

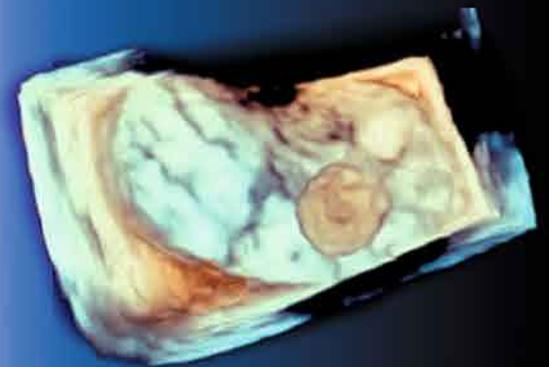
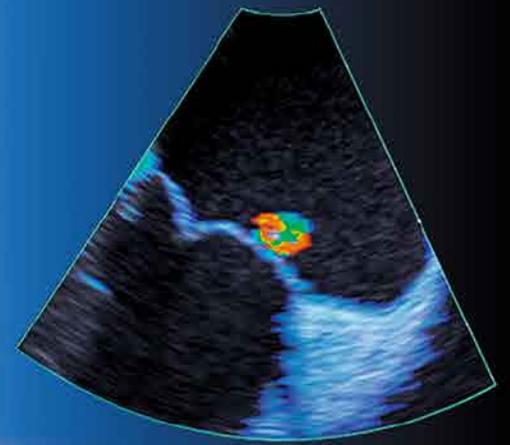
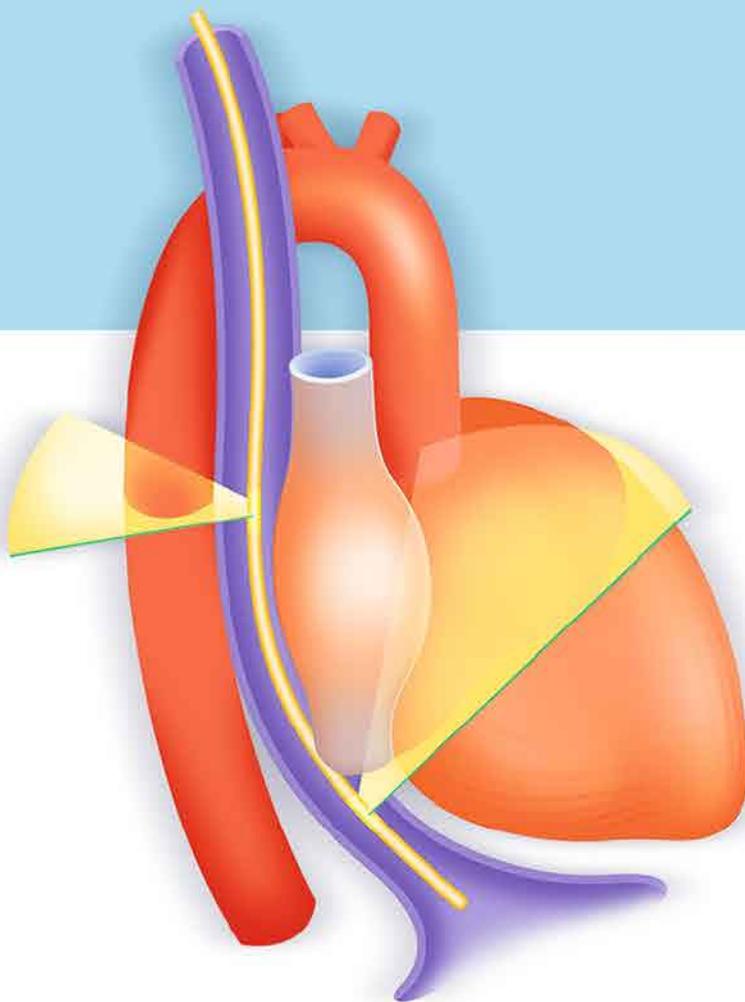
Transösophageale Echokardiografie

Lehrbuch und Atlas zur Untersuchungstechnik und Befundinterpretation

 Online-Version in der eRef

Herausgegeben von
Heinz Lambertz
Harald Lethen

4., unveränderte Auflage



Systematik der transösophagealen Untersuchung

Schallkopfposition	Echoskop Anlotebene *	Anteflexion **	Rotation ***	Dargestellte Anatomie
Magenfundus				
▶ Fundus, kardianah	0°	++	-	LV+RV, kurze Achse
▶ Funduskuppel	90°	++	-	LV, Längsachse
	90°	++	+ 20°	RV, Längsachse
	0°	+++	-	LVOT, Aortenklappe
Unterer Ösophagus				
	0°	+	-	Trikuspidalklappe, Koronarvenensinus
	90°	+	-	LV, Längsachse; Mitralklappenhalteapparat
	90°	+	+ 20°	RV, Längsachse; Trikuspidalklappenhalteapparat
	90°	+	-	
	90°	+++	-	LVOT, Aortenklappe
	0°			Mitralklappenöffnung
Mittlerer Ösophagus				
▶ Mitte des linken Vorhofs	0°	-	-	Vierkammerblick
	0°	+	-	LVOT, Mitralklappe
	0°	- bis +	+ 10°	LA, Vorhofseptum, RA
	0°	++	-	LAA, LOLV
	90°	+	-	LA, LV, Mitralklappe, LAA, LOLV
	90°	+	+ 30°	RA, RAA, VCS, VCI, Vorhofseptum
	90°	+	+ 40°	ROLV, RPA, mediastinale Lymphknoten
▶ oberer linker Vorhof	0°	+	-	Aorta ascendens, VCS, LOLV
	30°-70°	+	-	Aortenklappe, RVOT, TV, PV
	0°-70°	++	-	Linke Koronarien
▶ Vorhofdach bzw. supraatrial	110°-140°	+	-	LVOT, Aortenklappe, Aorta ascendens
	0°	+	-	PA-Stamm
	0°	+	+ 20-30°	RPA, mediastinale Lymphknoten
Zwerchfell bis Aortenbogen				
	0°	+	+ 110°	Aorta descendens
	90°	+	+ 110°	Aorta descendens
	0°	+	+ 90-110°	vorhofnahe paraaortale Lymphknoten
	90°	+	+ 110°	Aortenbogen, linksseitige Halsgefäße
	0°	+	+ 140°	Spinalkanal

* 0° = transverse Anlotung, 90° = sagittale Anlotebene, intermediäre Schnittebenen mit multiplanem Echoskop

** + = leichte, ++ = mäßige, +++ = starke Anteflexion, - = Retroflexion

*** Längsachsenrotation im Uhrzeigersinn

Die Winkelangaben sind Richtgrößen. Je nach Lage des Herzens sind Abweichungen möglich.

Transösophageale Echokardiografie

Lehrbuch und Atlas zur Untersuchungstechnik und Befundinterpretation

Heinz Lambertz
Harald Lethen

Mit Beiträgen von

Thomas Bartel
Raimund Erbel
Frank Arnold Flachskampf
Andreas Franke
Jürgen Graf
Clemens-Alexander Greim
Rainer Hoffmann
Rolf Alexander Jánosi
Uwe Janssens
Stefanie Kuntz-Hehner
Heinz Lambertz

Harald Lethen
Eberhard Mühler
Andreas Niedeggen
Christoph A. Nienaber
Liliya Paranskaya
Björn Plicht
Christian Seiler
Johannes Peter Tries
Manfred Vogt
Dieter Wallmann

4., unveränderte Auflage

1368 Abbildungen

Georg Thieme Verlag
Stuttgart · New York

Impressum

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

- 1. Auflage 2000
- 2. Auflage 2007
- 3. Auflage 2013

Wichtiger Hinweis: Wie jede Wissenschaft ist die Medizin ständigen Entwicklungen unterworfen. Forschung und klinische Erfahrung erweitern unsere Erkenntnisse, insbesondere was Behandlung und medikamentöse Therapie anbelangt. Soweit in diesem Werk eine Dosierung oder eine Applikation erwähnt wird, darf der Leser zwar darauf vertrauen, dass Autoren, Herausgeber und Verlag große Sorgfalt darauf verwandt haben, dass diese Angabe dem Wissensstand bei Fertigstellung des Werkes entspricht. Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag jedoch keine Gewähr übernommen werden. Jeder Benutzer ist angehalten, durch sorgfältige Prüfung der Beipackzettel der verwendeten Präparate und gegebenenfalls nach Konsultation eines Spezialisten festzustellen, ob die dort gegebene Empfehlung für Dosierungen oder die Beachtung von Kontraindikationen gegenüber der Angabe in diesem Buch abweicht. Eine solche Prüfung ist besonders wichtig bei selten verwendeten Präparaten oder solchen, die neu auf den Markt gebracht worden sind. Jede Dosierung oder Applikation erfolgt auf eigene Gefahr des Benutzers. Autoren und Verlag appellieren an jeden Benutzer, ihm etwa auffallende Ungenauigkeiten dem Verlag mitzuteilen.

© 2018 Georg Thieme Verlag KG
Rüdigerstraße 14
70469 Stuttgart
Deutschland
Telefon: +49/(0)711/8931-0
Unsere Homepage: www.thieme.de

Printed in Germany

Zeichnungen: Barbara Gay, Bremen
Umschlaggestaltung: Thieme Verlagsgruppe
Umschlaggrafik: Martina Berge, Bad König
Redaktion: Anne-Kathrin Janetzky, Dresden
Satz: SOMMER media GmbH & Co. KG, Feuchtwangen
gesetzt aus Arbortext APP-Desktop 9.1 Unicode M180
Druck: Aumüller Druck, Regensburg

Geschützte Warennamen (Marken) werden nicht besonders kenntlich gemacht. Aus dem Fehlen eines solchen Hinweises kann also nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt.

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

ISBN 978-3-13-242254-4

1 2 3 4 5 6

Auch erhältlich als E-Book:

eISBN (PDF) 978-3-13-242255-1

eISBN (epub) 978-3-13-242256-8

Geleitwort

In ihrer mehr als 40-jährigen Geschichte hat sich die Echokardiografie zweifelsohne zum wichtigsten diagnostischen Verfahren für den praktisch oder klinisch tätigen Kardiologen entwickelt. Unter den vielfältigen Modalitäten der diagnostischen Anwendung des Ultraschalls am Herzen stellt die transösophageale Echokardiografie eine der wichtigsten Neuentwicklungen in den zurückliegenden zwei Jahrzehnten dar. Durch einen sonografisch weitestgehend ungehinderten Zugang zum Herzen und den großen herznahen Gefäßen über den Ösophagus sind die diagnostischen Möglichkeiten bei einer Vielzahl kardiovaskulärer Erkrankungen und ihren Komplikationen erheblich erweitert worden. Dies hat in den letzten Jahren auch weitreichende Konsequenzen für das therapeutische Management und die Mortalitätssenkung bei bestimmten Krankheitsbildern gehabt.

Obwohl die Idee, das Herz von der Speiseröhre aus anzuloten, primär in Übersee (USA/Japan) geboren wurde, ist es das uneingeschränkte Verdienst der deutschen Kardiologie, die transösophageale Echokardiografie in ihrer heute weltweit gültigen Anwendungsart von der mono- über die bi- bis hin zur multipla-

nen Phased-Array-Ultraschalltechnologie entwickelt und ihr klinisch zum Durchbruch verholfen zu haben. In einer Vielzahl größerer klinischer Studien haben mehrere deutsche Arbeitsgruppen, die zum größten Teil den vorliegenden Lehratlas mitgestalten, den heute unbestrittenen diagnostischen Wert der transösophagealen Echokardiografie begründet und gefestigt.

Als eine Person, welche diese Entwicklung mit initiiert und gestaltet hat, fühle ich mich geehrt, dieses Geleitwort zu verfassen. Ich gratuliere den Herausgebern, dass es ihnen gelungen ist, in diesem Lehratlas durch qualitativ hochwertige Abbildungen, anatomische Skizzen und die beiliegende DVD die komplexen Strukturen des Herzens und der großen Gefäße in ihrer morphologischen und funktionellen Beschaffenheit sowie ihre Beziehungen zueinander darzustellen und dem Leser in prägnanter und gut strukturierter Weise verständlich zu machen.

P. Hanrath, Aachen

Vorwort zur 3. Auflage

Die interessierte große Nachfrage nach der zweiten Auflage des „Lehrbuch der transösophagealen Echokardiografie“ aus dem Jahr 2007 hat uns erneut bewogen, eine Neuedition des Werkes unter Berücksichtigung aktueller Entwicklungstechniken des Verfahrens zu konzipieren. Maßgeblich mitverantwortlich waren hierfür derzeitige Weiterentwicklungen im Bereich der Echtzeit-3D-TEE. Deren klinisch etablierte Anwendung bei der Planung und Durchführung von kathetertechnischen Klappeninterventionen, der endovaskulären Behandlung von Erkrankungen der thorakalen Aorta und dem kathetertechnischen Einbringen von Verschlussystemen ist mittlerweile unumstritten. Die Sicherheit dieser Behandlungsverfahren konnte durch die TEE weiter gefestigt werden.

Dort, wo notwendig, wurden Studienergebnisse aktualisiert, repräsentatives Bildmaterial neu eingebracht bzw. älteres ausgetauscht sowie ein leitlinienkonformes Vorgehen bei der Diagnostik einzelner Erkrankungen berücksichtigt.

Unser Dank gilt an dieser Stelle allen Co-Autoren/-innen, die unseren Anregungen folgend zur Aktualisierung des Werkes beigetragen haben. Nur durch deren Empathie und Tatkraft konnte eine neue Auflage geschaffen werden, die „am Puls der Zeit“ entscheidende neue klinische Einsatzmöglichkeiten des Verfahrens aufzeigt. Herrn Professor Rainer Hoffmann, Herrn Professor Uwe Janssens, Herrn Professor Flachskampf und Herrn Professor Andreas Franke danken wir für die Zurverfügungstellung von Bildmaterial für einige Fälle der beiliegenden DVD.

Des Weiteren gebührt unser Dank Frau Carina Tenzer, Frau Marion Holzer und Herrn Dr. med. A. Brands vom Thieme Verlag Stuttgart für deren redaktionelle Anregung und aktive Unterstützung bei der Realisierung des Projekts.

Wiesbaden,
im September 2012

Heinz Lambertz
Harald Lethen

Vorwort zur 1. Auflage

Der hohe Stellenwert der transösophagealen Echokardiografie in der kardiologischen Diagnostik ist unumstritten; sie hat unser Wissen und pathophysiologisches Verständnis kardialer Erkrankungen substanziell erweitert. Zur Bestätigung oder zum Ausschluss einer Herzklappenendokarditis, bei der kardialen Emboliequellensuche oder in der Notfalldiagnostik einer akuten Aortendissektion ist die transösophageale Echokardiografie das Verfahren der ersten Wahl.

Animiert durch Anregungen von Teilnehmern an Seminaren zur transösophagealen Echokardiografie, die wir seit Jahren in regelmäßigem Turnus anbieten, entstand der Gedanke, einen Lehratlas zur transösophagealen Echokardiografie zu erstellen. Das vorliegende Buch soll als Ergänzung zu den vielerorts angebotenen TEE-Live-Seminaren verstanden werden.

Wir freuen uns, dass wir namhafte Experten zu ausgewählten Kapiteln als Koautoren gewinnen konnten.

Der Lehratlas ist der Versuch, die Möglichkeiten der transösophagealen Echokardiografie in der Diagnostik kardialer Erkrankungen in textlich komprimierter und anschaulicher Form darzustellen. Die wesentlichen Befunde werden in der ausführlichen Bebilderung dargestellt.

Die Kapitel des Buches sind da, wo es möglich erschien, an klinischen Fragestellungen ausgerichtet. Hierbei wird auf die differenzialdiagnostischen Gesichtspunkte der unterschiedlichen Krankheitsbilder und pathomorphologischen Befunde eingegangen. Hilfestellungen zur praktischen Vorgehensweise bei der Diagnosefindung werden, zum Teil in tabellarischer Form, angeboten. Darüber hinaus sind Kapitel zur transösophagealen Ischämiediagnostik, zur 3-D-Rekonstruktion, zum intraoperativen Monitoring und zu kongenitalen Herzerkrankungen enthalten.

Dem in der transösophagealen Echokardiografie unerfahrenen Untersucher werden die Grundlagen der Untersuchung und die Systematik des Untersuchungsablaufes vermittelt. Dem erfahrenen Untersucher kann das Buch als Nachschlagewerk bei der Klärung unklarer Anlotbefunde und zur diagnostischen Abwägung erhobener Einzelbefunde hilfreich sein.

Da Echokardiografie als Methode mit dynamischer Bildinformation nur unzureichend mit Standbildern und Textmaterial alleine vermittelt werden kann, ist die mit dem Buch entwickelte

CD-ROM ein integraler Bestandteil unserer Arbeit gewesen. In zahlreichen Fallbeispielen werden normale und pathologische Befunde sowie Normvarianten und mögliche Fehlerquellen bei der Befundung anhand von digitalen Bildschleifen demonstriert. Den Bildschleifen wurden unbeschriftete und beschriftete Standbilder zugeordnet, um so dem weniger geübten Befunder die Erkennung der dargestellten anatomischen Strukturen und etwaiger Pathologien zu erleichtern. Jede Bildschleife bzw. jedes Standbild ist zudem mit einer ausführlichen Legende versehen, die neben Informationen zur Untersuchungstechnik (Beschallungsfrequenz, Anlotebene) ausführliche Hinweise zur Befundinterpretation beinhaltet. Analog zu den Buchkapiteln sind auch die Fallbeispiele der CD-ROM zusammengefasst. Eine Inhaltsangabe und ein Register sind integriert und erleichtern die Arbeit mit der CD-ROM. Ebenso enthält das Register des Lehratlasses Querverweise zur CD-ROM.

Unser besonderer Dank gilt Frau Dr. med. Sandra Erz, Frau Dr. med. Renate Michel und Herrn Dr. med. Hans-Peter Tries für die didaktisch gekonnte Aufzeichnung der transösophagealen Echokardiografien auf digitale Datenträger und deren Nachverarbeitung sowie ihren Einsatz bei der Zusammenstellung des Bildmaterials für die CD-ROM. Erst die redaktionelle Hilfe von Herrn Dr. med. Okan Ekinici ermöglichte es, die eigenen Buchbeiträge in der vorliegenden Form zu verfassen und die CD-ROM zu erstellen.

Unser Dank gilt weiterhin den Mitarbeiterinnen unseres Ultraschallabors, Frau Inge Hoffmann-Ritter, Frau Dorothea Kuhl und Frau Gudrun Menk. Durch ihre Assistenz während der Durchführung der transösophagealen Echokardiografien sowie bei der Archivverwaltung der Untersuchungen haben sie uns große Dienste erwiesen.

Besonderer Dank gilt Frau Dr. med. Antje Schönplüg, Herrn Karl-Heinz Fleischmann, Herrn Dr. med. Markus Becker und ihren Mitarbeitern beim Thieme Verlag für ihre Anregungen, Ideen und ihr Verständnis bei der Umsetzung unserer Vorstellungen sowie den Mitarbeitern der Dr. Carl GmbH bei der umsichtigen Planung und qualifizierten Realisation der CD-ROM. Schließlich danken wir Herrn Dr. med. Uwe Janssens, der uns Bildmaterial für einige Fälle der CD-ROM zur Verfügung stellte.

Wiesbaden, im September 2000

Heinz Lambertz
Harald Lethen

Anschriften

Herausgeber

Lambertz, Heinz, Prof. Dr. Dr. med.
ECHOEDUCT-Akademie
Juliusstr. 4a
65189 Wiesbaden

Lethen, Harald, Dr. med.
Innere Medizin/Kardiologie
Internistische Intensivmedizin
Nerotol 11a
65193 Wiesbaden

Mitarbeiter

Bartel, Thomas, Priv.-Doz. Dr. med.
Universitätsklinikum für Innere Medizin
Abteilung Kardiologie
Anichstr. 35
6020 Innsbruck, ÖSTERREICH

Erbel, Raimund, Univ.-Prof. Dr. med.
Westdeutsches Herzzentrum Essen
Klinik für Kardiologie
Universitätsklinikum Essen
Hufelandstr. 55
45122 Essen

Flachskampf, Frank Arnold, Prof. Dr. med.
Akademiska sjukhuset
Cardiology
Uppsala University
SE-75185 UPPSALA
SCHWEDEN

Franke, Andreas, Prof. Dr. med.
Krankenhaus Siloah-Klinikum
Medizinische Klinik II
Roesebeckstr. 15
30449 Hannover

Graf, Jürgen, Prof. Dr. med.
Deutsche Lufthansa AG
Med. Dienst Lufthansa
Lufthansa Basis Tor 21
Bertha-von-Suttner-Weg 13
35396 Gießen

Greim, Clemens-A., Prof. Dr. med.
Klinik für Anästhesiologie, Intensiv- und Notfallmedizin
Klinikum Fulda gAG
Pacelliallee 4
36043 Fulda

Hoffmann, Rainer, Prof. Dr. med.
Universitätsklinikum der RWTH Aachen
Klinik für Kardiologie
Medizinische Klinik I
Pauwelsstraße 30
52057 Aachen

Jánosi, Rolf Alexander, Dr. med.
Westdeutsches Herzzentrum Essen
Klinik für Kardiologie
Universitätsklinikum Essen
Hufelandstr. 55
45122 Essen

Janssens, Uwe, Prof. Dr. med.
St.-Antonius-Hospital
Innere Medizin
Dechant-Deckers-Str. 8
52249 Eschweiler

Kuntz-Hehner, Stefanie, Dr. med.
HELIOS Klinikum Wuppertal – Herzzentrum
Medizinische Klinik 3 – Kardiologie
Klinik der Universität Witten/Herdecke
Arrenberger Str. 20
42117 Wuppertal

Mühler, Eberhard, Prof. Dr. med.
Universitätsklinikum der RWTH Aachen
Klinik für Kinderkardiologie
Pauwelsstr. 30
52057 Aachen

Niedeggen, Andreas, Dr. med.
St.-Antonius-Hospital
Klinik für Innere Medizin
Dechant-Deckers-Str. 8
52249 Eschweiler

Nienaber, Christoph A., Prof. Dr. med.
Universitätsmedizin Rostock
Klinik und Poliklinik für Innere Medizin
Abteilung für Kardiologie
Ernst-Heydemann-Str. 6
18057 Rostock

Paranskaya, Liliya, Dr. med.
Universitätsmedizin Rostock
Klinik und Poliklinik für Innere Medizin
Abteilung für Kardiologie
Ernst-Heydemann-Str. 6
18057 Rostock

Plicht, Björn, Dr. med.
Westdeutsches Herzzentrum Essen
Klinik für Kardiologie
Universitätsklinikum Essen
Hufelandstr. 55
45122 Essen

Seiler, Christian, Prof. Dr. med.
Universitätsklinik, Inselspital
Schweizer Herz- und Gefäßzentrum Bern
Klinik und Poliklinik für Kardiologie
3010 BERN
SCHWEIZ

Tries, Johannes Peter, Dr. med.
Deutsche Klinik für Diagnostik
Fachbereich Kardiologie
Aukammallee 33
65195 Wiesbaden

Vogt, Manfred, Priv.-Doz. Dr. med.
Deutsches Herzzentrum München
Klinik für Kinderkardiologie und angeborene Herzfehler
Lazarettstr. 36
80636 München

Wallmann, Dieter, Dr. med.
Alpenstrasse 14
3400 BURGDORF
SCHWEIZ

Häufig verwandte Abkürzungen

A. Car.	Arteria carotis communis	MK/MV	Mitralklappe
A. CFX	Arteria circumflexa	MÖFL	Mitralöffnungsfläche
A. subcl.	Arteria subclavia	MRT	Magnetresonanztomografie
Abb.	Abbildung	NC	nichtkoronartragende Aortentasche
AI	Aorteninsuffizienz	PA	Pulmonalarterienstamm
ALK	anterolaterale Mitralkommissur	PAU	penetrierendes Aortenulkus
AML/AMS	anteriores Mitralsegel	PDA	persistierender Ductus arteriosus
AO	Aorta bzw. Aortenklappe	PE	Perikarderguss
AoA/AO	asc. Aorta ascendens	PEEP	positiver endexpiratorischer Druck
AOB	Aortenbogen	PFO	offenes Foramen ovale
AOD/AO	desc. Aorta descendens	PISA	Proximal IsovLOCITY Surface Area
AOKö/AÖF	Aortenklappenöffnungsfläche	PK	Pulmonalklappe
AOV/AV	Aortenklappe	PLE	Pleuraerguss
ASD	Vorhofseptumdefekt	PLK	posterolaterale Mitralkommissur
AV-	Atrioventrikular-	PM	Papillarmuskel bzw. Schrittmacherelektrode
CT	Computertomografie	PML/PMS	posteriores Mitralsegel
CT	Chordae tendineae	PV	Lungenvene
CVS	Koronarvenensinus	R	retrograd
D/Diast.	Diastole	RA	rechter Vorhof
DGHM	Deutsche Gesellschaft für Hygiene in der Medizin	RAA	rechtes Herzohr
DICOM	Digital imaging and communication in medicine	RC	rechtskoronartragende Aortentasche
DIV	Discus intervertebralis	RCA	rechte Koronararterie
ED	enddiastolisch	RCX	Ramus circumflexus
EKG	Elektrokardiogramm	ROLV	rechte obere Lungenvene
ES	endsystolisch	RPA	rechte Pulmonalarterie
EX	expiratorisch	RULV	rechte untere Lungenvene
FL	falsches Lumen	RVOT	rechtsventrikulärer Ausflusstrakt
FO	Foramen ovale	S/Syst.	Systole
H	Lebergewebe	SGI	Stent-Graft Implantation
HW	Hinterwand des linken Ventrikels	SO	Sinus obliquus
IAS	Vorhofseptum	SVA	Sinus Valsava Aneurysma
ICE	intrakardiale Echokardiografie	Tab.	Tabelle
IMH	intramurales Aortenhämatom	TAVI	Perkutaner Aortenklappenersatz
INSP	Inspiratorisch	TBC	Truncus brachiocephalicus
IPAI	intraluminal phased-array imaging	TEE	Transösophageale Echokardiografie
IVS	Kammerseptum	TH	Thrombus
LA	linker Vorhof	TI	Trikuspidalinsuffizienz
LAA	linkes Herzohr	TK	Trikuspidalklappe
LAD	Ramus interventricularis anterior	TL	wahres Lumen
LC	linkskoronartragende Aortentasche	TR	Trikuspidalklappe bzw. Trikuspidalregurgitation
LCA	Arteria carotis communis sinistra	TTE	Transthorakale Echokardiografie
LCX	Ramus circumflexus	TV	Trikuspidalklappe
LMA	linker Hauptstamm	V.	CFX Vena circumflexa
LOLV	linke obere Lungenvene	VCI	untere Hohlvene
LPA	linke Pulmonalarterie	VCS	obere Hohlvene
LSCA	linke Arteria subclavia	VEG	endokarditische Vegetation
LULV	linke untere Lungenvene	VSD	Ventrikelseptumdefekt
LUPV	linke obere Lungenvene	VW	Vorderwand des linken Ventrikels
LV	linker Ventrikel	ZVD	zentraler Venendruck
LVOT	linksventrikulärer Ausflusstrakt		
LW	Lateralwand des linken Ventrikels		
MI	Mitralinsuffizienz		

Seltene verwandte Abkürzungen werden in der jeweiligen Legende erklärt.

Inhaltsverzeichnis

1	Entwicklung der transösophagealen Echokardiografie, technische Fortschritte	19
	<i>H. Lambertz</i>	
1.1	Geschichtliche Entwicklung	19
1.2	Entwicklungen der Schallkopftechnologie	22
1.3	Charakteristischer Sondenaufbau	24
1.4	Transösophageale Farbdoppler-Echokardiografie	24
1.5	Dreidimensionale Rekonstruktion	25
1.6	Echtzeit-3D-TEE	26
2	Indikationen und Kontraindikationen der transösophagealen Echokardiografie	29
	<i>H. Lethen</i>	
2.1	Indikationen der transösophagealen Echokardiografie	29
2.2	Kontraindikationen	30
2.3	Nebenwirkungen und Komplikationen	30
2.4	Resümee	35
3	Systematik des Untersuchungsablaufs	36
	<i>H. Lambertz</i>	
3.1	Untersucher, Ausrüstung und Vorbereitung	36
3.1.1	Qualifikation des Untersuchers	36
3.1.2	Apparative Ausrüstung	38
3.1.3	Aufklärung und Medikation	40
3.2	Normaler Untersuchungsablauf	41
3.2.1	Einführen des Echoskops	41
3.2.2	Dokumentation und Archivierung	43
3.2.3	Nachbetreuung	43
3.2.4	Erforderlicher Zeitaufwand	43
3.2.5	Systematik der Anlotung	43
3.3	Systematik der Schnittebenendarstellung	46
3.3.1	Transgastrische Schnittführung	46
3.3.2	Schnittführung aus dem unteren Ösophagus	49
3.3.3	Schnittführung aus dem mittleren Ösophagus	53
3.3.4	Darstellung der thorakalen Aorta und des Rückenmarks	72
3.4	Quantitative TEE – Größenbestimmung der Herzhöhlen	78
3.4.1	Linker Ventrikel – Durchmesser- und Wanddickenbestimmung	78
3.4.2	Linker Vorhof – Größenabschätzung	79
3.4.3	Rechter Ventrikel und Ausflusstrakt – Durchmesserbestimmung	79
3.4.4	Aorta ascendens – Durchmesserbestimmung	81
4	Herzklappen und Klappenprothesen	82
	<i>F. A. Flachskampf</i>	
4.1	Native Herzklappen	82
4.1.1	Indikationen der TEE	82
4.1.2	Mitralklappe	82
4.1.3	Aortenklappe	91
4.1.4	Trikuspidalklappe	99
4.1.5	Pulmonalklappe	101
4.2	Herzklappenprothesen	103
4.2.1	Schwierigkeiten der Echokardiografie	103
4.2.2	Häufig verwendete Klappenprothesentypen	103
4.2.3	Untersuchungsgang	103
4.2.4	Mitralprothesen	104
4.2.5	Aortenprothesen	107
4.2.6	Trikuspidalprothesen	108
4.2.7	Pulmonaler Homograft (Ross-Operation)	109
4.3	Welche Befunde müssen bei der Untersuchung einer Herzklappenprothese erhoben werden? .	109
4.4	Interventionelle Behandlung der Mitralklappenstenose und rekonstruktive Mitralklappenchirurgie	115

5	Mitral- und Aortenvalvuloplastie, TAVI und interventionelle Behandlung der Mitralinsuffizienz	119
	<i>R. Hoffmann</i>	
5.1	Mitralvalvuloplastie	119
5.1.1	Indikation zur Mitralklappenvalvuloplastie	119
5.1.2	Echokardiografie vor Mitralklappenvalvuloplastie	119
5.1.3	Echokardiografie während Ballonvalvuloplastie	121
5.1.4	Echokardiografie nach Mitralklappenvalvuloplastie	121
5.2	Aortenvalvuloplastie	122
5.2.1	TTE und TEE vor Aortenvalvuloplastie	122
5.2.2	TEE während Aortenvalvuloplastie	123
5.2.3	Echokardiografie nach Aortenvalvuloplastie	123
5.3	Transcatheter aortic Valve Implantation (TAVI) bei Aortenstenose	123
5.3.1	Echokardiografie vor TAVI	124
5.3.2	TEE während TAVI	125
5.3.3	Echokardiografie nach TAVI	127
5.4	Interventionelle Behandlung der Mitralinsuffizienz	127
5.4.1	Echokardiografie bei Mitralanuloplastie	127
5.4.2	Echokardiografie bei Mitraclip-Prozedur	127
6	Infektiöse Endokarditis	133
	<i>H. Lethen</i>	
6.1	Definition	133
6.2	Inzidenz der IE	133
6.3	Klassifizierung der IE	133
6.4	Endokarditisprophylaxe	133
6.4.1	Prophylaxe bei medizinischen Eingriffen	134
6.5	Pathogenese der infektiösen Endokarditis	135
6.6	Klinisches Bild und Diagnostik der infektiösen Endokarditis	135
6.6.1	Klinische Präsentation der IE	135
6.6.2	Verlaufsformen der infektiösen Endokarditis	137
6.6.3	Diagnostische Kriterien	138
6.6.4	Echokardiografische Diagnostik	140
6.6.5	Echokardiografische (Verlaufs-)Beurteilung der endokarditischen Vegetation	141
6.7	Komplikationen der infektiösen Endokarditis, Operationsindikationen	144
6.8	Mitralklappenendokarditis	146
6.9	Aortenklappenendokarditis	150
6.10	Trikuspidalklappenendokarditis	154
6.11	Pulmonalklappenendokarditis	155
6.12	Endokarditis prothetischer Herzklappen	155
6.13	Pilzendokarditis	158
7	Einstrom- und Ausflussbahnobstruktionen des linken und rechten Herzens	165
	<i>H. Lambertz</i>	
7.1	Einstrombehinderungen des linken Herzens	165
7.1.1	Erworbene Mitralstenose	165
7.1.2	Kongenitale Mitralstenose	165
7.1.3	Cor triatriatum sinistrum	165
7.1.4	Verlegung des Mitraltrichters durch Tumore oder Thromben	168
7.1.5	Lungenvenenstenose nach Ablationstherapie von Vorhofflimmern	168
7.1.6	Lungenvenenkompression	169
7.2	Ausflussbahnobstruktionen des linken Ventrikels	169
7.2.1	Hypertrophe obstruktive Kardiomyopathie	170
7.2.2	Fibromuskuläre subvalvuläre Aortenstenose	172
7.2.3	Verlegung der linksventrikulären Ausflussbahn durch Tumore oder Blutzysten	175
7.3	Einstrom- und Ausflussbahnbehinderung des rechten Herzens	179
7.3.1	Cor triatriatum dextrum	179
8	Erkrankungen der thorakalen Aorta	181
	<i>B. Plicht, R. A. Jánosi, S. Kuntz-Hehner, R. Erbel</i>	
8.1	Untersuchung der thorakalen Aorta mittels TEE	181
8.2	Aortensklerose	181
8.3	Sinus-Valsalvae-Aneurysma	183
8.4	Ektasie und Aneurysmata der thorakalen Aorta	185
8.5	Aortendissektion	188
8.5.1	Klassische Aortendissektion (Klasse-1-Dissektion)	189
8.5.2	Intramurales Hämatom/intramurale Hämorrhagie der Aorta (Klasse-2-Dissektion)	196

8.5.3	Umschriebene Dissektion (Klasse-3-Dissektion) ...	197	8.6	Aneurysma spurium/Aortenruptur	200
8.5.4	Penetrierendes Ulkus der Aorta (Klasse-4-Dissektion)	197	8.7	Diagnostische Wertigkeit der unterschiedlichen Untersuchungstechniken	201
8.5.5	Traumatische/iatrogene Dissektion (Klasse-5-Dissektion)	200			
9	Unklare Rechtsherzvergrößerung	204			
	<i>H. Lambertz</i>				
9.1	Darstellung der Trikuspidalklappe und des rechten Herzens	204	9.2.4	Thrombotische/tumoröse Obliteration der V. cava superior	214
9.1.1	Anatomie der Trikuspidalklappe	204	9.2.5	Ausflussbahnobstruktion des rechten Ventrikels ..	214
9.1.2	Abschätzung einer pulmonalen Hypertonie	206	9.3	Kongenitale und erworbene Shuntvitien mit rechtsventrikulärer Volumenbelastung	215
9.1.3	Subvalvulärer Halteapparat	208	9.3.1	Erworbene Shuntvitien	215
9.2	Erkrankungen der rechtsseitigen Herzklappen und des rechten Ventrikels	208	9.3.2	Kongenitale Shuntvitien	215
9.2.1	Anlageanomalie der rechtsseitigen Herzklappen ..	208	9.4	Idiopathische pulmonalarterielle Hypertonie ..	222
9.2.2	Ultrastrukturelle Läsionen des rechten Ventrikels .	209			
9.2.3	Rechtsatriale/-ventrikuläre Zusatzstrukturen	213			
10	Lungenembolie, akute Infarkt komplikationen	226			
	<i>A. Niedeggen, J. Graf, U. Janssens</i>				
10.1	Einsatz der Echokardiografie	226	10.4	Mechanische Komplikationen des akuten Myokardinfarkts	236
10.2	Untersuchung	226	10.4.1	Ventrikelseptumruptur	237
10.3	Lungenembolie	227	10.4.2	Ruptur der freien Ventrikelwand	239
10.3.1	Inzidenz und Prognose	227	10.4.3	Akute Papillarmuskeleruptur	243
10.3.2	Pathophysiologie	228	10.4.4	Intramurales Hämatom nach Koronararterienruptur	244
10.3.3	Echokardiografische Diagnostik der Lungenembolie	228			
10.3.4	Zusammenfassung	231			
11	TEE bei Anästhesie und perioperativer Intensivmedizin	248			
	<i>C.-A. Greim</i>				
11.1	Stellenwert der Echokardiografie	248	11.3	Indikationen und Durchführung	250
11.2	Technische Fortschritte	249	11.3.1	Operative Intensivmedizin	251
11.2.1	Portable TEE-Geräte	249	11.3.2	Intraoperative Überwachung	254
11.2.2	Miniaturisierte Echoskope	249	11.4	Ausblick	255
12	Kardiale Emboliequellen	256			
	<i>H. Lethen</i>				
12.1	Arterielle Embolien	256	12.2.6	Erkrankungen der Aortenklappe	280
12.2	Ursachen kardialer Embolien	256	12.2.7	Endokarditis	280
12.2.1	Kardiale Emboliequellen – Übersicht	256	12.2.8	Linksventrikuläre Thromben	281
12.2.2	Darstellung mittels TEE	257	12.2.9	Kardiale Tumoren	282
12.2.3	Vorhofflimmern, linksatriale Thromben	259	12.2.10	Rechtsatriale Thromben	282
12.2.4	Paradoxe Kreislaufembolien	265	12.2.11	Atherome der thorakalen Aorta	285
12.2.5	Erkrankungen der Mitralklappe	277	12.2.12	Entzündliche Erkrankungen des Aortenbogens ...	287

13	Herztumoren, mediastinale Lymphknoten	292
	<i>H. Lambertz</i>	
13.1	Herztumoren	292
13.1.1	Primäre Herztumoren	293
13.1.2	Sekundäre Herztumoren, Metastasen	306
13.1.3	Hypereosinophilie-Syndrom	307
13.1.4	Herztumoren – Anforderungen an die Echokardiografie	307
13.2	Mediastinale Lymphknoten	308
13.2.1	Nachweis und Morphologie	311
14	Perikarderkrankungen	315
	<i>D. Wallmann, C. Seiler</i>	
14.1	Anwendungsgebiete der TEE	315
14.2	Perikarderguss/Perikardtamponade	315
14.2.1	Anatomie des Perikards	315
14.2.2	Flüssigkeitsmenge	316
14.2.3	Hämodynamik	317
14.2.4	Unterscheidung Perikarderguss und Pleuraerguss ..	319
14.2.5	Echokardiografisch kontrollierte Perikardpunktion	319
14.3	Konstriktive Perikarditis	320
14.3.1	Hämodynamik	321
14.3.2	Diagnostische Probleme	326
14.4	Restriktive Kardiomyopathie vs. konstriktive Perikarditis	326
14.4.1	Pathophysiologie	326
14.4.2	Hämodynamik	327
14.4.3	Diagnostisches Vorgehen	329
14.5	Perikardzysten	331
15	Kongenitale Herzerkrankungen im Kindes- und Erwachsenenalter	333
	<i>E. Mühler, A. Franke</i>	
15.1	Einsatz der Echokardiografie	333
15.1.1	Geschichtliche Entwicklung	333
15.1.2	Transösophageale Echokardiografie im Kindesalter	333
15.1.3	Transösophageale Echokardiografie im Erwachsenenalter	334
15.2	Untersuchungstechnik bei angeborenen Herzfehlern	335
15.2.1	Vorbereitung zur Untersuchung	335
15.2.2	Untersuchungsgang	335
15.3	TEE-Befunde bei angeborenen Herzfehlern	336
15.3.1	Atrialer Situs, Vorhöfe	336
15.3.2	System- und Lungenvenen	338
15.3.3	Vorhofseptum	338
15.3.4	Atrioventrikuläre Verbindung und AV-Klappen ...	339
15.3.5	Ventrikelseptum	343
15.3.6	Linksventrikulärer Ausflusstrakt und Aorta ascendens	345
15.3.7	Rechtsventrikulärer Ausflusstrakt und Pulmonalarterie	346
15.3.8	Anomalien der Koronararterien	347
15.3.9	Offener Ductus arteriosus	347
15.3.10	Aortenisthmus	348
15.3.11	Komplexe Herzfehler	349
15.4	TEE bei interventioneller Herzkatheteruntersuchung	351
16	Katheterinterventionen und Herzklappenrekonstruktion	355
	<i>L. Paranskaya, C. A. Nienaber</i>	
16.1	Patientenvorbereitung und Platzierung des Echoskops	355
16.2	TEE bei der Aorten-Stentgraft-Implantation	355
16.2.1	Stentgraft-Implantation bei Typ-B-Aortendissektion	357
16.2.2	Stentgraft-Implantation bei Aneurysma verum, penetrierendem Aortenulkus, Transsektion der Aorta oder Aortenisthmusstenose	358
16.3	Interventioneller Verschluss von interatrialen Kommunikationen	358
16.3.1	Interventioneller Verschluss des Vorhofseptumdefekts vom Secundum-Typ	359
16.3.2	Interventioneller Verschluss des offenen Foramen ovale (PFO)	361
16.4	Interventioneller Verschluss des Ventrikelseptumdefekts (VSD)	362
16.5	Interventioneller Verschluss des persistierenden Ductus arteriosus	363
16.6	Interventioneller Verschluss des linken Herzohres	363
16.7	Perkutaner Aortenklappenersatz (TAVI)	365

16.8	Interventionelle Therapie der Mitralklappeninsuffizienz	367	16.10	Intraoperative TEE bei Mitralklappenchirurgie .	371
16.8.1	„Edge-to-Edge“-Technik	367	16.11	Intraoperative TEE im Rahmen der Aortenklappenchirurgie	372
16.8.2	Perkutane Mitralklappenanuloplastie	370			
16.9	Interventioneller Verschluss einer paravalvulären Leckage	370			
17	Chirurgisch korrigierte kongenitale Vitien	375			
	<i>M. Vogt</i>				
17.1	Operationen im Bereich des Vorhofseptums ...	376	17.7	Ausflussbahnobstruktion des linken Ventrikels	384
17.2	Operationen im Bereich der Lungenvenen	376	17.8	Morbus Ebstein – chirurgische Verfahren	385
17.3	Obstruktionen im Bereich der Vorhöfe	377	17.9	Kreislauftrennung nach dem „Fontan-Prinzip“ .	387
17.4	Chirurgische Korrektur eines AV-Septumdefekts	378	17.10	Transposition der großen Arterien – Vorhofumkehroperation nach Mustard/Senning	389
17.5	Korrektur eines Ventrikelseptumdefekts	380			
17.6	Korrektur eines VSD mit Ausflussbahnobstruktion im RV	382			
18	Intrakavitäre versus transösophageale Echokardiografie	394			
	<i>T. Bartel</i>				
18.1	Technik und Durchführung der intrakavitären Echokardiografie	394	18.3.3	Hochfrequenzablation bei Vorhofflimmern	401
18.2	Systematik der intrakavitären Anlottechnik	395	18.3.4	Monitoring der perkutanen transluminalen Septalablation (PTSMA)	402
18.3	Klinischer Einsatz der intrakavitären Echokardiografie	397	18.3.5	Perioperative und periinterventionelle Bildgebung der Aorta und der Aortenklappe	402
18.3.1	Verschluss interatrialer Kommunikationen	398	18.3.6	Periinterventionelle Bildgebung der Mitralklappe .	404
18.3.2	Perkutaner Verschluss des linken Herzohres	400	18.4	Limitationen und Schlussfolgerungen	405
19	Dreidimensionale TEE	407			
	<i>A. Franke</i>				
19.1	Technische Grundlagen	407	19.4	Klinische Einsatzgebiete	416
19.1.1	Aufnahmetechnik der Echtzeit-3D-Echokardiografie	407	19.4.1	Mitral- und Aortenklappenitien	416
19.1.2	Aufnahmemodalitäten und -formate	408	19.4.2	Angeborene Herzfehler	417
19.2	Prinzipien der Datennachverarbeitung	409	19.4.3	Interventionelle Elektrophysiologie	420
19.2.1	Morphologische Beurteilung	409	19.5	Limitationen	425
19.2.2	Quantitative Auswertung	411	19.6	Perspektiven/Ausblick	426
19.3	3D-Farbdopplerechokardiografie	413	19.7	Zusammenfassung	426
20	Koronardiagnostik	428			
	<i>J. P. Tries</i>				
20.1	Einführung	428	20.2.2	Rechte Koronararterie	430
20.2	Normale Abgangs-anatomie der Koronararterien	428	20.3	Koronaranomalien	431
20.2.1	Linke Koronararterie	428	20.3.1	Abgangs- und Verlaufsanomalien aortalen Ursprungs	434

20.3.2	Abgangs- und Verlaufsanomalien pulmonalen Ursprungs	434	20.3.5	Koronarstenosen und -atresien	437
20.3.3	Anormer Abgang der linken Koronararterie aus dem Pulmonalisstamm (ALCAPA)	435	20.4	Koronardiagnostik im Rahmen einer koronaren Herzerkrankung	439
20.3.4	Arteriovenöse Koronarfisteln	435			
21	Ischämie- und Vitalitätsdiagnostik	444			
	<i>R. Hoffmann</i>				
21.1	Einsatz der Belastungsechokardiografie bei koronarer Herzkrankheit	444	21.3.1	Stenosen der KoronargefäÙe	448
21.1.1	Untersuchungstechnik der transösophagealen Belastungsechokardiografie	444	21.3.2	Analyse der Pulmonalvenenflüsse als Marker myokardialer Ischämie	449
21.1.2	Unterschiedliche Belastungsverfahren	446	21.3.3	Doppleranalyse der koronaren Flussreserve	450
21.2	Diagnostische Genauigkeit	448	21.3.4	Erkennung myokardialer Vitalität	452
21.3	Spezielle Einsatzbereiche der transösophagealen Belastungsechokardiografie	448	21.4	Schlussfolgerungen	453
	Sachverzeichnis	454			

Online verfügbares Zusatzmaterial

1 Standardisierte Anlottechnik

- 01 Transgastrische Anlotung
- 02 Anlotung aus dem unteren Ösophagus
- 03 Mittlerer Ösophagus I
- 04 Mittlerer Ösophagus II
- 05 Mittlerer Ösophagus III
- 06 Mittlerer Ösophagus IV

2 Anatomische Normvarianten

- 07 Eustachi-Klappe
- 08 Pectus excavatum
- 09 Chiari-Netz
- 10 Christa terminalis
- 11 V. brachiocephalica (V. anonyma)
- 12 Lebervenenfehlkonnektion in den rechten Vorhof

3 Native und prothetische Herzklappen

- 13 Mitralingverkalkung
- 14 Rheumatische Mitralkstenose
- 15 Mitralsuffizienz bei Sehnenfadenruptur
- 16 Schwere Mitralsuffizienz – „Flail leaflet“ (I)
- 17 Schwere Mitralsuffizienz – „Flail leaflet“ (II)
- 18 Schwere Mitralsuffizienz – „Flail leaflet“ (III)
- 19 Aortenklappe – Normalbefund/Klappensklerose
- 20 Lambli-Exkreszenz
- 21 Aortenstenose – valvulär
- 22 Aorteninsuffizienz – leichtgradig
- 23 Aorteninsuffizienz – mäßiggradig
- 24 Trikuspidalprolaps
- 25 Mitralkonstruktion
- 26 Mitralklappenrekonstruktion – Normalbefund
- 27 Mitralklappenrekonstruktion – Paravalvuläres Leck
- 28 Mitralklappenprothese – Insuffizienz
- 29 Aortenklappenprothese – Starr-Edwards
- 30 Aortenklappenprothese – Perikardprothese
- 31 Aortenklappenprothese – atypische Implantation

4 Endokarditis

- 32 Mitralklappenendokarditis
- 33 Mitralklappenendokarditis – Segelprolaps
- 34 Mitralklappenendokarditis – Kontaktläsion
- 35 Prothesenendokarditis – Bioprothese
- 36 Aortenklappenendokarditis – Taschenperforation
- 37 Aortenklappenendokarditis – Abszessbildung bei Klappenbikuspidie
- 38 Aortenklappenprothese – Abszessbildung (I)
- 39 Aortenklappenprothese – Abszessbildung (II)
- 40 Candidasepsis

5 Kardiale Emboliequelle

- 41 Echospontankontrast – leicht, mittelgradig, schwer
- 42 Linkes Herzohr – Thrombus (I)
- 43 Linkes Herzohr – Thrombus (II)
- 44 Linkes Herzohr – Trabekel
- 45 Rechter Vorhof – Thrombus (I)
- 46 Rechter Vorhof – Thrombus (II)
- 47 Rechter Vorhof – Schrittmacherthrombus
- 48 Rechter Ventrikel – Thrombus bei Koagulopathie
- 49 Mitralingverkalkung – Thrombotische Auflagerung
- 50 Myxom, linksatrial – villös
- 51 Myxom, linksatrial – polypös
- 52 Myxom, linksatrial – mobil
- 53 Myxom, rechtsatrial – polypös
- 54 Offenes Foramen ovale – Diagnostik
- 55 Offenes Foramen ovale – Schweregrade
- 56 Vorhofseptumaneurysma
- 57 Vorhofseptumaneurysma und ASD II – Okkluderverschluss

6 Erkrankungen der thorakalen Aorta

- 58 Aortenatherome – Aortenbogen und Aorta descendens
- 59 Aortenatherom – Aorta descendens
- 60 Pseudoaneurysma des Aortenbogens, teilthrombosiert
- 61 Aortendissektion – Typ I nach DeBakey
- 62 Aortendissektion – chronisch, Typ II nach DeBakey
- 63 Aortendissektion – Typ III nach DeBakey
- 64 Artefakt in der Aorta ascendens – V.a. Aortendissektion

7 Akute Infarktkomplikation und Lungenembolie

- 65 Myokardinfarkt – Papillarmuskelkopfruptur/Pseudoaneurysma
- 66 Myokardinfarkt – Papillarmuskelruptur
- 67 Vorderwandmyokardinfarkt – Ventrikelseptumruptur
- 68 Myokardinfarkt – Ventrikelruptur
- 69 Lungenembolie

8 Kongenitale Vitien und Rechtsherzvergrößerung

- 70 Atrioventrikulärer Septumdefekt (I)
- 71 Atrioventrikulärer Septumdefekt (II)
- 72 Vorhofseptumdefekt – Multiple Fenestrationen
- 73 Vorhofseptumdefekt – Patchverschluss
- 74 Vorhofseptumdefekt – Sinus-venosus-Defekt, Lungenvenenfehlkonnektion
- 75 Ventrikelseptumdefekt – Aortenklappenendokarditis
- 76 Aortenklappenbikuspidie
- 77 Lungenvenenfehlkonnektion – isoliert
- 78 Persistierende linke obere Hohlvene
- 79 Ductus arteriosus apertus (offener Ductus botalli)
- 80 Aortenisthmusstenose
- 81 Ebstein-Malformation

9 Ein- und Ausflussbahnobstruktionen

- 82 Cor triatriatum sinistrum
- 83 Aortenstenose – fibromuskulär, subvalvulär
- 84 „SAM“ bei linksventrikulärer Hypertrophie
- 85 Extrakardialer Tumor – Hamartochondrom der rechtsseitigen Lungenwurzel

10 Perikarderkrankungen

- 86 Perikarderguss

11 Koronardiagnostik

- 87 Linke Koronararterie – normaler/ektoper Abgang
- 88 Rechte Koronararterie
- 89 Transösophageale Stressechokardiographie – Vitalitätsdiagnostik

12 Mediastinale Lymphknoten

- 90 Non-Hodgkin-Lymphom TTE
- 91 Non-Hodgkin-Lymphom TEE

13 3D-TEE

- 92 Pyramidales 3D-Daten-Segment
- 93 Chirurgischer Blick auf die Mitralklappe: „Flail leaflet“
- 94 Chirurgischer Blick auf die Mitralklappe: Prolaps
- 95 Komplexer Mitralklappenprolaps bei ausgeprägt myxomatös veränderter Klappe
- 96 Sondierungsversuch der Pulmonalvene mittels Austauschdraht
- 97 Okkluderimplantation bei ASD II
- 98 Paraprothetische Abszesshöhlen
- 99 St. Jude-Klappe in Mitralisposition
- 100 Teilthrombosierte degenerierte Mitralklappenbioprothese
- 14 TEE-gesteuerte Mitral- und Aortenklappen-Intervention
- 101 Mitralklappenvalvuloplastie
- 102 Mitraclip bei funktioneller Mitralinsuffizienz (I)
- 103 2-faches Mitraclipping bei funktioneller Mitralinsuffizienz (II)
- 104 Mitraclip bei „Flail Leaflet“
- 105 TAVI-Implantation bei Aortenklappenstenose
- 106 Paravalvuläres Leck nach TAVI

1 Entwicklung der transösophagealen Echokardiografie, technische Fortschritte

H. Lambertz

1.1 Geschichtliche Entwicklung

► **„Ultraschall-Kardiografie“.** Nach Entdeckung des piezoelektrischen Effektes durch die Brüder Curie im Jahre 1880 wurde der diagnostische Ultraschall im Rahmen der Hirnforschung 1941 durch K. Dussik eingesetzt. D. Howry konnte erstmals 1952 mithilfe des Ultraschalls Weichteile des menschlichen Körpers im Schnittbild (Tomogramm) sichtbar machen. Die erste kardiologische Anwendung erfolgte 1950 durch den Physiologen W. D. Keidel [24]. Er versuchte, die Ultraschall-Absorptionsänderungen, die durch Volumenschwankungen des Herzens hervorgerufen werden, zu registrieren (► Abb. 1.1). Die Absorption des von dorsal in den Thorax eingebrachten Ultraschalls ist umso größer, je geringer das Herzvolumen ist, weil zur Zeit des kleinsten Herzvolumens mehr lufthaltige Lunge als Herzmuskel und Blut vom Ultraschall durchlaufen werden. Auf der Suche nach einer nicht invasiven Methode zur quantitativen Diagnostik der Mitralklappenfehler haben der Kardiologe I. Edler und der Physiker C. H. Hertz 1954 erstmals das Ultraschall-Laufzeitverfahren eingesetzt und ihm den Namen „Ultraschall-Kardiografie“ gegeben [14]. Sämtliche heutigen Verfahren basieren auf der grundlegenden Arbeit von Edler und Hertz aus dem Jahre 1954. Im Rahmen von Patentgesprächen mit der Firma Siemens (s. Aktennotiz Siemens vom 18.12.1953, ► Abb. 1.2) wurde damals bereits der Bau eines „Speiseröhren-Schallkopfs“ ins Auge gefasst.

► **Mitralklappenfehler.** Nach Einführung der Methode stand die Diagnostik der Mitralklappenfehler ganz im Vordergrund des klinischen Einsatzes, weil die Mitralklappenbeweglichkeit auch bei geringer Auflösung der damaligen Geräte relativ leicht erfasst werden konnte. Die echokardiografische Reflexion der Mitralis wurde in der ersten Zeit als Bewegung der vorderen Wand des linken Vorhofes aufgefasst. Nach entsprechenden Untersuchungen von Edler mithilfe von Durchstechungsversuchen an der Leiche und von Effert durch Aufsetzen des Ultraschallkopfes unmittelbar auf die Vorhofwand während der Mitralklappenoperation musste diese Auffassung revidiert werden.

► **Vorhoftumoren und -thromben.** 1954 erfolgte die erste echokardiografische Deskription eines Perikardergusses und 1959 wurden die ersten Echokardiogramme intraatrialer Tumoren und großer Thromben vor sowie nach operativer Entfernung erstmals von Effert publiziert [14, s. Kap. 13]. Seit 1959 konnte das Echokardiogramm auf Direktschreibern und somit synchron mit anderen kardiologischen Funktionsparametern registriert werden. Feigenbaum ist es zu verdanken, dass mit der Verbesserung der Apparaturen unter Einführung sog. Sektor-Scanner, bei denen durch Schwenken des Schallgebers Schnittbilder des Herzens entstehen, die Methode über die Diagnostik der Mitralklappenfehler hinaus auch bei der Quantifizierung der linksventrikulären Funktion eingesetzt werden konnte [18], [19].

► **Ösophagoatriogramm.** Die umständliche Registriertechnik mit der Notwendigkeit der Entwicklung eines 35-Millimeter-Films und streng maßstabsgetreuer fotografischer Vergrößerung zu Original-Echokardiogrammen führte 1959 zur Entwicklung eines elektronischen Verfahrens zur direkten Registrierung der Bewegungskurven einzelner Echos mit den Elektrokardiografen. Damit wurde es möglich, die Echokardiografie synchron mit dem Phonokardiogramm, den intrakardialen Druckkurven und dem Ösophagoatriogramm zu registrieren und die zeitlichen Beziehungen der einzelnen Kurvenpunkte zur mechanischen Herzaktion darzustellen (► Abb. 1.3). Dies veranschaulicht, dass die durch die Vorhofaktion bedingten Druckschwankungen im Ösophagus bereits damals diagnostisch herangezogen wurden.

► **Ultraschall-Kathetersysteme.** Während der Anfänge der Echokardiografie war die transthorakal registrierte Bildqualität naturgemäß häufig deutlich eingeschränkt, was mehrere Arbeitsgruppen dazu bewegte, nach alternativen Anlotmöglichkeiten zu suchen. Interessanterweise richteten die meisten Untersucher ihr

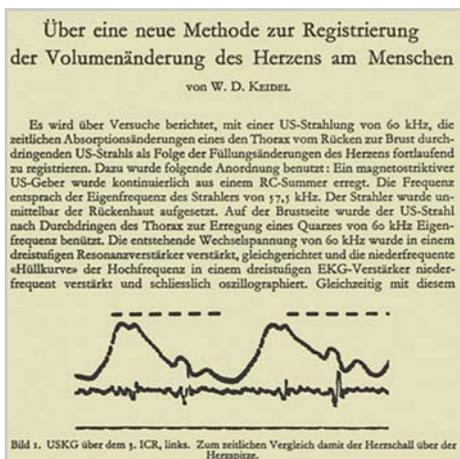


Abb. 1.1 Erste kardiologische Anwendung des Ultraschalls durch Keidel im Jahre 1950 (Originalabbildung aus dem Kongressbericht der Erlanger Ultraschalltagung 1949) [24].

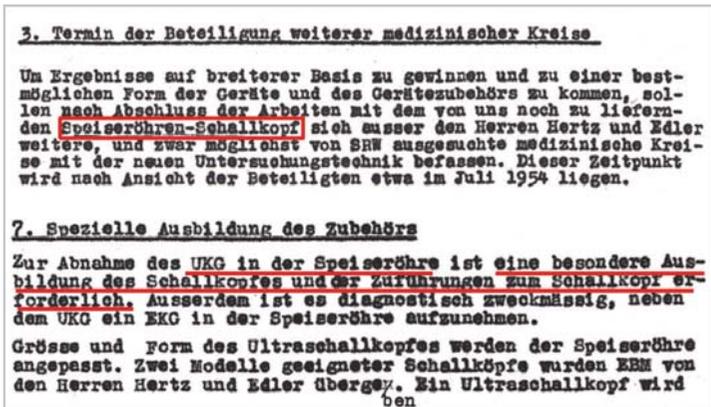


Abb. 1.2 Auszug aus dem Gesprächsprotokoll des Entwicklungsgesprächs der Firma Siemens mit I. Edler und C. H. Herz vom 18. Dezember 1953 in Erlangen. Edler wünschte sich schon damals einen „Speiseröhren-Schallkopf“, von dem er sich einen besseren Zugang zum Herzen erhoffte. Zwei Modelle konnten ihm bereits 1953 in Erlangen übergeben werden (Quelle: Siemens Archiv).

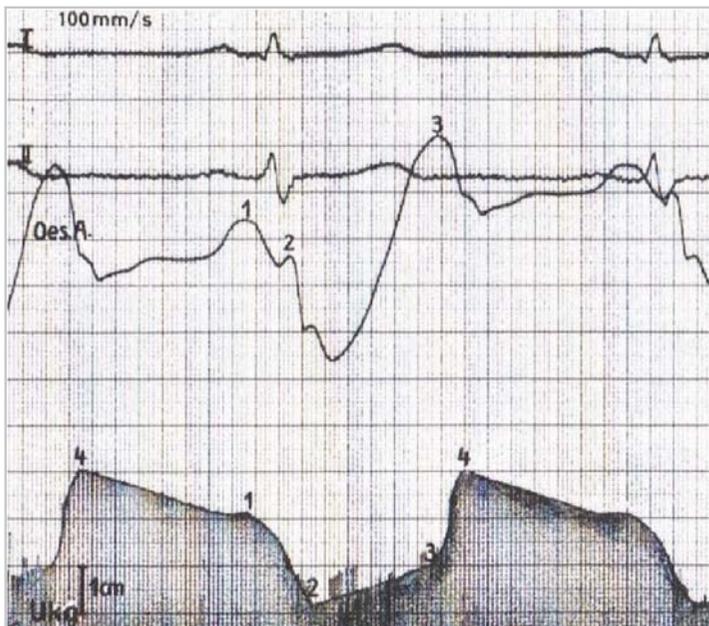


Abb. 1.3 Ösophagoatriogramm (Oes. A.) und Ultraschall-Kardiogramm (UKG) synchron registriert mit dem EKG bei einem Patienten mit Mitralstenose. Im Ösophagoatriogramm ist die Vorhofflimmungswelle 1 erhöht, im UKG erniedrigt. Die Ventrikelzacke im Ösophagoatriogramm und Punkt 2 im UKG fallen zeitlich zusammen. Ebenso entsprechen sich die beiden mit 3 bezeichneten Umkehrpunkte. Im Augenblick des Höhepunkts 4 im UKG zeigt das Ösophagoatriogramm einen scharfen Knick im abfallenden Schenkel mit anschließender Plateaubildung. Es handelt sich um den Zeitpunkt der maximalen Klappenöffnung mit Einfall des Mitralöffnungstons [16].

Augenmerk auf Systeme zur intravaskulären Darstellung kardialer Strukturen. Bereits im Jahre 1960 stellt Cieszynski ein Kathetersystem vor, das in die V. jugularis eingebracht werden konnte und auf dessen Spitze ein einzelnes piezoelektrisches Element montiert war [8]. Im Tierversuch wurden hiermit Amplitudenechos der kardialen Strukturen beim Hund aufgezeichnet. Drei Jahre später registrierte die Arbeitsgruppe um Omoto [37] statische Schnittbilder beim Menschen unter Verwendung eines langsam rotierenden Einzelkristallkatheters, der über einen transfemorale oder transjugulären Zugang im rechten Vorhof platziert wurde. Ein steuerbarer Einzelkristallschallkopf auf der Spitze eines steuerbaren Katheters, der intrakardial entsprechend rotiert werden konnte und als dynamisches Monitorsystem gedacht war, wurde 1968 durch Carleton und Clark [6] vorgestellt. Im Jahre 1970 entwickelte Eggleton [17] ein Kathetersystem mit vier Ultraschallelementen an dessen Spitze, das eine entsprechende Schnittbilddarstellung der intrakardialen Strukturen erlaubte. Zwei Jahre später entwickelte Bom ein elektronisches zirkuläres Phased-Array-System, basierend auf 32 piezoelektrischen Elementen auf der Spitze eines 9F-Kathetersystems, mit dem erstmals intrakardiale Echtzeitaufnahmen möglich waren.

Die initialen technischen Schwierigkeiten bei der Herstellung von Kathetersystemen zur Echtzeitwiedergabe von hochauflösenden Ultraschallbildern des Herzens hatten einen Rückgang der Forschungsaktivitäten in diesem Bereich zur Folge. Alternative Anlotverfahren wurden entwickelt.

Seit einigen Jahren verfügen wir wieder über die intrakardiale Bildgebung durch hochfrequenten Ultraschall mittels eigens hier-

für entwickelter Kathetersysteme (AcuNav-Katheter/Acuson-Siemens) mit guter Steuerbarkeit von außen. In ► Kap.18 wird im Detail auf dieses Verfahren eingegangen, die aktuellen klinischen Anwendungsgebiete werden dargestellt.

► **Ultraschalluntersuchungen vom Ösophagus aus.** Im Jahre 1968 wurde erstmals eine neue Generation von Gastroskopen vorgestellt, deren distales Ende steuerbar war und auf deren Spitze Ultraschallkristalle montiert waren. Dies ermöglichte einen direkten Kontakt des Ultraschallgebers mit der Ösophaguswand. Side und Gosling [47] berichteten im Jahre 1971 erstmals über die Darstellung kardialer Strukturen mittels Ultraschall vom Ösophagus aus. Die Autoren verwendeten ein auf der Spitze eines Standardgastroskops montiertes sonografisches Doppелеlement-System zur Erfassung der kardialen Blutflussgeschwindigkeit mit einem kontinuierlichen Dopplerverfahren. Im Jahre 1972 führten Olson und Shelton transösophageale Dimensionsbestimmungen der thorakalen Aorta und der Pulmonalarterie durch. Die erste gepulste Doppleruntersuchung vom Ösophagus aus wurde 1975 von der Arbeitsgruppe um Daigle beschrieben [10].

► **Transösophageale Echokardiografie.** Die transösophageale Echokardiografie (TEE) wurde im Jahre 1976 durch L. Frazin et al. eingeführt [20] (► Abb.1.4). Die Methodik beschränkte sich damals jedoch auf die Aufzeichnung von M-Mode-Echokardiogrammen mit der entsprechenden Limitierung fehlender räumlicher Zuordnung. Insbesondere wegen der Schwierigkeiten beim Einführen der bis dato noch recht dicken Ultraschallsonden fanden die Anfänge der TEE bei klinisch tätigen Kardiologen wenig Beachtung. Hieraus resultierte eine nur zögerliche und langsame Weiterentwicklung des Verfahrens. Da die Methode beim anästhesierten Patienten wenige Probleme bereitete, wurde der weitere Forschungsschwerpunkt auf das intraoperative Monitoring sowie auf die Beurteilung der linksventrikulären Funktion während operativer Eingriffe verlagert. In diesem Zusammenhang sind vor allem mehrere japanische Arbeitsgruppen und in erster Linie Matsumoto et al. [33] zu nennen.

► **Entwicklung neuer Schallköpfe.** Im Jahre 1977 zeichneten K. Hisanaga et al. erstmals transösophageale zweidimensionale Schnittbilder auf [23] (► Abb.1.5). Ein Jahr später berichten die gleichen Autoren über einen weiterentwickelten linearen mechanischen Scanner, mit dessen Hilfe ebenfalls transösophageale Echokardiogramme aufgezeichnet werden konnten. Die Einführung elektronischer Beschallungssysteme kennzeichnet den nächsten und wohl wichtigsten Schritt in der Entwicklung der TEE. DiMagno [12] entwickelte 1980 einen Hochfrequenz-Linear-Array-Schallkopf (10MHz), der ursprünglich für die Ultraschall-diagnostik des Gastrointestinaltraktes vorgesehen war. Daneben gab es weitere Versuche mit Linear Arrays zu medizinisch relevanten Informationen zu gelangen. J. A. Bönhof et al. setzten zu

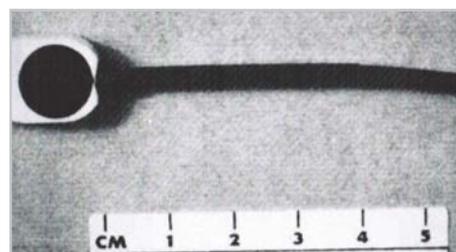


Abb. 1.4 Erster ösophagealer M-Mode Schallkopf, entwickelt von L. Frazin [20].

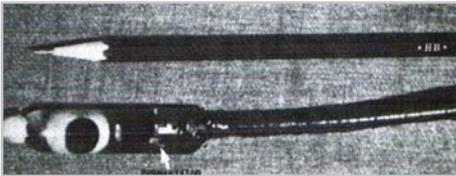


Abb. 1.5 Mechanisch rotierender ösophagealer Schallkopf, entwickelt von Hisanaga et al. Um die Reibung mit der Ösophaguswand zu verhindern, war der rotierende Schallkopf in einem Ölbad gelagert [23].

diesem Zweck einen 5–7 MHz Linear-Array-Schallkopf ein, der auf der Spitze eines Pentax FG 28-Gastroskops montiert war [4] (► Abb. 1.6). Der entscheidende Durchbruch bei der transösophagealen Beschallung gelang 1981 mit der Einführung eines elektronischen Phased-Array-Schallkopfes durch Souquet und Hanrath [49]. Hierbei war die transösophageale Beschallungsfrequenz mit 2,25 MHz identisch zu der der transthorakalen Echokardiografie (► Abb. 1.7, ► Abb. 1.8).

► **Erste klinische Anwendungen.** Interessant ist der Tatbestand, dass die ersten klinischen Anwendungen der TEE in den USA intraoperativ als Monitoring zur Erfassung etwaiger regionaler Wandbewegungsstörungen während chirurgischer Eingriffe erfolgte. In Europa wurde das Verfahren in erster Linie zur kardialen Diagnostik bei ambulanten Patienten genutzt. Wegen der offenkundigen diagnostischen Vorteile im Vergleich zur transthorakalen Beschallung erlangte das transösophageale Verfahren rasch einen hohen klinischen Stellenwert.

► **Weiterentwicklung der Technologie.** In der Zwischenzeit hat der klinische Einsatz der TEE weiter zugenommen. Dies basierte insbesondere auf einer verbesserten Schallkopftechnologie. Ein entscheidender diagnostischer Zugewinn erfolgte 1987 durch die Implementierung der Farbdopplertechnologie. Hierdurch kam es weltweit zu einer deutlich verbesserten Akzeptanz der semiinvasiven TEE, da es jetzt möglich war, den Blutfluss im Herzen farbkodiert und mit hoher Genauigkeit zu quantifizieren (► Tab. 1.1). Nachdem zu Beginn der 1980er-Jahre ein monoplaner 32-Ele-

Tab. 1.1 Vorteile der transösophagealen Echokardiografie (TEE) im Vergleich zur transthorakalen Beschallung (TTE).

Vorteile der TEE gegenüber der TTE

- fehlende Abschwächung des Ultraschalls durch die Brustwand bzw. interponiertes Lungengewebe
- Unterschiedliche Anlotebenen erlauben die Darstellung kardialer Strukturen, die bei der äußeren Beschallung nicht erkennbar sind (z. B. Aorta thoracalis ascendens, V. cava superior, linkes und rechtes Herzohr).
- Verbessertes Signal-Rausch-Verhältnis ermöglicht die Darstellung schwach reflektierender Strukturen (z. B. intrakardiale Tumoren, Thromben).
- höhere Beschallungsfrequenz mit hoher Auflösung und verbesserter Detaillierung
- hohe Sensitivität des gepulsten Dopplers sowie der Farbdopplertechnik bei der Analyse von Flussphänomenen in den posterior gelegenen Herzabschnitten

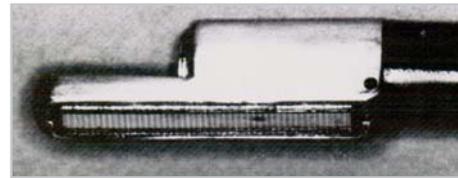


Abb. 1.6 Linear Array (Prototyp Siemens) an der Spitze eines Pentax-Gastroskops [4].



Abb. 1.7 Erstes, in Hamburg entwickeltes transösophageales M-Mode-Echoskop [33].

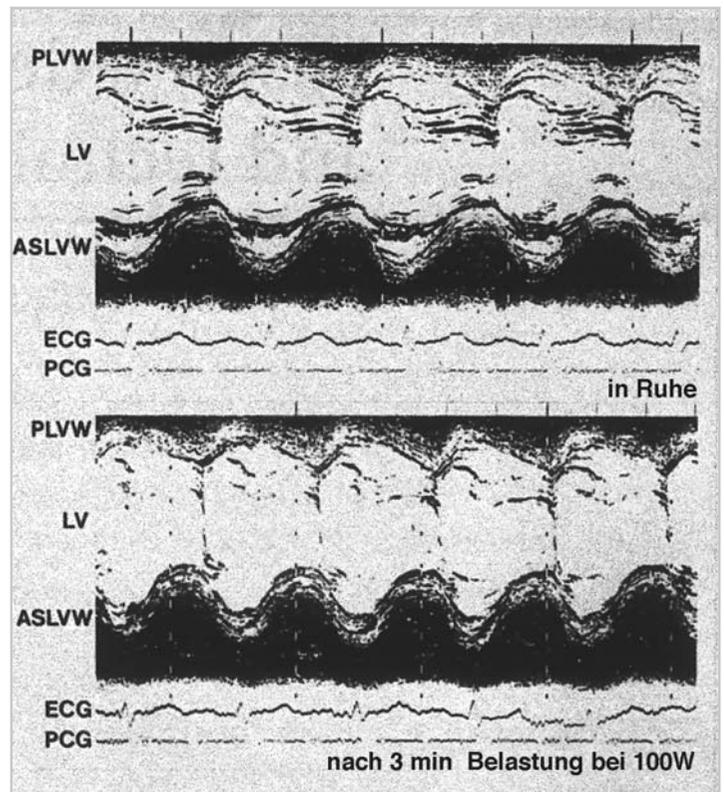


Abb. 1.8 Transösophageales M-Mode-Echokardiogramm des linken Ventrikels. Die obere Abbildung zeigt die M-Mode-Aufzeichnung unter Ruhebedingungen; die untere Abbildung zeigt die Zunahme der Ventrikelnötropie sowie die Verkleinerung des linksventrikulären Kavums am Ende einer dreiminütigen Fahrradergometrie bis 100 Watt (Quelle: s. ► Abb. 1.7).

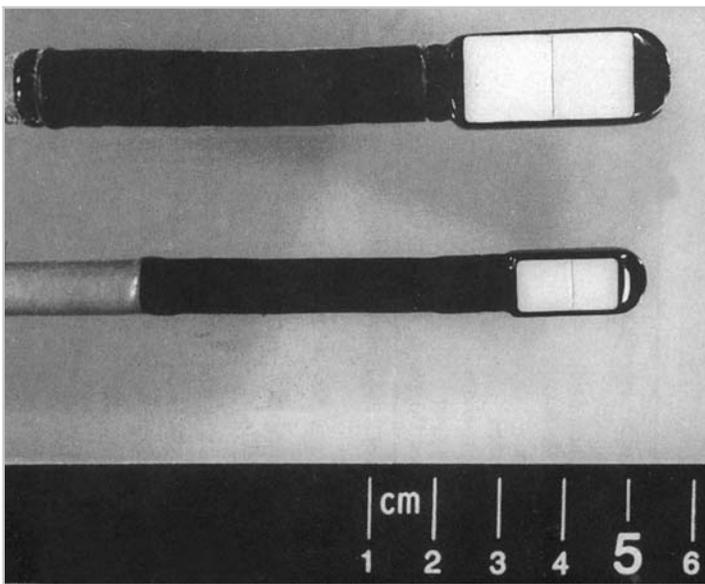


Abb. 1.9 Vergleichende Darstellung von zwei biplanen Echoköpfen. Oben: konventionelles biplanes Echoskop (14,5 × 11 × 43 mm). Unten: miniaturisiertes biplanes Echoskop (9,5 × 3,5 × 33 mm). Beide transösophagealen Schallgeber erlauben unter Verwendung der Multi-Hertz-Technologie die Beschallung mit 3,5 MHz, 5,0 MHz bzw. 7,0 MHz.

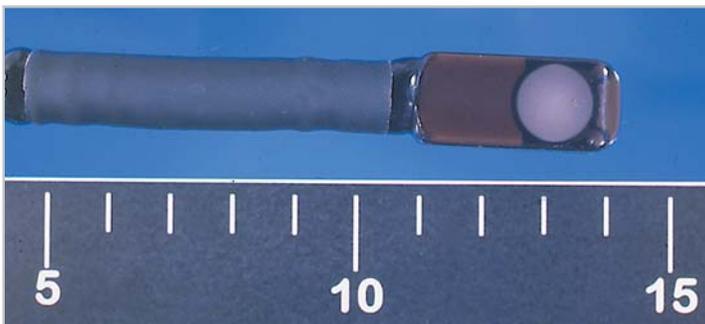


Abb. 1.10 Dargestellt ist ein multiplaner (128 Elemente) transösophagealer Schallkopf. Die Dimension des multiplanen Echoscops ist identisch mit der des biplanen Instrumentariums (► Abb. 1.9).

ment-Schallkopf zur Verfügung stand, wurde Ende der 1980er-Jahre ein biplanes, transösophageales 2×-64-Element-Schallgeber-System entwickelt (► Tab. 1.2, ► Abb. 1.9).

► **Bi- und multiplane Schallgeber.** Unter Zuhilfenahme einer zweiten, orthogonal zur monoplan gelegenen Anlotebene ließen sich vor allem kardiale Strukturen, die mit dem monoplanen Verfahren wegen einer Interposition des luftgefüllten Bronchus nicht einsehbar sind, darstellen. Ein Nachteil des Verfahrens beruhte darin, dass die beiden Schallgeber etwa 1 cm voneinander versetzt sind, wobei die sagittale Schnittebene kranial der transversalen erzeugt wird (► Abb. 3.3a). Seit Beginn der 1990er-Jahre stehen multiplane transösophageale Schallsonden zur Verfügung, die durch eine elektrische Rotation der Schallsonde von 0° (Transversalschnitt) über 90° (Sagittalschnitt) bis 180° eine stufenlose Erfassung der kardialen Anatomie in 1- bis 2-Grad-Schritten erlauben (► Tab. 1.3, ► Abb. 1.10).

Tab. 1.2 Sagittale Schnittführung mittels TEE.

Sagittale Schnittführung mittels TEE

verbesserte Darstellbarkeit mittels sagittaler Anlotung im Vergleich zur transversalen Darstellung

- linksventrikuläre Spitzenregion
- subvalvulärer Mitralkappenapparat
- linksventrikulärer Ausflusstrakt
- Vorhofanatomie
 - Pathologie des Vorhofseptums
 - intraatriale Membran und Raumforderungen
 - Beurteilung beider Herzohren
 - PW-Doppleranalyse des Lungenvenenflusses
- Aortenklappe
 - Klappenbikuspidie
 - Klappenöffnungsfläche

- Aorta ascendens

ausschließlich mittels biplaner TEE darstellbar

- longitudinaler Zweikammerblick
- V. cava superior in ihrem Längsverlauf
- rechtsventrikulärer Ausflusstrakt und Pulmonalklappe
- CW-Doppleranalyse der Trikuspidalinsuffizienz
- Kurzachsendarstellung des Aortenbogens

Tab. 1.3 Multiplane TEE – diagnostischer Zugewinn im Vergleich zum biplanen Verfahren.

Vorteile der multiplanen TEE

valide Beurteilung von Aorten- und Mitralklappe

- Taschen- bzw. Segelanatomie
- Adäquate Erfassung von Insuffizienzjets
- Beurteilung des Klappenanulus
- postoperativ: valvuläre vs. paravalvuläre Insuffizienz

beliebige Intermediärschnitte möglich

- optimale Darstellung der sagittalen bzw. lateralen anatomischen Dimensionen
- verbesserte Differenzierung Pathologie vs. Artefakt
- 3- bzw. 4-dimensionale Rekonstruktion

weniger belastend für den Patienten

Verkürzung der Untersuchungsdauer

1.2 Entwicklungen der Schallkopftechnologie

► **Schallkopfdimension.** In der Erstphase betrug die Breite der verwendeten transösophagealen Schallköpfe noch bis zu 14 mm. Die Patientenakzeptanz dieses semiinvasiven Diagnoseverfahrens war demzufolge gering. In der Zwischenzeit konnten die Schallköpfe miniaturisiert werden. Die Breite der derzeitigen bi- bzw. multiplanen Schallgeber differiert nicht voneinander und beträgt je nach Gerätehersteller 11–12 mm (► Abb. 1.10). Dennoch ist diese Dimension für den pädiatrischen Gebrauch, insbesondere im Säuglingsalter, zu hoch.



Abb. 1.11 Transnasale ösophageale Echokardiografie. Das miniaturisierte monoplane Echoskop hat eine Schaftdicke von 6,0mm, der Schallkopf misst 7,3×6,0×21mm. Wegen der geringen Dimension ist ein nasales Einführen in den Ösophagus durch den Anästhesisten möglich (Quelle: [21]).

► **Pädiatrischer Einsatz.** Für den pädiatrischen Gebrauch wurden spezielle Echoskope mit kleinerem Querdurchmesser entwickelt (► Abb.1.9). Unter Zuhilfenahme höherer Beschallungsfrequenzen bis 7 MHz gelingt auch hiermit eine hochauflösende Detailerkennung der kardialen Anatomie. Durch die Verwendung miniaturisierter Schallgeber wurde die Akzeptanz der TEE im pädiatrischen Bereich deutlich verbessert. Unter Kurznarkose ist es möglich, übliche Erwachsenenechoskope bei Kindern mit einem Körpergewicht von mehr als 20kg einzusetzen. Aus Sicherheitsgründen sollten bei Kindern unter 20kg ausschließlich spezielle pädiatrische Echoskope Einsatz finden.

► **Transnasale ösophageale Echokardiografie.** Speziell für den peri- und intraoperativen Einsatz der TEE wurden miniaturisierte Schallköpfe entwickelt, die transnasal in den Ösophagus eingebracht werden. Der Schallkopf des nasalen Echoskops weist Abmessungen von 7,3×6,0mm im Querschnitt und 21mm in der Länge auf und ist somit nur halb so groß wie der Schallkopf eines konventionellen Echoskops (► Abb. 1.11). Das Konzept der transnasalen TEE mit miniaturisiertem Schallkopf birgt bedeutsame Vorteile für die Anästhesiologie (► Kap. 11). Hierbei ist es das Ziel,

ein kardiovaskuläres Monitoring zu gewährleisten, bei dem das Echoskop über einen zu bestimmenden Zeitraum im Patienten verbleibt und ähnlich der Messung mittels Einschwemmkatheter zur intermittierenden Bestimmung und Trenderfassung echokardiografischer Parameter eingesetzt wird.

► **Transösophageale Stressechokardiografie.** Zwischenzeitliche Entwicklungen gingen dahin, modifizierte Echoskope mit implementierten Ringelektroden zur Vorhofstimulation im Rahmen der transösophagealen Belastungsechokardiografie einzusetzen (► Abb. 1.12, ► Abb. 21.5). Entsprechende pacinginduzierte regionale Wandbewegungsstörungen des linken Ventrikels lassen sich so mit hoher Sensitivität aufdecken (► Abb. 1.13a, b, ► Kap. 21). Bedingt durch die Semiinvasivität ist das Verfahren jedoch für die kardiologische Routinediagnostik der koronaren Herzkrankheit nicht geeignet und kommt allenfalls bei transthorakal nicht beschallbaren Patienten zum Einsatz.

► **Transösophageale Kardioversion.** Basierend auf den günstigen Ergebnissen der ACUTE-Studie, bei der gezeigt wurde, dass durch den Einsatz der TEE vor der elektrischen Kardioversion von Vorhofflimmern mit anschließender Heparinabgabe dieses Vorgehen dem konventionellen Vorgehen mit vierwöchiger Vorbehandlung mit Phenprocoumon nicht unterlegen ist, wurde ein modifiziertes Echoskop entwickelt, das vom Aufbau her dem der transösophagealen Stressechokardiografie ähnelt (► Abb. 1.14). Hierbei wurden zwei zirkuläre Ringelektroden aus Titan unmittelbar proximal des TEE-Schallkopfes angebracht. Die elektrische Entladung erfolgt zwischen den TEE-Ringelektroden und einer großflächigen Plattenelektrode auf der vorderen Thoraxwand des Patienten (► Abb. 1.15). Die benötigte gemittelte Energie, die zur Konversion in den Sinusrhythmus erforderlich ist, beträgt 20–40 Joule.

Erste Erfahrungen mittels ösophageal eingebrachter monoplane 3,3-mm-Intravaskulärsonde (AcuNav-Katheter, 5,5–10 MHz, ► Kap. 18) zur Erfassung bzw. zum Ausschluss etwaiger LAA-

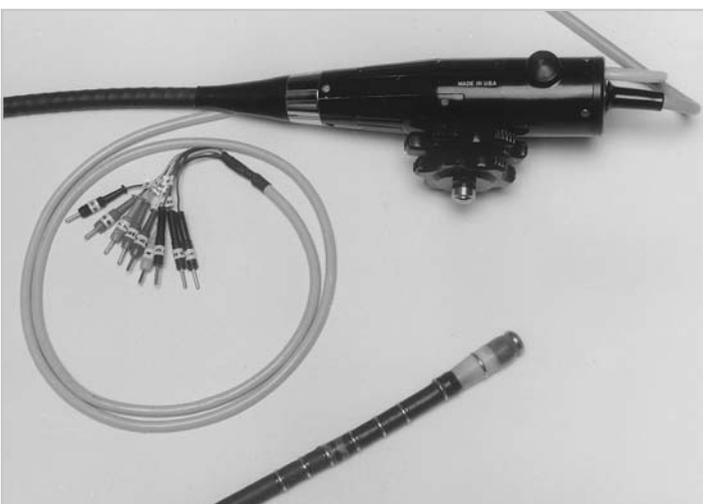


Abb. 1.12 Modifiziertes Echoskop für die transösophageale Stressechokardiografie mittels Vorhofstimulation. 1–9 stellen die distal angebrachten Ringelektroden, die zur Vorhofstimulation benötigt werden, dar.

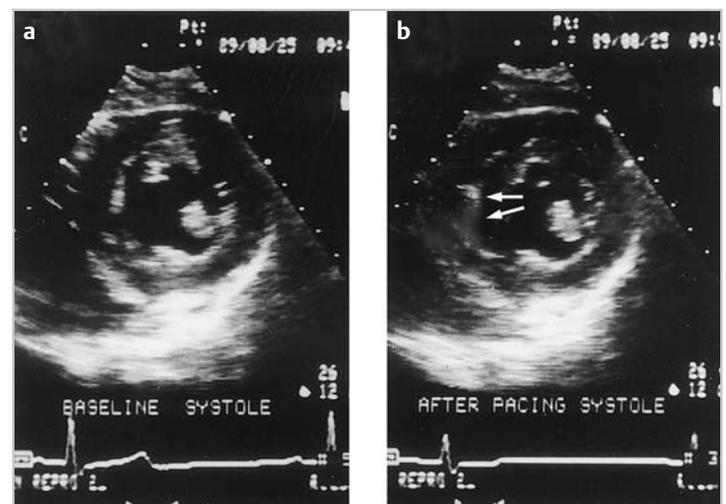


Abb. 1.13 Transösophageales Stressechokardiogramm. Dargestellt ist der linksventrikuläre Kurzachsenschnitt.

a Unter Ruhebedingungen vor Vorhofstimulation.

b Unmittelbar nach Beendigung einer vierminütigen Vorhofstimulation bis 140/min. Mit Pfeilen gekennzeichnet ist die belastungsinduzierte Wandbewegungsstörung im Bereich des Kammerseptums.

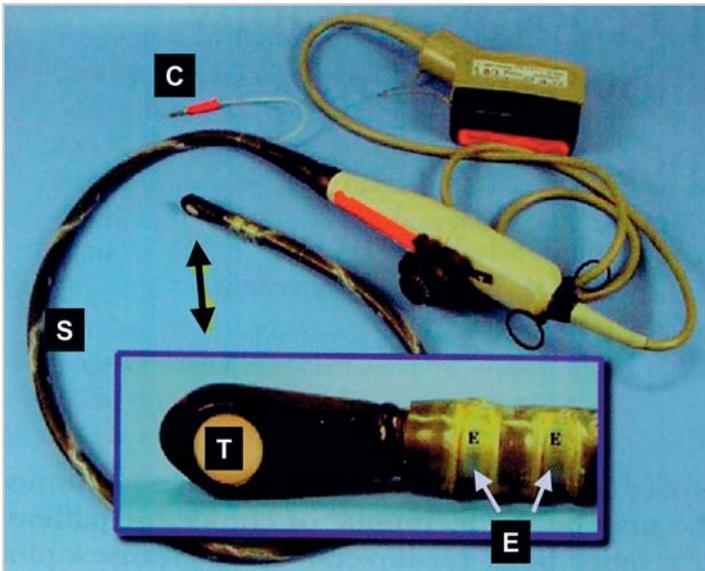


Abb. 1.14 Modifiziertes Echoskop zum Zwecke der elektrischen Kardioversion. C: Verbindungskabel zum Kardioverter, E: Titan-elektroden, T: TEE-Schallkopf, S: Latexschutz (Quelle: [28]).

1.3 Charakteristischer Sondenaufbau

Sämtliche Echoskope sind vom Aufbau her gleich konfiguriert. Auf der Spitze eines handelsüblichen Gastroskops bzw. Bronchoskops wird ein Phased-Array-Transducer angebracht. Dieser kann biplan (heutzutage nahezu nicht mehr erhältlich) oder multiplan konfiguriert sein. Beim Sondenbau werden die Faseroptik und die entsprechenden Arbeitskanäle zum Absaugen sowie zur Biopsieentnahme entfernt und durch elektrische Konnektionen zum Schallkopf ersetzt. Sowohl die entsprechende Ante- bzw. Retroflexionsmöglichkeit als auch die Lateraldeviationsmöglichkeit des ursprünglichen Geräts bleiben hierbei erhalten (s.a. ► Abb.3.4). Die meisten Echoskope erlauben heutzutage eine Ultraschall-darstellung kardialer Strukturen unter Verwendung einer Beschallungsfrequenz von 5 MHz. Durch den Einsatz der Mehrfrequenztechnologie ist es möglich, mit dem gleichen Schallgeber wahlweise Bilder des Herzens unter Verwendung von 2,0–9,0 MHz zu gewinnen.



Abb. 1.15 Erste transösophageale Elektrokonversion bei Vorhofflimmern mittels modifiziertem Echoskop am 13. März 2003 (► Abb. 1.14). Neben dem Echoskop en place erkennt man die Flächenelektrode auf der vorderen Thoraxwand des Patienten (Pfeil) (Quelle: [28]).

1.4 Transösophageale Farbdoppler-Echokardiografie

Wegen der unmittelbaren Nähe des Schallgebers im Ösophagus zum Zielorgan ist die Wiedergabe der farbkodierten Flusscharakteristik im Herzen von bestechender Detailgenauigkeit. Dies trifft auch für den transösophagealen Gewebedoppler zu (► Abb. 1.16, ► Abb. 1.17, ► Abb. 1.18a, b). Zur Erfassung einer adäquaten Farbdoppler-Information sollte die Distanz zwischen Schallgeber und abzuklärender Fluss- oder Bewegungscharakteristik immer so gering wie möglich sein. Deshalb werden die Flusseigenschaften in den Vorhöfen, durch die AV-Klappen, in den Lungenvenen sowie an der Aortenklappe und der Aorta ascendens am besten vom unteren und mittleren Ösophagus aus aufgezeichnet, wohingegen Farbdoppler-Untersuchungen im Herzspitzenbereich am besten mittels transgastrisch eingebrachtem Echoskop erhoben

Thromben vor geplanter Kardioversion bei Vorhofflimmern liegen vor.

► **Harmonic Imaging.** Dem Harmonic Imaging, das sich bei der transthorakalen Beschallung zur Artefaktunterdrückung sowie Verbesserung der Bildqualität eindeutig bewährt hat, kommt bei der TEE keine relevante Bedeutung zu. Die Erfahrungen zeigen, dass das hochfrequente „Fundamental TEE-Imaging“ eine wesentlich bessere Bildqualität als das „Harmonic TEE-Imaging“ liefert.

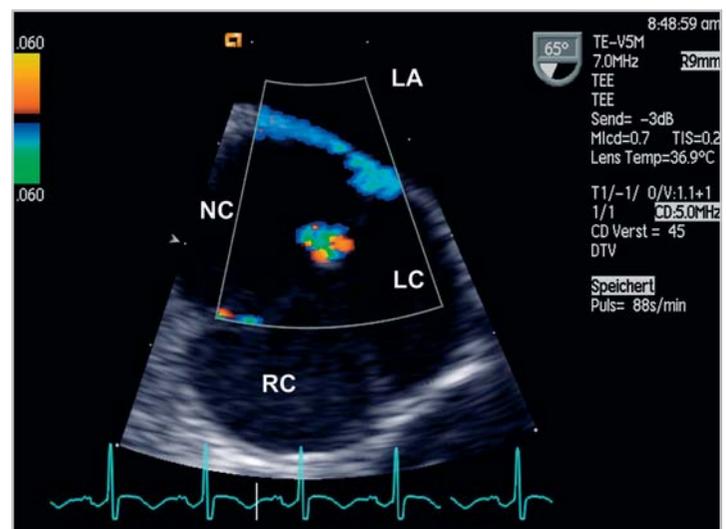


Abb. 1.16 Papilläres Fibroelastom der Aortenklappe. Die TEE veranschaulicht im Gewebedopplermodus eindrucksvoll die Eigenmobilität des gestielten Herzklappentumors.

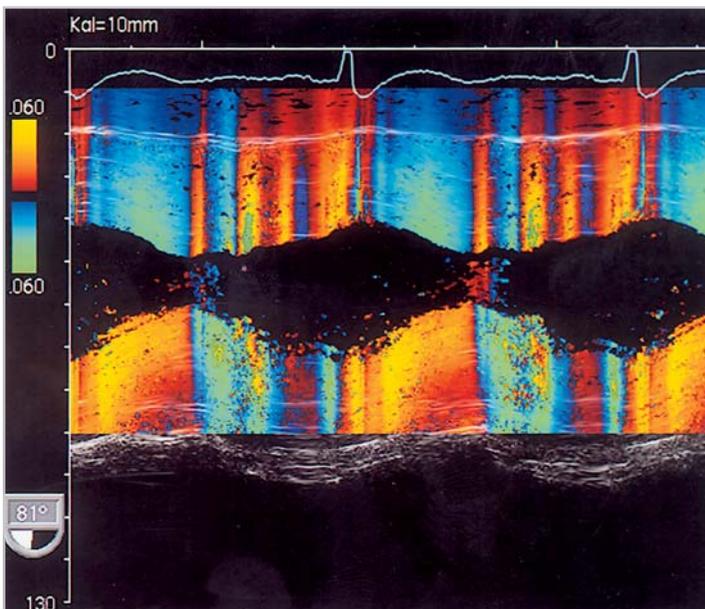


Abb. 1.17 Transösophageales Gewebedoppler-M-Mode-Echokardiogramm. Oben: Hinterwand, unten: reine Vorderwand des linken Ventrikels. Eindrucksvoll kommen die unterschiedlichen Dehnungsphasen des Ventrikelmuskels während der Diastole zur Darstellung.

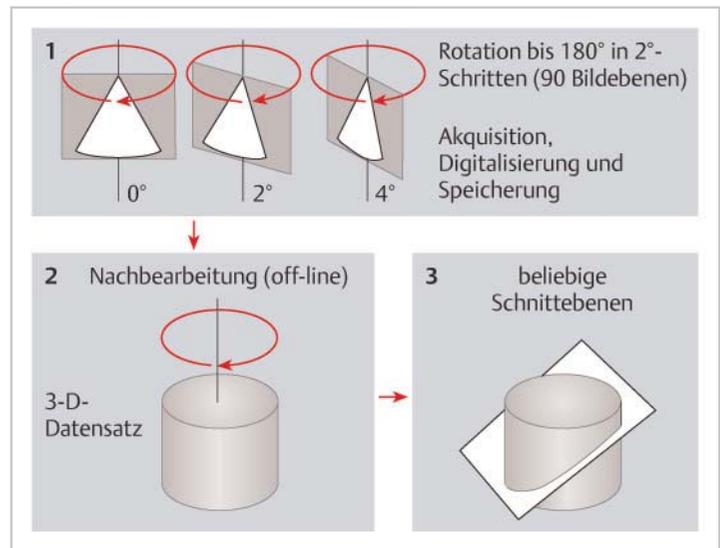


Abb. 1.19 Technik der 3D-Rekonstruktion. 1. Schritt: Rotation der TEE-Schnittebene in 2°-Schritten, Akquisition, Digitalisierung und Speicherung der Rohdaten. 2. Schritt: spätere („offline“) Nachverarbeitung der Daten, Zusammensetzen der 2D-Schnittebenen zum 3D-Datensatz. 3. Schritt: Aus dem so erhaltenen Datensatz können beliebige Schnittebenen und Perspektiven rekonstruiert werden.

werden. Bei der Abhandlung der unterschiedlichen Krankheitsbilder wird darauf noch im Detail eingegangen.

1.5 Dreidimensionale Rekonstruktion

► **Monoplane Schallgeber.** Bedingt durch die bestehende Detailerkennung der transösophagealen Echokardiogramme waren Versuche zur dreidimensionalen Rekonstruktion kardialer Strukturen naheliegend. Initial wurden hierzu transverse Schnittbilder der monoplanen Beschallung von verschiedenen Sondenpositionen im Ösophagus herangezogen. Da der Ösophagus neben einer leichten S-Form vor allem im unteren Abschnitt eine nach ante-

rior gerichtete Krümmung aufweist, diese aber bezüglich ihrer exakten Angulation nicht bekannt und von Patient zu Patient unterschiedlich ist, war die dreidimensionale Rekonstruktion aus derart erhobenen (pseudo-)parallelen Schnittebenen enttäuschend. Die Freiburger Arbeitsgruppe entwickelte in den 1980er-Jahren erstmals ein spezielles Echoskop, bei dem es durch einen entsprechenden Seilzug möglich war, eine „Begradigung“ im unteren Ösophagus zu erreichen. Hiermit war die Erfassung monoplaner, nahezu paralleler, transversaler Schnittebenen möglich, allerdings war das Instrumentarium für den Patienten nicht immer tolerabel.

► **Multiplane Schallgeber.** Durch den Einsatz eines multiplanen Echoskops gelingt es auch ohne Lageänderung desselben im Ösophagus mit einer bestechend hohen Genauigkeit, EKG- sowie

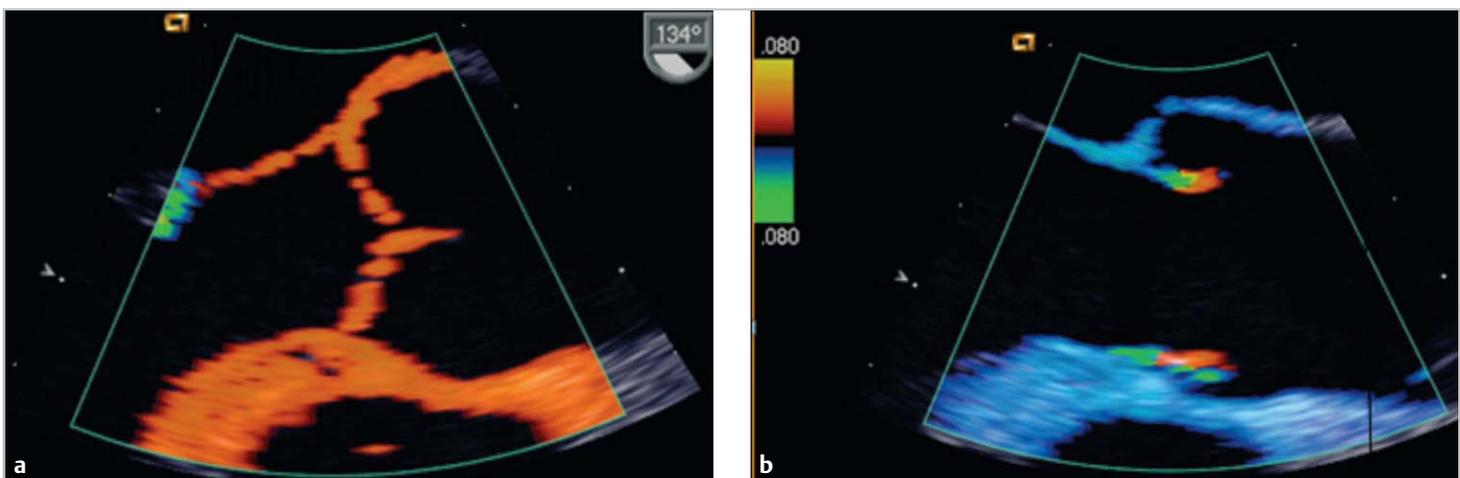


Abb. 1.18 Darstellung der Aortenklappe mit dem Gewebedopplerverfahren. Die hochfrequenten Oszillationen der Taschenöffnung während der Systole (rechts) kommen eindrucksvoll zur Darstellung.
a Geschlossene Aortenklappe.
b Geöffnete Aortenklappe.

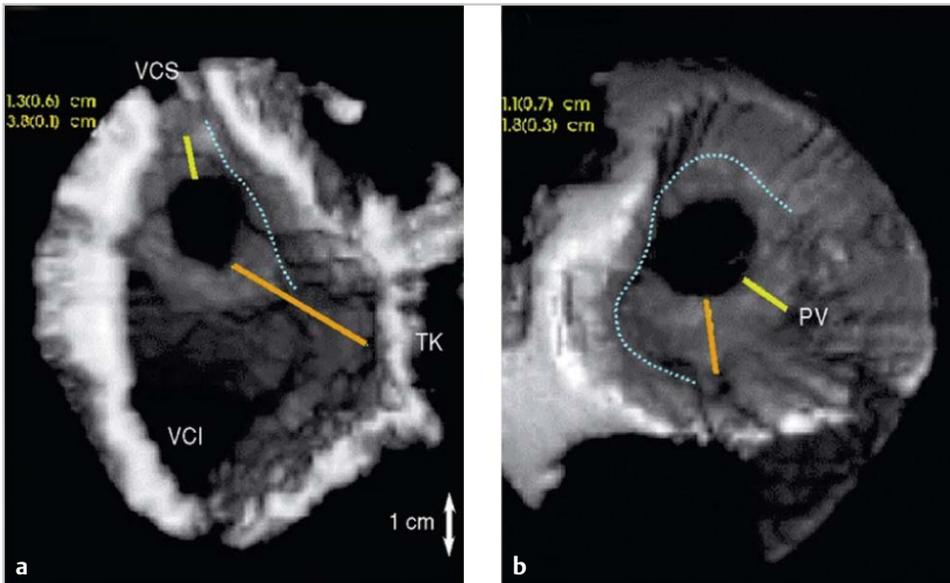


Abb. 1.20 3D-Ansicht eines Vorhofseptumdefekts vom Secundum-Typ.

- a Ansicht vom rechten Vorhof aus. Der räumliche Abstand des gut erkennbaren zentralen Defekts zur V. cava superior und zur Trikuspidalklappe kann im 3D-Bild gemessen werden.
- b Darstellung desselben Defekts vom linken Vorhof aus. Die Mündungen der Pulmonalvenen (PV) können dargestellt und ihr Abstand zum Defekt gemessen werden. Die gestrichelte Linie markiert die äußeren anatomischen Grenzen des interatrialen Septums, die die Breite des umgebenden Septumrandes definieren und so für den interventionellen Verschluss entscheidend sind.

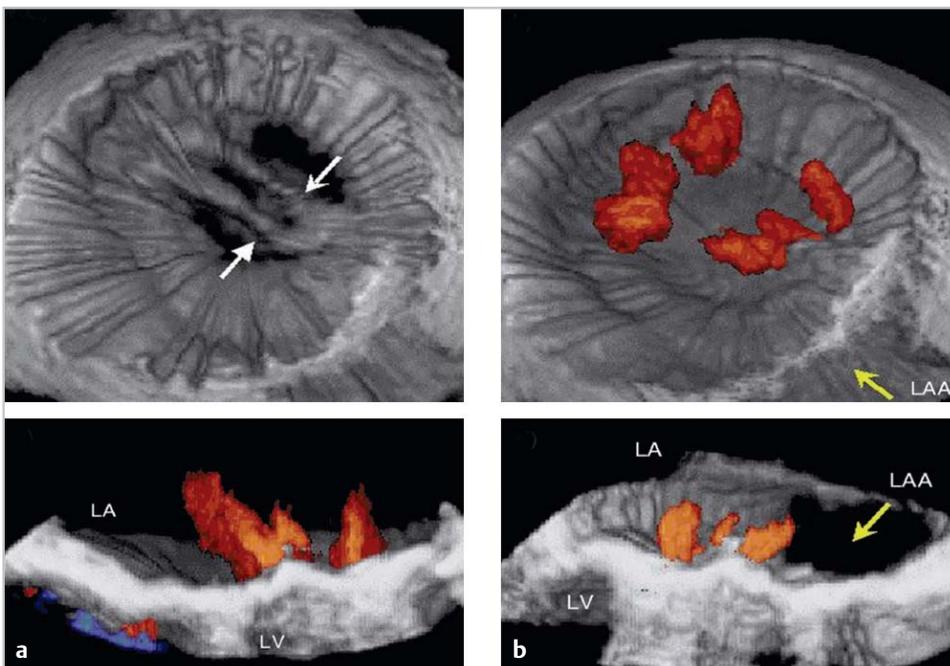


Abb. 1.21 3D-Rekonstruktion einer funktionstüchtigen Doppelflügelprothese in Mitralposition (St.-Jude-Medical).

- a Klappe in geöffneter Position mit beiden Okkludern (Pfeile).
- b Systolisches Standbild mit sechs flammenartig erscheinenden Regurgitationsjets. Verlauf und Größe der Jets sowie deren Ausgangspunkte lassen sich mit einem Blick identifizieren.
- c Längsschnitt der Klappenprothese mit Blickrichtung nach posterior.
- d Längsschnitt der Klappenprothese mit Blickrichtung nach anterior mit linkem Vorhof im Hintergrund.

atemgetriggerte dreidimensionale Rekonstruktionen der kardialen Strukturen anzufertigen (► Abb. 1.19, ► Abb. 1.20a, b, ► Abb. 1.21a, b, c, d).

1.6 Echtzeit-3D-TEE

► **Real-Time-3D-Echokardiografie.** Insbesondere mit der Intention einer verbesserten Katheternavigation wurden neuere Real-Time-3D-Echoskope entwickelt, bei dem auf einem 70mm langen rotierenden Zylinder multiple Ultraschalltransducer platziert waren. Die ersten In-vitro- sowie In-vivo-Ergebnisse schienen vielversprechend. Allerdings war die Patientenakzeptanz dieser Echoskope – bedingt durch deren Länge – eingeschränkt.

Weitere Entwicklungen führten zum Bau miniaturisierter 3D-Matrixschallköpfe, mit denen die Online-Erfassung eines pyramidalen 3D-Datensatzes möglich wurde. Hiermit können Echtzeit-3D-TEE-Aufzeichnungen von hoher Qualität generiert werden (► Abb. 1.22a, b). In ► Kap. 19 wird im Detail auf dieses Verfahren eingegangen. Der diagnostische Zugewinn der Echtzeit-3D-TEE

zum konventionellen multiplanen Verfahren ist aus ► Tab. 19.2 ersichtlich.

► **Geräteminialisierung.** Derzeit existieren leistungsfähige portable Ultraschallgeräte, die weniger als 4kg wiegen und die Größe eines Laptops haben (► Abb. 11.3). Solche Systeme sind in Anwendungen wie Notfallmedizin, Anästhesiologie und Chirurgie bei externer wie transösophagealer Beschallung einsetzbar (► Kap. 11). Durch eine spezielle Technologie haben die Hersteller mehrere komplexe Ultraschallfunktionen in einen ASIC-Chip integriert und damit Platzbedarf, Gewicht und Anforderungen an die Stromzufuhr verringert. Die Systeme sind schnell betriebsbereit und können batteriebetrieben über mehrere Stunden arbeiten. Die Übereinstimmung der transthorakal gestellten kardialen Hauptdiagnose (tragbares vs. Standard-Echokardiografiegerät) beträgt mehr als 95%. Bei vergleichenden Untersuchungen wurden Herzklappenvitien in 97% der Fälle und regionale Kinetikstörungen in 95% der Fälle übereinstimmend diagnostiziert. Allerdings ist die Detailtreue der dargestellten TEE-Befunde naturgemäß deutlich höher.

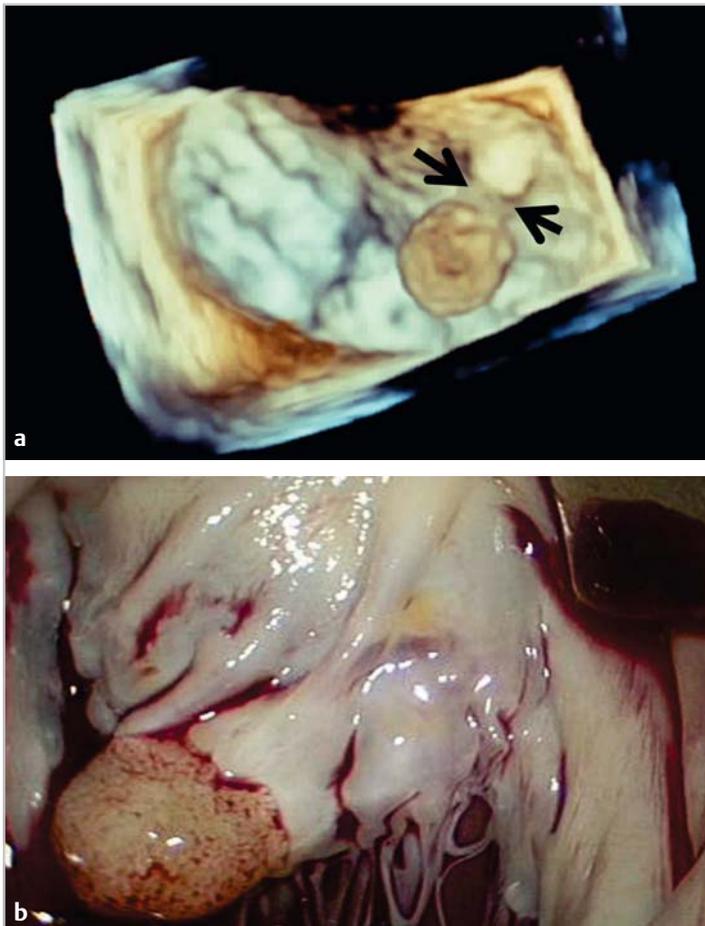


Abb. 1.22 Papilläres Fibroelastom der Mitralklappe.
a Die intraoperativ durchgeführte Echtzeit-3D-TEE zeigt den breitbasigen Stiel (Pfeile) des Klappentumors.
b Intraoperativer Situs im Rahmen der chirurgischen Tumorresektion. Hierbei wird die Breitbasigkeit des kurzen Tumorstiels bestätigt.

Literatur

- [1] Balzer J, van Hall S, Rassaf T et al. Feasibility, safety, and efficacy of real-time three-dimensional transoesophageal echocardiography for guiding device closure of interatrial communications: initial clinical experience and impact on radiation exposure. *Eur J Echocardiogr* 2010; 11(1): 1–8
- [2] Bansal RC, Shakudo M, Shah PM. Biplane transesophageal echocardiography: technique, image orientation, and preliminary experience in 131 patients. *J Am Soc Echocardiogr* 1990; 3: 348–366
- [3] Bartel T, Konorza T, Neudorf U et al. Intracardiac echocardiography: an ideal guiding tool for device closure of interatrial communications. *Eur J Echocardiogr* 2005; 6: 92–96
- [4] Böhnhof JA, Linhart P. Transösophageale mediastinale Sonographie – Herz und Gefäße. *Verh Dtsch Ges Inn Med.* 1984; 90: 1403–1405
- [5] Brosnan RB, Crowley AL, Russo CA et al. Transesophageal assessment of left atrial thrombus using a 3,3-mm monoplane probe. *J Am Soc Echocardiogr* 2005; 18: 1381–1384
- [6] Carleton RA, Clark JG. Measurements of left ventricular diameter in the dog by cardiac catheterisation. Validation and physiologic meaningfulness of an ultrasonic technique. *Circ Res* 1968; 22: 545–548
- [7] Chang GL, Lynch M, Randolph PM. Diagnosis of esophageal echocardiography: a mimicker of aortic disease. *J Am Soc Echocardiogr* 1997; 10: 231–235
- [8] Cieszynski T. Intracardiac method for the investigation of the structure of the heart with the aid of ultrasonics. *Arch Immun Ter Dosw* 1960; 8: 551–557
- [9] Cohen GI, White M, Sochowski RA, et al. Reference values for normal adult transesophageal echocardiographic measurements. *J Am Soc Echocardiogr* 1995; 8: 221–230
- [10] Daigle RE, Miller CW, Hinstead MB et al. Nontraumatic aortic blood flow sensing using an ultrasonic esophageal probe. *J Appl Physiol* 1975; 38: 6
- [11] Daniel WG, Erbel R, Kasper W et al. Safety of transesophageal echocardiography: A multicenter survey of 10.419 examinations. *Circulation* 1991; 83: 817–821
- [12] DiMugno EP, Buxton JL, Regan PT et al. Ultrasonic endoscope. *Lancet* 1980; i: 629
- [13] Edler J, Hertz CH, Gustafson A et al. The movements of the heart valves recorded by ultrasound. *Nord Med* 1960; 64: 1178
- [14] Edler J, Hertz CH. The use of ultrasonic reflectoscope for the continuous recording of the movements of heart walls. *Kungl Fysiogr Sällskapet in Lund förhandlingar* 1954; 24
- [15] Effert S, Erkens H, Grosse-Brockhoff F. Über die Anwendung des Ultraschall-echoverfahrens in der Herzdiagnostik. *Dtsch Med Wochenschr* 1957; 82: 1253
- [16] Effert S, Sachs L, Bleifeld W. Formale und zeitliche Beziehung zwischen Oesophagoatriogramm und Ultraschallkardiogramm. *Z. Kreisl.-Forsch* 1966; 55: 154
- [17] Eggleton RC, Townsend C, Herrick J et al. Ultrasonic visualization of left ventricular dynamics. *Ultrasonics* 1970; 17: 143–153
- [18] Feigenbaum H, Pop RL, Chip JN et al. Left ventricular wall thickness measured by ultrasound. *Arch Intern Med* 1968; 121: 391
- [19] Feigenbaum H. Ultrasound measurement of the left ventricle: A correlative study with angiocardiography. *Circulation* 1971; 44: 575
- [20] Frazin L, Talano JV, Stephanides L et al. Esophageal echocardiography. *Circulation* 1976; 54: 102–108
- [21] Greim CA, Brederlau J, Belke C et al. Erste klinische Erfahrungen mit der transnasalen ösophagealen Echokardiographie. *Anaesthesist* 1998; 47: 111–115
- [22] Handke M, Heinrichs G, Moser U et al. Transesophageal real-time 3D-echocardiography – methods and initial in-vitro and human in-vivo studies *J Am Coll Cardiol* 2006; 48: 2070–2076
- [23] Hisanaga K, Hisanaga A, Hibi N et al. High-speed rotating scanner for transesophageal cross-sectional echocardiography. *Am J Cardiol* 1980; 46: 837–842
- [24] Keidel WD. Über eine neue Methode zur Registrierung der Volumenänderungen des Herzens am Menschen. *Z. Kreisl Forsch* 1950; 39: 257
- [25] Khandheria BK, Oh J. Transesophageal echocardiography: State-of-the-art and future directions. *Am J Cardiol* 1992; 69: 61H–75H
- [26] Klein AL, Grimm RA, Murray RD et al. Use of transesophageal echocardiography to guide cardioversion in patients with atrial fibrillation. *N Engl J Med* 2001; 344: 1411–1420
- [27] Kobal S, Pollick C, Atar S et al. Stress echocardiography in octogenarians: Transesophageal atrial pacing is accurate, safe, and well tolerated. *J Am Soc Echocardiogr* 2006; 19: 1012–1016
- [28] Kronzon I, Tunick P, Scholten MF et al. Combined transesophageal echocardiography and transesophageal cardioversion probe: Technical aspects. *J Am Soc Echocardiogr* 2005; 18: 213–215
- [29] Lam J, Neirotti RA, Hardjiwijono R et al. Transesophageal echocardiography with the use of a four-millimeter probe. *J Am Soc Echocardiogr* 1997; 10: 499–504
- [30] Lambert H, Kreis A, Trümper H et al. Simultaneous transesophageal two-dimensional echocardiography: A new method of stress echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1990; 16,5: 1143–1153
- [31] Lambert H, Menzel T, Stellwaag M. Biplane transösophageale Echokardiographie – Diagnostischer Zugewinn zur monoplanen Technik. *Herz* 1993; 5: 278–289
- [32] Lambert H, Menzel T, Stellwaag M. New miniaturized versus conventional biplane transesophageal transducers: Recent clinical experience in adults. *J Am Soc Echocardiogr* 1995; 8: 527–535
- [33] Matsumoto M, Hanrath P, Kremer P et al. The evaluation of leftventricular function by transesophageal M-mode exercise echocardiography. In: Hanrath P, Bleifeld W, Souquet J, eds. *Cardiovascular Diagnosis by Ultrasound*. Martinus Nijhoff Publishers; 1982: 227–236
- [34] Muhiudeen IA, Silverman NH, Anderson RH. Transesophageal transgastric echocardiography in infants and children: the subcostal view equivalent. *J Am Soc Echocardiogr* 1995; 8: 231–244
- [35] Nucifora G, Faletta FF, Regoli F et al. Evaluation of the left atrial appendage with real-time 3-dimensional transesophageal echocardiography: implications for catheter-based left atrial appendage closure. *Circ Cardiovasc Imaging* 2011; 4 (5): 514–523
- [36] Olson RM, Shelton DK. A nondestructive technique to measure wall displacement in the thoracic aorta. *J Appl Physiol* 1972; 32: 147–151
- [37] Omoto R, Atsumi K, Suma K et al. Ultrasonic intravenous sonde. 2nd report. *Med Ultrason (Jpn)* 1963; 1: 11
- [38] Pearlman AS, Gaaden JM, Martin RP et al. Task force IV. Training in echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 1992; 5: 187–194
- [39] Pearson AC, Castello R, Labovitz AJ et al. Safety and utility of transesophageal echocardiography in the critically ill patient. *Am Heart J* 1990; 119: 1083–1089
- [40] Pearson GD, Karr SS, Trachiotis GD et al. A retrospective review of the role of

- transesophageal echocardiography in aortic and cardiac trauma in a level I pediatric trauma center. *J Am Soc Echocardiogr* 1997; 10: 946–955
- [41] Schlosshan D, Aggarwal G, Mathur G et al. Real-time 3D transesophageal echocardiography for the evaluation of rheumatic mitral stenosis. *JACC Cardiovasc Imaging* 2011; 4(6): 580–588
- [42] Schneider C. et al. Handheld vs. conventional transesophageal echocardiography in non-cardiac surgical intensive care unit patients. *Ultraschall in Med* 2008; 29: 531–534
- [43] Seward JB, Khandheria BK, Edwards WD et al. Biplanar transesophageal echocardiography: Anatomic correlations, image orientation, and clinical applications. *Mayo Clin Proc* 1990; 65: 1193–1213
- [44] Seward JB, Khandheira BK, Freeman WK et al. Multiplane transesophageal echocardiography: Image orientation, examination technique, anatomic correlations, and clinical applications. *Mayo Clin Proc.* 1993; 68: 523–551
- [45] Seward JB, Khandheria BK, Oh JK et al. Transesophageal echocardiography: Technique, anatomic correlations, implementation, and clinical applications. *Mayo Clin Proc* 1988; 63: 649–680
- [46] Seward JB, Khandheria BK, Oh JK et al. Critical appraisal of transesophageal echocardiography: limitations, pitfalls, and complications. *J Am Soc Echocardiogr* 1992; 5: 288–305
- [47] Side CG, Gosling RG. Non-surgical assessment of cardiac function. *Nature* 1971; 232: 335
- [48] Sloth E, Hasenkam JM, Srensen KE et al. Pediatric multiplane transesophageal echocardiography in congenital heart disease: new possibilities with a miniaturized probe. *J Am Soc Echocardiogr* 1996; 9: 622–628
- [49] Souquet J, Hanrath P, Zitelli L et al. Transesophageal phased array for imaging the heart. *IEEE Trans Biomed Engineer* 1982; 29: 707
- [50] Spencer KT, Krauss D, Thurn J et al. Transnasal transesophageal echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 1997; 10: 728–737
- [51] Stoddard MF, Liddel NE, Longaker RA et al. Transesophageal echocardiography: Normal variants and mimickers. *Am Heart J* 1992; 1587–1598
- [52] Stümper O, Fraser AG, Ho SY et al. Transesophageal echocardiography in the longitudinal axis: correlation between anatomy and images and its clinical implications. *Br Heart J* 1990; 64: 282–288
- [53] Tallarico D, Chavari PA, Critelli G et al. Visualization of right atrial tumor mass with transesophageal echocardiography through nasal way. *J Am Soc Echocardiogr* 2005; 18: 69f
- [54] Tallarico D, Chavari PA, Mollo P et al. Mitral paraprosthetic leak diagnosed by transesophageal echocardiography through nasal way. *Eur J Echocardiogr* 2005; 6: 291–293
- [55] Tsang W, Weinert L, Sugeng L et al. The value of three-dimensional echocardiography derived mitral valve parametric maps and the role of experience in the diagnosis of pathology. *J Am Soc Echocardiogr* 2011; 24(8): 860–867