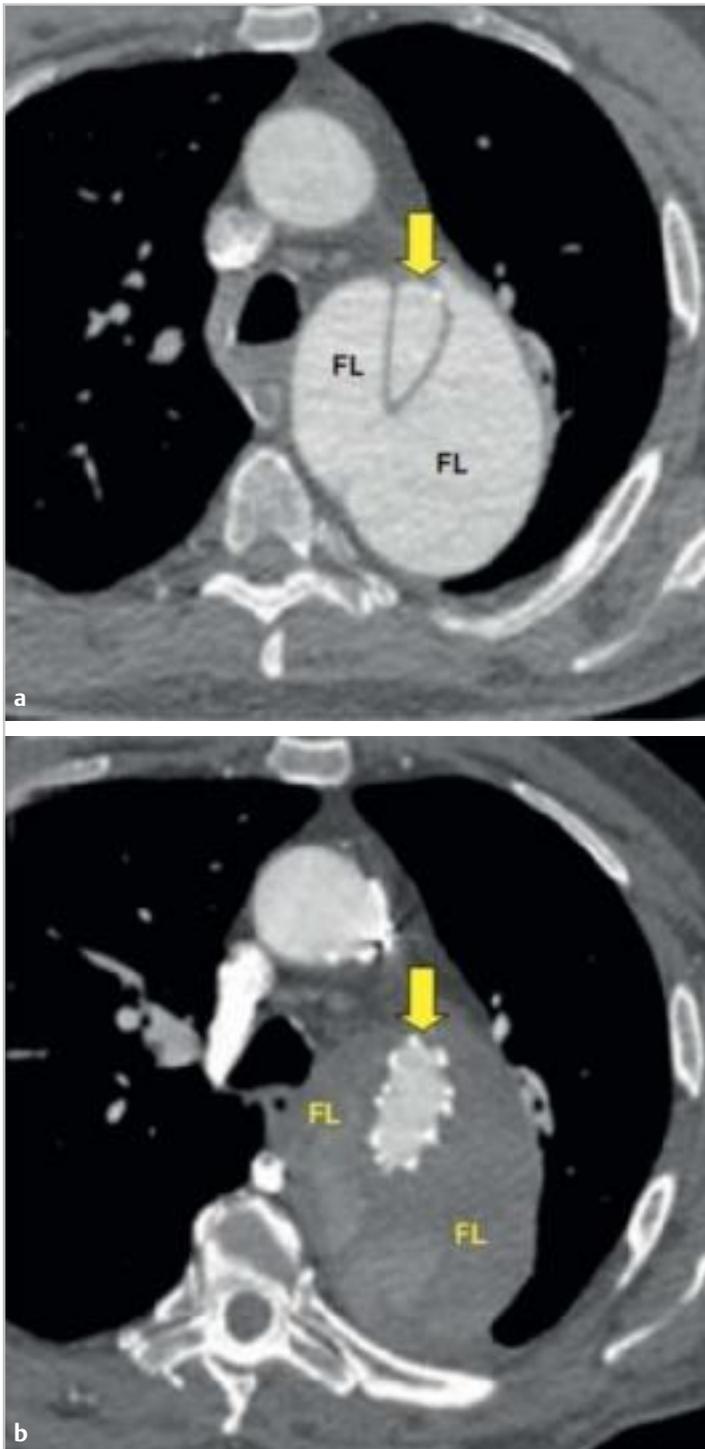
FL: falsches Lumen

### 16.3 Interventioneller Verschluss von interatrialen Kommunikationen

Der interventionelle Verschluss von interatrialen Kommunikationen ist eine Indikation par excellence für die begleitende TEE-Diagnostik.

Die einem interventionellen Verschluss zugänglichen Erkrankungen sind

- der Vorhofseptumdefekt vom Secundum-Typ (ASD II),
- das offene Foramen ovale (PFO).



**Abb. 16.6** Patient aus ► Abb. 16.3.  
**a** Computertomografie einer Typ-B-Dissektion der Aorta thoracalis mit zwei expandierten falschen Lumina (FL) und kleinem wahrem Lumen (Pfeil).  
**b** Nach der Stentgraft-Implantation Kontrastierung des wahren Lumens (Pfeil) und komplette Thrombosierung des falschen Lumens.

### 16.3.1 Interventioneller Verschluss des Vorhofseptumdefekts vom Secundum-Typ

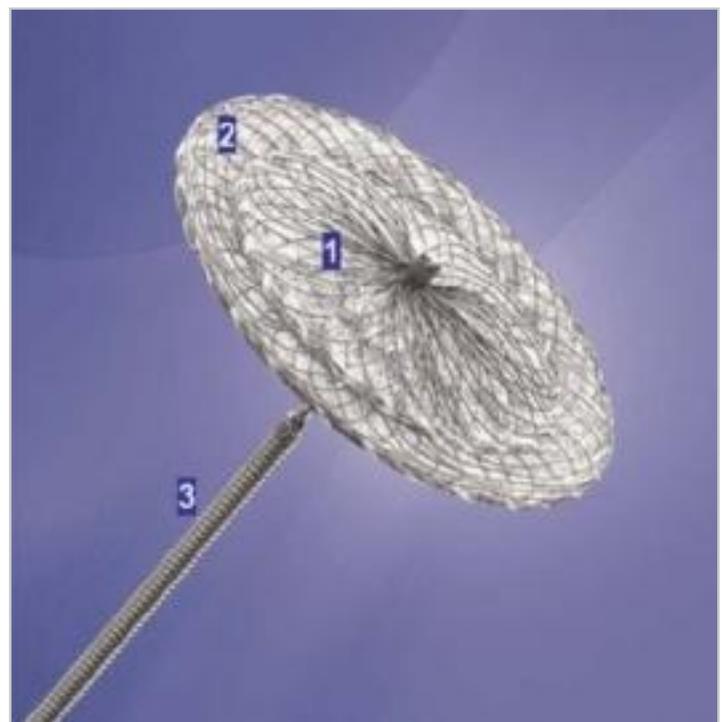
► **Okkluder-Typen und verschließbare Defektgröße.** Über den ersten erfolgreichen interventionellen Verschluss des Vorhofseptumdefektes wurde im Jahr 1976 berichtet. Bei modernen technischen Entwicklungen ist es möglich relativ große Defekte bis zu 38 mm zu verschließen.

Beruhend auf dem Prinzip der Platzierung werden die Okkluder-typen in zwei Gruppen unterteilt:

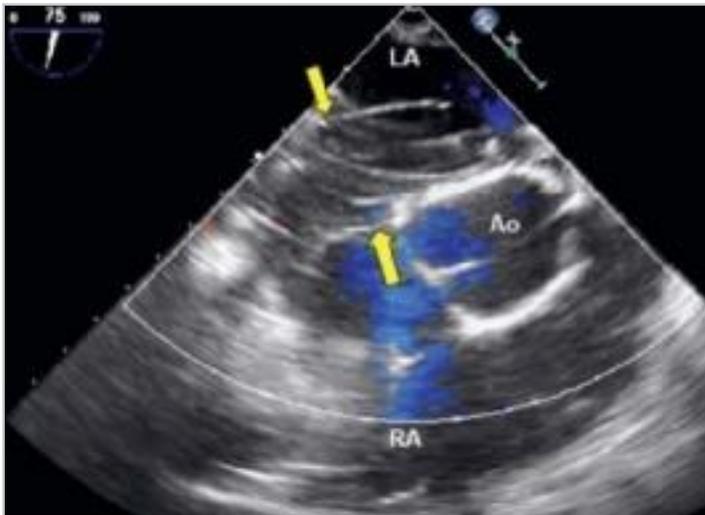
- nicht selbstzentrierende Devices: AGA Amplatzer Multi-fenestrated septal Occluder – „Cribriform“ (St. Jude Medical, Plymouth, USA) und Gore Helex septal Occluder (GL Gore&Associates, USA)
- selbstzentrierende: AGA Amplatzer Septal-Occluder und NMT CardioSeal StarFlex septal Occluder (NMT Medical, USA).

Ein selbstexpandierender, selbstzentrierender und repositionierbarer Amplatzer-Okkluder ist im Vergleich zu anderen Systemen sehr leicht zu handhaben und in einer Vielzahl unterschiedlicher Formen und in 27 Größen vom 4–40 mm verfügbar. Ein Amplatzer-Okkluder besteht aus einem Nitinol-Maschenwerk, gefüllt mit Dacrongewebe. Eine 3–4 mm große, zylinderförmige Taille verbindet zwei Scheiben miteinander (► Abb. 16.7). In Entwicklung sind bis 95% bioresorbierbare Okklusionssysteme (z.B. Bio-star-Occluder).

► **TEE-Anlotebene.** Für den interventionellen Verschluss des ASD II bietet eine bikavale Einstellung bei sagittaler Anlotung von 90–110° die beste Darstellung der relevanten anatomischen Strukturen und eine Vermessung des superioren und des inferioren Randes. Im transversalen Blick (30–70°) wird zunächst der posteriore und anteriore Rand untersucht. Eine erfolgreiche Implantation erfordert mindestens drei fassbare Ränder (superior, inferior und posterior) mit einem Randsaum von 5 mm. Das Fehlen eines ausreichenden anterioren Randes (<5 mm) schließt einen erfolgreichen Verschluss nicht unbedingt aus, erfordert aber einen überdimensionierten Okkluder. Nach Empfehlung des Herstellers sollte der Abstand zu den atrioventrikulären Klappen aber mehr als 5 mm betragen. Da der ASD nicht rund ist, ist eine Messung in beiden Anlotungen in 2D, Farbdoppler und beim



**Abb. 16.7** Beispiel eines transvenösen PFO-Verschlusssystems: selbstzentrierender Amplatzer PFO-Okkluder (1: linksatrialer Schirm, 2: rechtsatrialer Schirm, 3: Führungsdraht). (Mit freundlicher Genehmigung von St. Jude Medical.)

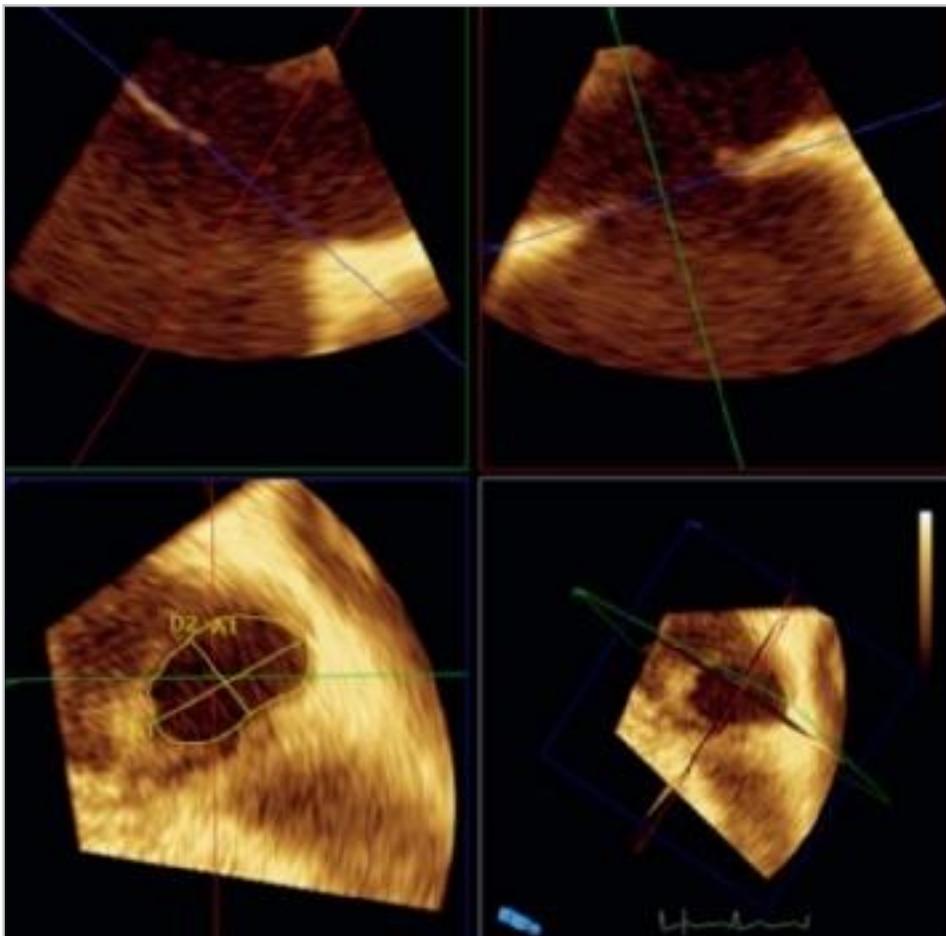


**Abb. 16.8** Messballon in einem ASD II zur Festlegung der Defektgröße („Stop-flow“-Ballondiameter). Die Ballontailierung ist mit Pfeilen gekennzeichnet.

„Sizing“ erforderlich. Beim „Balloon Sizing“ des Defekts lässt sich die Taille des Ballons messen und damit die gedehnte Defektgröße bestimmen. Sie liegt deutlich über dem nativen Defektdiameter (► Abb. 16.8). Der Okkluder sollte 1–2 mm größer als der Ballondiameter bei „Stop-flow“ sein. In 20% der Fälle liegen multiple oder fenestrierte Defekte vor. Aus diesen Gründen erlaubt eine 3D-TEE (QLAB) ergänzend zu einer 2D- und farbkodierten Echokardiografie eine exakte Beurteilung der Anzahl, Form und Größe der Defektes (► Abb. 16.9).

► **Einbringen des Okkluders.** Die Implantation des Okkluders erfolgt über die Schleuse von 6–12 French. Zuvor muss die korrekte Lage des Führungsdrahtes in einer Lungenvene überprüft werden. Nach Freisetzung des linksatrialen Schirms im linken Vorhof wird der Okkluder an den Defekt herangezogen. Mit Freisetzung des rechtsatrialen Schirms rutscht der noch vom Führungsdraht gehaltene Okkluder in einer leicht gekippten Position in den Defekt (► Abb. 16.10, ► Abb. 16.11).

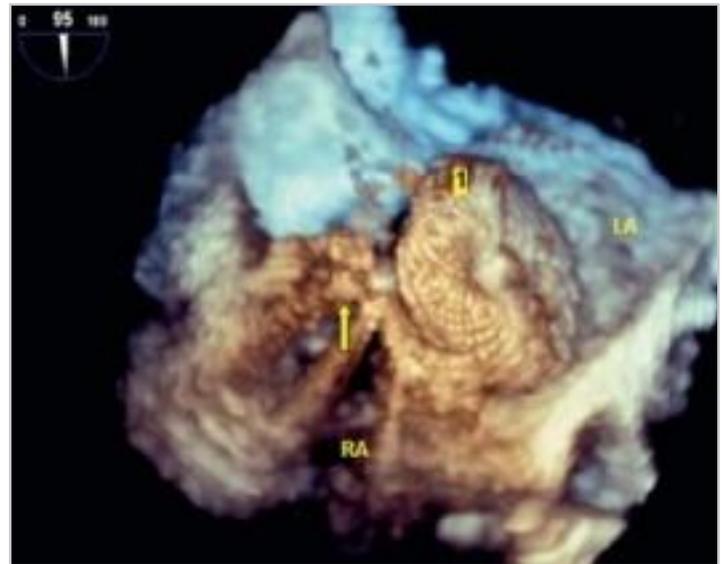
► **Lageüberprüfung mittels TEE.** Mit der TEE lässt sich prüfen, ob die beiden Schirme des Okkluders den vorhandenen Randsaum komplett umfassen. Hierzu wird das interatriale Septum bei 90°-, 60°- und 0°-Schnittführung entlang seiner Ausdehnung systematisch untersucht. Mittels einer 3D-TEE erfolgt eine Kontrolle der Position des Okkluders mit Darstellung von rechts- und linksatrialer Seite. Nach der Implantation ist der Okkluder üblicherweise beiderseits abgeflacht. Wenn ein Amplatzer-Septal-Okkluder trotz Druck mit dem Führungsdraht auf der rechtsatrialen Seite eine Kürbisform behält, flacht er aufgrund des „Memory-Effekts“ des Nitinols in den folgenden Tagen/Wochen ab. Mit Ziehen und Schieben am Führungsdraht des Okkluders (Minnesota-Wiggle-Manöver) wird dessen Stabilität in dieser Lage überprüft. Anschließend erfolgt mittels TEE-Farbdopplerverfahren eine Funktionsüberprüfung der atrioventrikulären Klappen und der Aortenklappe bezüglich der Entwicklung einer Klappeninsuffizienz. Eine Kompromittierung des Koronarsinus, der Aorta, der linken unteren Lungenvene und der V. cava muss ausgeschlossen werden. Da bei einem ASD II im Erwachsenenalter meist eine Mitralinsuffizienz vorbesteht, ist auch auf eine Zunahme der Regurgitation zu achten (► Tab. 16.4).



**Abb. 16.9** 3D-Darstellung eines ASD II mittels TEE (QLAB). Der isolierte ovale Defekt misst 1,64 cm (D1) × 0,94 cm (D2). Die Fläche (A1) beträgt 1,34 cm<sup>2</sup>.



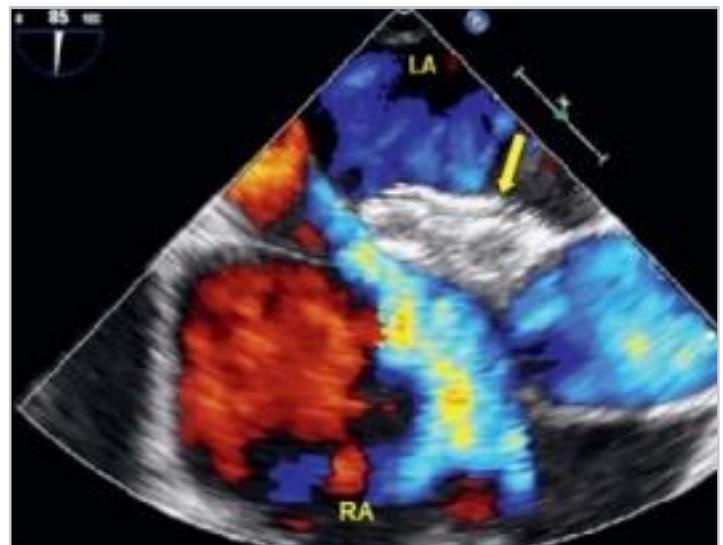
**Abb. 16.10** Transösophageales Echokardiogramm des noch am Führungsdraht (Pfeil) fixierten Amplatzer-Septal-Okkluders. Nach Freisetzung des linksatrialen (1) und des rechtsatrialen Schirms (2) wird die Fixierung vom Katheter gelöst.



**Abb. 16.11** Implantationsschritt wie in ► Abb. 16.10 in 3D-Darstellung. Korrekte Position des linksatrialen Diskus (1) am Katheter (Pfeil).

► **Erfassung eines etwaigen Restshunts.** Mit Freisetzung vom Führungsdraht nimmt der Okkluder seine definitive Position parallel zum interatrialen Septum ein. Erst in diesem Stadium ist es sinnvoll, mit Farbdopplertechnik nach einem möglichen Rest-Shunt zu suchen. Direkt nach der Implantation zeigt sich ein Rest-Shunt in 83%, nach 24 Stunden nur noch in 17% der Fälle. Auch ein Jet durch die Mitte des Device ist nicht ungewöhnlich. Eine Fibrosierung und Endothelialisierung können in den folgenden Monaten kleine verbliebene Restdefekte verschließen (► Abb. 16.12). Nach Implantationen von modernen Okkludern zeigten sich nach etwa einem Jahr ein kompletter Verschluss des Defektes bei 95,5% der Patienten (zum Vergleich: nach Implantationen von Okkludern der ersten Generation gelang in 20% der Fälle nach einem Jahr der Nachweis eines Rest-Shunts).

► **Ausschluss eines Perikardergusses.** Vor Rückzug des Echokops muss der Perikardraum inspiziert werden, um die Entwicklung eines Perikardergusses sicher auszuschließen.



**Abb. 16.12** Kontrolle eines ASD II nach Okkluder-Verschluss (Pfeil). Kein Restshunt in der farbkodierten TEE mehr nachweisbar.

### 16.3.2 Interventioneller Verschluss des offenen Foramen ovale (PFO)

Der erste interventionelle Verschluss des PFO erfolgte 1974. Zurzeit gibt es mehrere Okkludertypen, von denen das Amplatzer- und das CardioSEAL-System am häufigsten implantiert wurden.

Beim Vergleich der interventionellen und medikamentösen Therapie gibt es keine konklusive Datenlage, allerdings Hinweise für einen Vorteil der perkutanen Therapie. In der CLOSURE I-Studie (Vergleich des STARFlex-Okkluders und der medikamentösen Therapie – Aspirin und/oder Warfarin – bei 900 Patienten) konnte trotz der prozeduralen Erfolgsquote von 90% die erhoffte

**Tab. 16.4** Intraprozeduraler Einsatz der TEE während interventionellem Verschluss von ASD II und PFO.

Erkrankung	spezielle Kontrolle	Besonderheit
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorhofseptumdefekt vom Secundum-Typ</li> <li>• offenes Foramen ovale (PFO)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AV-Klappen: Insuffizienz</li> <li>• Distanz zu Lungenvenen</li> <li>• Thromben</li> <li>• Okkluderausrichtung</li> <li>• Abflachung des Okkluders</li> <li>• Perikarderguss</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vorbestehende Mitralsuffizienz</li> <li>• „Balloon Sizing“</li> <li>• „Lang-Tunnel“-PFO</li> <li>• lipomatöse Hypertrophie des interatrialen Septums</li> </ul>

Überlegenheit gegenüber einer medikamentösen Prophylaxe allein nicht belegt werden. Dies könnte daran liegen, dass erhebliche methodische Mängel bei CLOSURE-I bestehen, eine signifikant größere Inzidenz des Vorhofflimmerns in der „Okkluder-Gruppe“ registriert wurde, und die 2-Jahres-Nachbeobachtungsdauer zu kurz war. Die Ergebnisse der CLOSE-Studie und der RESPECT-Studie mit einem längeren Follow-up (fünf und acht Jahre) stehen derzeit noch aus.

► **Anatomische Varianten.** Die Anatomie des interatrialen Septums ist sehr variabel und kann mit der Ausbildung eines langen Tunnels oder einer lipomatösen Hypertrophie auffällig sein. Diese speziellen anatomischen Varianten beeinträchtigen den Ablauf und den Erfolg der Intervention jedoch im Allgemeinen nicht. Allerdings sollen anatomische Besonderheiten bei der Auswahl eines Verschlussystems berücksichtigt werden. So kann ein Amplatzer-Okkluder relativ leicht replaziert werden und sollte in Fällen benutzt werden, in denen eine Implantation schwierig sein könnte. Ein Premere-Occluder (NMT Medical Inc., USA) zeigt gute Ergebnisse beim Verschluss einer „Long-Tunnel“-PFO, da der Abstand zwischen den Schirmen variiert werden kann.

► **TEE-Anlotebene.** Die TEE-Darstellung des PFO in einer Schnittebene von 90–110° kann bei der Sondierung des PFO hilfreich sein, weil die Durchtrittsstelle im interatrialen Septum sichtbar wird. Die Drahtpassage des offenen Foramen ovale kann im Einzelfall zeitintensiv sein. Eine optimale Visualisierung des Flusses im PFO kann durch eine relativ niedrige Farbalias-Einstellung (20–30 cm/s) erfolgen. Ein Okkluder soll etwa doppelt so groß wie der PFO-Diameter beim Ballon-Sizing sein, jedoch ist ein „Balloon Sizing“ des offenen Foramen ovale nicht obligat. Eine 3D-TEE ergänzt eine 2D- und Farbdoppler-TEE, ist aber weniger nützlich als bei einem ASD-Verschluss. Die Okklusion des PFO wird in Analogie zur Intervention bei ASD II mit Monitoring der PFO-Passage und der Positionierung des Okkluders, mit der direkten Visualisierung der Lokalisation, der Stabilität und der Funktion des Okkluders durchgeführt. Nach der Implantation erfolgt üblicherweise eine Überprüfung der Klappenfunktion und des Koronarsinus.

► **Häufigkeit eines Restshunts.** Eine randomisierte Untersuchung (n=660), mit dem Vergleich zwischen Amplatzer, Helex und CardioSEAL-STARFlex zeigte, dass ein kompletter Verschluss des PFO signifikant häufiger durch einen Amplatzer-Okkluder erfolgt. Das Amplatzer-System hat allerdings mit 11% eine signifikant geringere Rate von Restshunts bei der Nachbeobachtung im Vergleich zu Premere mit 18,5% und Helex mit 33,3%. Die Erfolgsquote bei der Implantation des Amplatzer-Okkluders liegt bei 90–100%.

► **Komplikationen.** Schwerwiegende Komplikationen traten in 1,5% der Fälle auf, in neueren Untersuchungen nur noch in 1%. Die Rate an Perforationen (in der Regel im Bereich des LAA) beträgt 0,5–1%, Dislokation in 0,9%, passagere Arrhythmien in 15,5%. Nach der Intervention wurde ein Appositionsthrombus am häufigsten bei CardioSEAL- und STARFlex-Okkludern nachgewiesen, dagegen in keinem Fall bei einem Amplatzer-Okkluder. Mehrere Autoren berichten über eine Komplikationsrate unabhängig vom verwendeten Okkludertyp.

## 16.4 Interventioneller Verschluss des Ventrikelseptumdefekts (VSD)

Der interventionelle Verschluss von kongenitalen und erworbenen Defekten des perimembranösen und muskulären Kammerseptums ist möglich und dem chirurgischen Verschluss vorzuziehen, also Methode der Wahl; dasselbe gilt auch für den interventionellen Verschluss eines postoperativen Residualshunts. Die perimembranösen Defekte sind allerdings erst seit Einführung neuer Verschlussysteme (asymmetrischer Amplatzer-VSD-Okkluder) einem interventionellen Verschluss zugänglich.

► **Vorteile zum chirurgischen Verschluss.** Da die chirurgische Versorgung von Defekten im muskulären Septum, insbesondere in der Apexregion, schwierig sein kann und der technische Aufwand mit einer Ventrikulotomie hoch ist, stellt die interventionelle Verschlussstechnik mit verbesserten Verschlussystemen einen erheblichen Vorteil für den Patienten dar.

► **TEE-Anlotebene.** Die TEE-Steuerung dieser Intervention ist für die Darstellung des Defekts und des Shunts sinnvoll. Defekte im perimembranösen Teil des Interventrikularseptums werden in einer Einstellung um 120°, Defekte im muskulären Teil um 0–30° optimal erfasst. Mittels 3D-TEE können die Defektdimensionen zur Selektion der Okkludergröße erhoben werden. Intra- und postprozedural ermöglicht die 3D-TEE eine Visualisierung des Okkluders mit rechts- und linksventrikulärer Aufsicht sowie die Evaluierung der Stabilität des Geweberandes zwischen den Okkluderscheiben.

► **Balloon Sizing.** Auch beim VSD wird die definitive Defektgröße durch „Balloon Sizing“ ermittelt; der Diameter des Defekts lässt sich sowohl angiografisch als auch per TEE messen. Die Drahtpassage des Defekts zur Herstellung einer arteriovenösen Schleife wird üblicherweise mit der Fluoroskopie unter Handinjektion von kleinen Kontrastmittelboli realisiert.

► **Platzierung des Okkluders.** Die Platzierung des Okkluders wird gleichzeitig fluoroskopisch und mit der TEE verfolgt. Nach Freisetzung des Okkluders erfolgt die Kontrolle bzgl. eines Residualshunts mit dem Farbdopplerverfahren. Liegt der Defekt nicht im muskulären, sondern im perimembranösen Anteil des Interventrikularseptums, so ist eine spezielle Kontrolle der Funktion von Trikuspidal- und Aortenklappe per Farbdopplertechnik notwendig.

► **Reduzierter Kontrastmittelverbrauch.** Die Einschätzung eines etwaigen Residualshunts per TEE vermeidet die zusätzliche Kontrastmittelgabe und verringert die Röntgenstrahlenexposition. Der Verbrauch an Röntgenkontrastmittel kann bei dieser zeitintensiven Prozedur (mittlere Untersuchungszeiten etwa 150 min) mit hoher Durchleuchtungszeit (im Mittel 45 min) 4–6 ml/kg Körpergewicht erreichen.

► **Erfolgsrate.** Eine neue AV-Klappenregurgitation nach Platzierung des Okkluders wird in 5% der Fälle gefunden, sie ist vornehmlich an der Trikuspidalklappe (3%) beobachtet worden. Die Rate an Embolisationen der Verschlussysteme (n=296) betrug in einer rezenten Publikation 1,6%. In weit über 90% wird ein kom-

pletter Verschluss des Defekts beschrieben, in den anderen Fällen verbleibt ein häufig hämodynamisch unbedeutender Residualshunt.

## 16.5 Interventioneller Verschluss des persistierenden Ductus arteriosus

Der persistierende Ductus arteriosus (PDA) verbindet den oberen Abschnitt der thorakalen Aorta descendens mit der proximalen linken Pulmonalarterie, wo er direkt hinter der Bifurkation einmündet. Der Ductus botalli apertus ist beim Erwachsenen mittels transthorakaler oder transösophagealer Echokardiografie nicht in allen Fällen adäquat darstellbar. Die TEE lässt am aortalen Ende des Ductus eine leichte Eindellung der proximalen Aorta descendens erkennen (► Abb.9.42, ► Abb.9.44). Mit beiden echokardiografischen Verfahren ist per Farbdopplertechnik der turbulente Blutfluss in der linken Pulmonalarterie mit Fortsetzung in den Pulmonalarterienstamm als Folge des Shunts nachweisbar. Abhängig vom pulmonalen Gefäßwiderstand wird der Shunt dopplerechokardiografisch an einem systolischen oder systolisch-diastolischen Flussignal erkannt.

► **Nutzen und Limitationen der TEE.** Da der persistierende Ductus auch mit der TEE in aller Regel nicht adäquat darstellbar ist, stellt die TEE für diese Intervention keine wesentliche Entscheidungshilfe dar. Einstellungen und wesentliche anatomische Orientierung entsprechen der 0°-Ebene auf Höhe der Pulmonalarterienbifurkation und der Einstellung der proximalen Aorta descendens mit identischer transversaler Darstellung. Nach erfolgreicher Implantation eines Duct-Okkluders sollte kein relevanter Restshunt mehr nachweisbar sein. Häufig ragen Anteile des Duct-Okkluders auffällig weit in die proximale linke Pulmonalarterie. Hier muss abschließend eine Entwicklung einer post-interventionellen Stenosierung mit Ausbildung eines Gradienten ausgeschlossen werden.

## 16.6 Interventioneller Verschluss des linken Herzohres

Mehr als 90% aller Thromboembolien bei nicht valvulärem Vorhofflimmern stammen aus dem linken Herzohr (LAA). Durch eine Thrombozytenaggregationshemmung und durch eine orale Antikoagulation mit Warfarin kann die Schlaganfallrate um 22% bzw. 64% reduziert werden. Die moderne Antikoagulationstherapie erlaubt eine effektive Schlaganfallprophylaxe bei einfacher Einstellung. Die oralen direkten Faktor-Xa-Inhibitoren Rivaroxaban (ROCKET-AF-Studie) und Apixaban (ARISTOTLE-Studie) und der orale direkte Thrombin-Inhibitor Dabigatran (RE-LY-Studie) zeigten eine suffiziente Antikoagulation mit einer signifikanten Reduktion von embolischen Ereignissen im Vergleich zu Warfarin. Schwere und intrakranielle Blutungen traten unter Warfarin-Therapie signifikant häufiger auf. Aus verschiedenen Gründen kann jedoch eine orale Antikoagulation nicht suffizient oder kontraindiziert sein. Für derartige Fälle steht der interventionelle Verschluss des LAA zu Verfügung.

► **Device-Design.** Das erste System für einen LAA-Verschluss wurde im Jahr 2001 implantiert (PLAATO, 2006 vom Markt genommen). Zurzeit sind zwei Systeme für die LAA-Okklusion zugelassen: der Amplatzer Cardiac Plug (AGA Medical Corp., USA) und das Watchman-Device (Atritech, USA) (► Abb.16.13). Daten aus randomisierten kontrollierten Studien zum Vergleich des Verschlusssystems und der oralen Antikoagulation liegen nur für den Watchman-Okkluder vor (weniger hämorrhagische und ischämische Insulte und niedrigere Mortalität in der Watchman-Gruppe) (► Tab.16.5).

► **Technik und TEE-Anlotungen.** Durch einen transvenösen, transseptalen Zugang erfolgen vorab eine angiografische Darstellung des LAA und ein Ausschluss von Thromben durch TEE-Schallkopffrotation zwischen 0° und 120°. Für eine komplette Darstellung der LAA-Anatomie werden zusätzliche Anlotungen bis 135° benutzt. Traditionell wird das Prozedere unter fluoroskopischer und 2D-TEE-Kontrolle durchgeführt. Der maximale Querdurchmesser des LAA wird 2–5 mm unterhalb seines Ostiums gemessen. Dieselbe Messung wird mittels Fluoroskopie durchgeführt; bei unregelmäßiger LAA-Form (z.B. multilobulär) kann bei der 2D-TEE der Diameter des LAA ca. 5 mm kleiner als fluoroskopisch erscheinen. Etwa 80% der Patienten haben mehr

Tab. 16.5 Vergleich der Systeme für LAA-Verschluss.

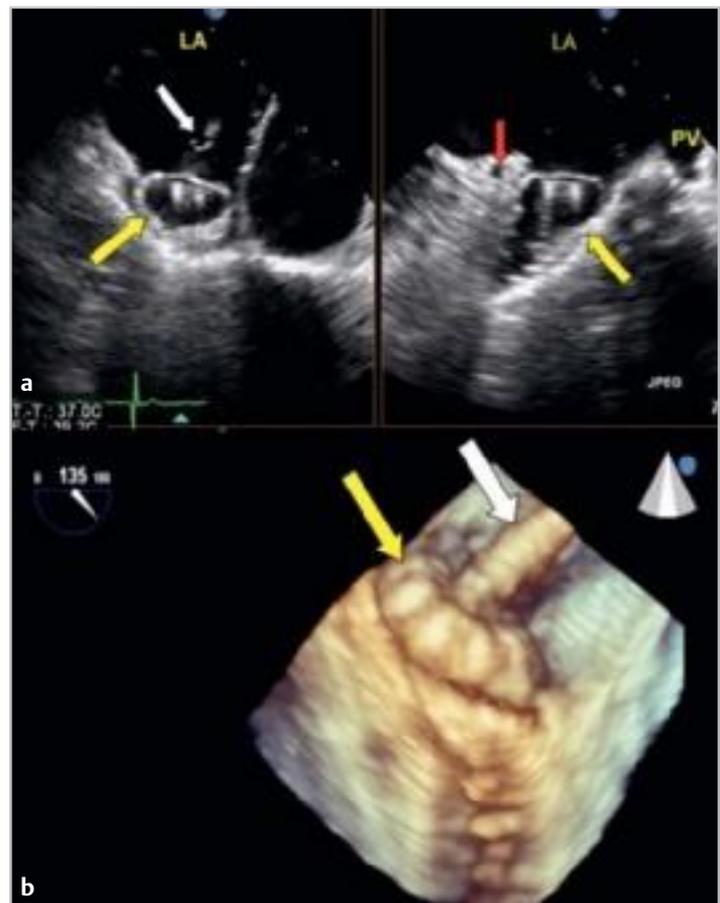
Produkte	Amplatzer Cardiac Plug	Watchman
Material	Nitinolgeflecht, ausgefüllt mit Polyester-gewebe, ausgestattet mit Hacken	Nitiniolrahmen mit Polyesterbezug und Verankerungshaken
verfügbare Größe	8 Größen, 16–30 mm	5 Größen, 21–33 mm
Auswahl der Okkludergröße	2 mm größer als LAA-Diameter	10–20% größer als LAA-Diameter
Schleuse	9–13 F	12 F
Repositionierung/Explantation	ja, vor Freisetzung	ja, vor Freisetzung
schwere Komplikationen	6%	7%
Antikoagulation/Antiaggregationstherapie nach Implantation	nein/75 mg Aspirin+Clopidogrel 75 mg für 1 Monat, dann Aspirin-Monotherapie	Warfarin 45 Tage nach Prozedere/danach 6 Monate Aspirin+Clopidogrel, dann Aspirin-Monotherapie



**Abb. 16.13** Das Watchman-System für den LAA-Verschluss besteht aus einem selbstexpandierenden Nitinolrahmen mit Verankerungshaken. Die linksatriale Seite ist mit einer Polyester-membran beschichtet (mit freundlicher Genehmigung von Atritech, Inc.).

als einen LAA-Lappen (in 54% der Fälle zwei Lappen, in 23% drei Lappen und in 3% vier Lappen (► Abb.3.97) und ca. 70% eine gebogene oder spiralförmige Hauptachse und somit eine komplexe Anatomie. In diesen Fällen ist eine 3D-Darstellung des LAA wertvoll. Eine Live-3D-TEE-Erfassung erfolgt mit Darstellung des LAA in der Mitte des Bildes, der Mitralklappe bei 6 Uhr und der linken oberen pulmonalen Vene bei 12 Uhr. Nach Auswahl der Okkludergöße wird das selbstexpandierende System im LAA freigesetzt (► Abb.16.14, ► Abb.16.15a,b). Anschließend soll die Position des Okkluders mittels 2D- und 3D-TEE beurteilt werden (► Abb.16.16). Die Farbdopplertechnik und ergänzend die 3D-TEE dienen dem Nachweis von residualen Verbindungen zwischen Vorhof und Vorhofohr. Bei Bedarf kann der Okkluder replaziert werden; drei Monate nach Verschluss des linken Herzohres liegt eine komplette Endothelialisierung vor (► Abb.16.17). Die Erfolgsquote liegt bei 91–96%.

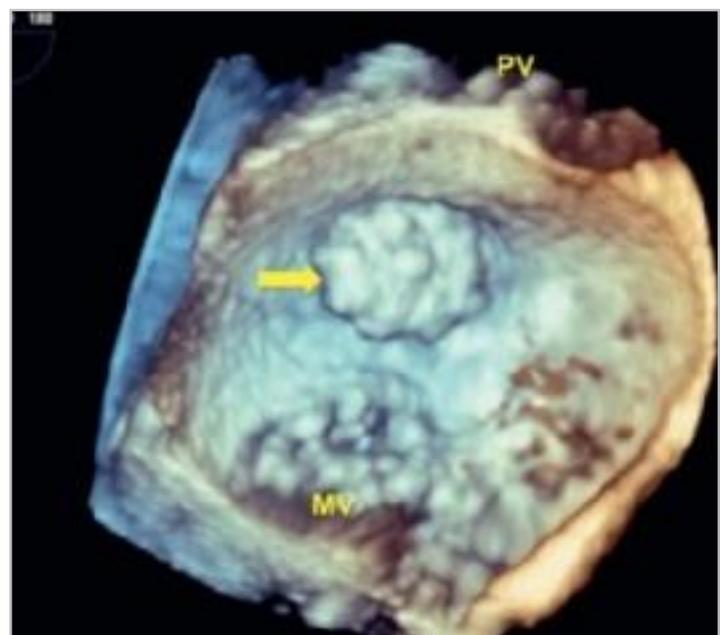
► **Komplikationen.** Diese verteilen sich wie folgt: Perikarderguss (5%), akute Embolien durch Thromben oder Luft (1%), Device-Embolisation und Explantation (<1%), Sepsis und Explantation (<1%).



**Abb. 16.15** Freisetzen des Watchman-Okkluders (gelber Pfeil) vom Führungskatheter (weißer Pfeil) im LAA.  
**a** Darstellung in der 2D-TEE/xPlane (roter Pfeil: Ramus circumflexus, PV: linke obere Pulmonalvene).  
**b** Darstellung in der 3D-TEE.



**Abb. 16.14** Interventioneller Verschluss des linken Herzohres. Die 3D-TEE zeigt eine regelrechte Position des Führungskatheters (Pfeil) im LAA.



**Abb. 16.16** Regelrechte Position eines Watchman-Okkluders (Pfeil) im LAA bei 3D-TEE-Darstellung. Die Mitralklappe (MV) ist bei 6 Uhr, die linke obere Pulmonalvene (PV) bei 12 Uhr abgebildet.