

Transösophageale Echokardiografie

für Intensivmediziner und Anästhesisten

Clemens-Alexander Greim
Norbert Roewer

 Online-Version in der eRef

4., unveränderte Auflage

mit über 200
Bildschleifen
inkl. 3D-Echo-
kardiografie



Thieme

Transösophageale Echokardiografie

für Intensivmediziner und Anästhesisten

nach den Richtlinien der
DGAI, ASE/SCA und DGK

Clemens-Alexander Greim
Norbert Roewer

4., unveränderte Auflage

312 Abbildungen

Georg Thieme Verlag
Stuttgart · New York

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.

Ihre Meinung ist uns wichtig! Bitte schreiben Sie uns unter:

www.thieme.de/service/feedback.html

1. Auflage 2005
2. Auflage 2007
3. Auflage 2012

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

Printed in Italy

Lektorat: Julia Waldherr, Billigheim
Zeichnungen: BITmap, Mannheim
Umschlaggestaltung: Thieme Gruppe
Umschlaggrafik: Martina Berge, Erbach
Satz: primustype Hurler GmbH, Notzingen
gesetzt in UltraXML
Druck: L.E.G.O. s.p.A. in Lavis (TN) – Italien

DOI: 10.1055/b-006-149285

ISBN 978-3-13-242478-4 1 2 3 4 5 6

Auch erhältlich als E-Book:
eISBN (PDF) 978-3-13-242487-6
eISBN (epub) 978-3-13-242488-3

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.

Geschützte Warennamen (Warenzeichen) 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.

Vorwort

Die perioperative TEE ist aus dem Portfolio der Anästhesiologie und Intensivmedizin nicht mehr wegzudenken. Umso erfreulicher ist es, dass die DGAI die TEE schon frühzeitig als wichtigen Bestandteil der Weiterbildung erkannt und ein entsprechendes Ausbildungsangebot entwickelt hat.

Das vorliegende Taschenbuch hat sich als Begleitlektüre der von der DGAI zertifizierten TEE-Kurse bewährt und liegt nun in der aktualisierten Auflage vor. Das Buch verknüpft die komplexen Zusammenhänge zwischen der kardialen Anatomie und Physiologie mit der Echokardiografie und wendet sich an diejenigen Kolleginnen und Kollegen, die den Einsatz der TEE auf fundierte Kenntnisse stützen möchten.

Mit der Aufteilung in einen **Allgemeinen** und einen **Speziellen Teil** eignet sich das Buch gleichermaßen für den Einsteiger wie für den fortgeschrittenen Anästhesisten und Intensivmediziner, der die TEE als perioperatives Instrumentarium und in Akutsituationen einsetzen möchte.

In der vorliegenden Neuauflage wurden zahlreiche Inhalte aktualisiert und ergänzt, sowie viele ältere Abbildungen, vor allem aber auch Video-Clips auf der beiliegenden DVD durch neues Material ersetzt. Darüber hinaus vermitteln zusätzliche Video-Clips mit 3D-Echokardiografie ein besseres Verständnis für die kardialen Strukturen.

Die Danksagung der früheren Auflagen gebührt vor allem den Mitarbeitern der Anästhesiologie am Universitätsklinikum Würzburg, Priv.-Doz. Dr. Th. Wurmb, Dr. B. Steinhübel und Hr. Th. Wolf. In der vorliegenden 3. Auflage möchten wir besonders den Kollegen der Anästhesiologie am Klinikum Fulda, Fr. Dr. U. Hein und Hr. R. Simon, wie auch den Kollegen der Kardiologie am Klinikum Fulda, Fr. Dr. M. Emir, Dr. Th. Trepels und Prof. Dr. V. Schächinger herzlich danken, die uns bei der Überarbeitung durch Rat und Tat nachhaltig unterstützt haben.

Wir wünschen dem geneigten Leser eine spannende Lektüre, die den echokardiografischen Blick schärft und das Interesse an der TEE fördert und vertieft.

Fulda/Würzburg im April 2011

C.-A. Greim
N. Roewer

Anschriften

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

Prof. Dr. med. Norbert Roewer
Universitätsklinikum Würzburg
Zentrum Operative Medizin
Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie
Oberdürrbacher Str. 6
97080 Würzburg

Inhaltsverzeichnis

Allgemeiner Teil	2
1 Einordnung und Indikationen der TEE	2
1.1 TEE in der perioperativen Medizin	2
1.1.1 Geschichte und klinische Einführung	2
1.1.2 Einsatzbereiche und Indikationsstellung	4
1.1.3 Qualifikationen	6
1.1.4 Technischer Ausblick	8
1.2 Abgrenzung gegen andere Verfahren	10
2 Physikalische Grundlagen der TEE	16
2.1 Schallphänomene	16
2.2 Doppler-Effekt	22
2.3 Ultraschallverfahren	26
2.3.1 Darstellung im M-Mode	26
2.3.2 Bildgebung im 2D-Verfahren	26
2.3.3 Farb-Doppler-Methode	28
2.3.4 PW-Doppler-Methode	30
2.3.5 CW-Doppler-Methode	34
2.3.6 Color-M-Mode	36
2.3.7 Gewebe-Doppler	36
2.3.8 Automatische Endokarderkennung	36
2.3.9 Automatisierte Wandanalyse	38
2.4 Schallwandler und Bildgebung	38
2.4.1 Echtzeitverfahren	38
2.4.2 Aufteilung des Schallfelds	38
2.4.3 Axiale und laterale Auflösung	38
2.4.4 Signalverarbeitung	40
2.4.5 Darstellung auf dem Monitor	40
2.4.6 TEE-Schallköpfe	40
2.5 Sicherheitsaspekte	42
3 Systematischer Untersuchungsablauf	44
3.1 Vorbereitung des Patienten	44
3.2 Apparative Ausstattung	44
3.2.1 Echokardiographiesystem	44
3.2.2 Sonden für die TEE	46
3.2.3 Kompatibilität	48
3.2.4 Perspektiven	48
3.3 Systemeinstellungen	48
3.4 Einführen der Sonde	50
3.5 Ausgangspositionen der Sonde	54
3.6 Kompletter Untersuchungsgang	58

3.7	Verkürzter Untersuchungsgang	64
3.8	Dokumentation	66
3.9	Reinigung und Desinfektion	66

Spezieller Teil 70

4 Systolische und diastolische Ventrikelfunktion 70

4.1	Funktionelle Grundlagen	70
4.2	Linker Ventrikel	74
4.2.1	Funktionelle Anatomie	74
4.2.2	Standardschnittebenen	74
4.2.3	Untersuchungsgang	74
4.3	Systolische Ventrikelfunktion	76
4.3.1	Kontraktionsverhalten	76
4.3.2	Kontraktionsanalyse	78
4.3.3	Regionale Wandbewegungsanalyse	78
4.3.4	Globale Wandbewegungsanalyse	80
4.3.5	Kontraktilität	82
4.3.6	Tei-Index	84
4.3.7	Ejektionsfraktion	84
4.4	Vorlast und Nachlast	88
4.4.1	Definitionen	88
4.4.2	Vorlast: Volumenmessung	90
4.4.3	Vorlast: Volumenschätzung	92
4.4.4	Nachlast: Determinanten	94
4.4.5	Laplace-Gesetz	96
4.4.6	Wandspannung	96
4.5	Herzeitvolumen	98
4.5.1	Definition	98
4.5.2	Bestimmungsmethoden	98
4.6	Diastolische Ventrikelfunktion	102
4.6.1	Hintergrund und klinische Bedeutung	102
4.6.2	Physiologie der Diastole	104
4.6.3	Messung der diastolischen Funktion	104
4.6.4	Echokardiografische Bestimmungsmethoden	106
4.6.5	Stadien der diastolischen Dysfunktion	108
4.6.6	Interpretation der Flussprofile	110
4.6.7	Praktische Hinweise	110
4.7	Rechter Ventrikel	112

5 Mitralklappe 120

5.1	Grundlagen für die Untersuchung	120
5.1.1	Funktionelle Anatomie	120
5.1.2	Standardschnittebenen	122
5.1.3	Transmitrales Flussprofil	124
5.1.4	Allgemeiner Untersuchungsgang	126
5.1.5	Funktionsstörungen	128
5.2	Mitralklappeninsuffizienz	128
5.2.1	Ursachen und Formen	128

5.2.2	Pathologische Befunde	130
5.2.3	Diagnostische Verfahren.	130
5.2.4	Spezieller Untersuchungsgang	134
5.3	Mitralklappenstenose	134
5.3.1	Ursachen und Formen	134
5.3.2	Pathologische Befunde	136
5.3.3	Diagnostische Verfahren.	136
5.3.4	Spezieller Untersuchungsgang	140

6 Aortenklappe 144

6.1	Grundlagen für die Untersuchung	144
6.1.1	Funktionelle Anatomie	144
6.1.2	Standardschnittebenen.	144
6.1.3	Transaortales Flussprofil	148
6.1.4	Allgemeiner Untersuchungsgang	148
6.1.5	Funktionsstörungen	148
6.2	Aortenklappeninsuffizienz	150
6.2.1	Ursachen und Formen	150
6.2.2	Pathologische Befunde	150
6.2.3	Diagnostische Verfahren.	152
6.2.4	Spezieller Untersuchungsgang	154
6.3	Aortenklappenstenose	156
6.3.1	Ursachen und Formen	156
6.3.2	Pathologische Befunde	158
6.3.3	Diagnostische Verfahren.	158
6.3.4	Spezieller Untersuchungsgang	160

7 Trikuspidal- und Pulmonalklappe 162

7.1	Untersuchung der Trikuspidalklappe	162
7.1.1	Funktionelle Anatomie	162
7.1.2	Standardschnittebenen.	162
7.1.3	Transkuspidales Flussprofil	164
7.1.4	Allgemeiner Untersuchungsgang	164
7.2	Pathologische Befunde der Trikuspidalklappe	166
7.3	Untersuchung der Pulmonalklappe	168
7.4	Pathologische Befunde der Pulmonalklappe	170

8 Aorta 172

8.1	Grundlagen für die Untersuchung	172
8.2	Pathologische Befunde der Aorta	174
8.2.1	Atheromatöse Plaques	174
8.2.2	Aortendissektion	174
8.2.3	Aortenruptur	178
8.2.4	Aortenaneurysma.	180

9 Vorhof- und Ventrikelseptum 182

9.1	Grundlagen für die Untersuchung	182
9.2	Vorhofseptumdefekte beim Erwachsenen	184
9.2.1	Offenes Foramen ovale.	184

9.2.2	Kongenitale Vorhofseptumdefekte	186
9.2.3	Vorhofseptumaneurysma	188
9.3	Ventrikelseptumdefekte beim Erwachsenen	188

10 Künstliche Herzklappen 192

10.1	Allgemeine Grundlagen	192
10.1.1	Herzklappenprothesen	192
10.1.2	Mechanische Prothesen	192
10.1.3	Biologische Prothesen	194
10.1.4	Physiologische Besonderheiten	194
10.2	Echokardiografische Darstellung	194
10.3	Funktionsstörungen	196
10.4	Minimal-invasive Klappenimplantation	198

11 Diagnostische Fallstricke 200

11.1	Ultraschallbedingte Fehlinterpretationen	200
11.2	Anatomiebedingte Fehlinterpretationen	200
11.2.1	Rechtskardiale Befunde	200
11.2.2	Linkskardiale Befunde	202
11.2.3	Klappen und extrakardiale Befunde	204

12 Abklärung einer Kreislaufinstabilität 206

12.1	Physiologische Grundlagen	206
12.2	Echokardiografische Diagnostik	208
12.2.1	Vorteile der TEE	208
12.2.2	Abklärung einzelner Ursachen	208

13 Berechnungen 216

13.1	Prinzipien und Gleichungen	216
13.2	Anwendungen	218
13.3	Fallbeispiele	222

Anhang 225

Weiterbildungsempfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI)	225
Weiterführende Literatur	228
Quellenverzeichnis	229
Sachregister	231

*Man muss etwas Neues machen,
um etwas Neues zu sehen.*

Georg Christoph Lichtenberg,
Aphorismen

Allgemeiner Teil

1 Einordnung und Indikationen der TEE

1.1 TEE in der perioperativen Medizin

1.1.1 Geschichte und klinische Einführung

Erste Sonden. Nachdem Anfang der 1970er Jahre die ersten mit Schallwandlern modifizierten Gastroskope für transösophageale Anwendungen des Ultraschalls eingesetzt worden waren, lieferten Frazin, Hisanaga, DiMagno, Hanrath, Schlüter und Mitarbeiter bis 1981 die wesentlichen technischen Grundlagen für die heute üblichen bildgebenden Schallsonden (Abb. 1.1). Deren Potenzial für die Diagnostik und Überwachung beatmeter Patienten wurde unter anderem von Kremer, Cahalan, Heinrich und Roewer zu Beginn der 1980er Jahre erkannt und zunehmend genutzt.

Perioperative TEE. Die hohe Qualifikationsanforderung an den Untersucher und die erheblichen Beschaffungskosten verzögerten zunächst die Etablierung der TEE in der Anästhesiologie. Auch in der Kardiologie wurde das Verfahren wegen seiner – wenn auch geringen – Invasivität anfangs nur mit Zurückhaltung genutzt. Heute ist die TEE dagegen sowohl bei Kardiologen, Anästhesisten als auch Intensivmedizinern für bestimmte Indikationen das Verfahren der Wahl, wenn die transthorakale Echokardiografie keine ausreichenden Befunde liefert oder z.B. während einer Operation nicht eingesetzt werden kann (Abb. 1.2).

Vorteile des Verfahrens. Die Eigenschaften der TEE als Verfahren für die *perioperative Akutdiagnostik* und die *Überwachung* sind herausragend:

- direkter visueller Zugang zum Herzen
- kardiale Bildgebung im Echtzeitverfahren
- zahlreiche Messverfahren
- Mobilität und bettseitige Anwendung
- geringe Invasivität und hohe Sicherheit des Verfahrens

Bei beatmeten Patienten im Operationssaal und auf der Intensivstation bietet die TEE diagnostische und überwachungstechnische Möglichkeiten, für die die transthorakale Echokardiografie in den meisten Fällen keine Alternative bietet. Im übertragenen Sinn lassen sich vom Ösophagus und Magen aus zahlreiche Fenster mit direktem Blick auf das Herz öffnen. Besonders bei intubierten und beatmeten Patienten kommt die fehlende Interposition von Lungengewebe zwischen dem Herzen und dem Schallkopf der TEE zugute. So liefert das Verfahren im Vergleich zur transthorakalen Echokardiografie nicht nur eine höhere Anzahl verwertbarer kardialer Schnittebenen, sondern auch eine bessere Bildqualität. Der Schallkopf kann zudem in einer bestimmten Position belassen werden, ohne die Hände des Untersuchers zu binden, und liefert kontinuierlich Bilder der eingestellten Schnittebene.

Intraoperativer Einsatz. Die TEE erfüllt somit im Gegensatz zur transthorakalen Echokardiografie ein wichtiges Kriterium für die Überwachung eines beatmeten Patienten während eines herzchirurgischen Eingriffs. Die ersten intraoperativen Anwendungen

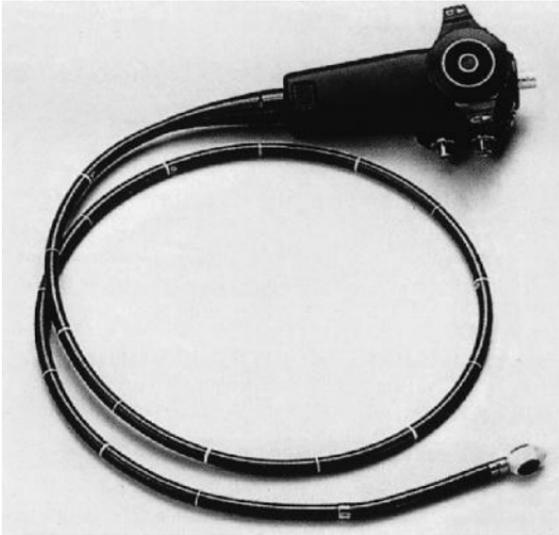


Abb. 1.1 Erstes, in Hamburg entwickeltes transösophageales M-Mode-Echoskop (Quelle: Lambertz. In: Lambertz et al., 2007).



Abb. 1.2 Moderne TEE-Sonden unterscheiden sich äußerlich kaum vom ursprünglichen M-Mode-Echoskop, bieten aber zahlreiche ausgefeilte Zusatztechniken.

der TEE erfolgten in enger Zusammenarbeit zwischen Kardiologen, Kardiochirurgen und Anästhesisten. Sie zielten auf die Beurteilung des Operationserfolges bei Klappenrekonstruktionen und eine frühe Erfassung von intraoperativ neu auftretenden regionalen Wandbewegungsstörungen.

Anästhesie und Intensivmedizin. Wegen ihres innovativen Charakters und der unbestrittenen Vorteile bei beatmeten Patienten erweckte die TEE früh das Interesse von Intensivmedizinern und Anästhesisten. Sie mussten sich jedoch mit Echokardiografie im

Allgemeinen und mit den Einsatzmöglichkeiten der TEE im Speziellen erst vertraut machen und sich entsprechende Kenntnisse und Fertigkeiten aneignen, bevor verbindliche Vorgaben zur perioperativen TEE in den 1999 von der *Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin* (DGAI) veröffentlichten Weiterbildungsrichtlinien niedergeschrieben werden konnten.

Montierung. Im Vergleich zur kardiologischen Routineuntersuchung zielt die perioperative TEE heute eher auf eine kardiale Funktionsanalyse. Zahlreiche Untersuchungen konzentrierten sich bereits in der 1990er Jahren auf automatisierte echokardiografische Verfahren zur Messung der Herzfunktion. Bislang fehlt allerdings der entscheidende Durchbruch zu einem TEE-System, das die typischen Eigenschaften einer kontinuierlichen Herz-Kreislauf-Überwachung aufweist.

1.1.2 Einsatzbereiche und Indikationsstellung

Richtlinien. Fast zwanzig Jahre nach Einführung der TEE lagen Mitte der 1990er Jahre genügend wissenschaftliche Erkenntnisse und klinische Erfahrungen vor, um der perioperativen TEE ein Fundament zu verschaffen. Die 1996 von der American Society of Anesthesiologists zusammen mit der Society of Cardiovascular Anesthesiologists veröffentlichten und 2010 aktualisierten Leitlinien unterteilen die perioperativen Indikationen für die TEE heute nach Evidenzkriterien, denen die aktuelle wissenschaftliche Datenlage sowie die Meinung von Experten zugrunde liegen. Die 1999 veröffentlichten Richtlinien der DGAI werden derzeit überarbeitet.

Indikationen. Neben der evidenzbasierten Einteilung der Indikationen für die perioperative TEE lassen diese sich auch nach der Wertigkeit und der klinischen Relevanz auflisten (Abb.1.3). Damit werden in der Anästhesie, Intensiv- und Notfallmedizin folgende Ziele verfolgt:

- Erweiterte Routineüberwachung bei kardiochirurgischen Patienten und kardialen Risikopatienten:
 - Beurteilung des Kontraktionsverhaltens
 - Schätzung der Ejektionsfraktion
 - Prüfung des Volumenstatus
 - Erkennung akuter Wandbewegungsstörungen (Ischämiedetektion)
 - Emboliedetektion
- Evaluation des hämodynamisch instabilen oder thoraxtraumatisierten Patienten:
 - Stenosen oder Insuffizienzen der Mitralklappe
 - Funktion der Trikuspidal- und Pulmonalklappe
 - Aortendissektion bzw. -ruptur
 - Perikardtamponade
 - Myokardkontusion
 - funktionell offenes Foramen ovale (bei persistierendem Oxygenierungsproblem)
 - kongenitale Herzfehler (bei unbekannter Anamnese)
- Bewertung des kardiochirurgischen Operationserfolgs oder operativer Komplikationen:
 - Korrekturoperation der Mitralklappe
 - Korrekturoperationen kongenitaler Herzfehler
 - Volumenfüllung und Kontraktilität vor und nach extrakorporalem Bypass
 - Luftdetektion vor Abgang von der Herz-Lungen-Maschine
 - Diagnostik bei hämodynamischer Instabilität

TEE bei kardiochirurgischen Eingriffen

- Überwachung von Klappenrekonstruktionen oder Korrekturen kongenitaler Vitien
- Detektion intrakavitärer Luft und paravalvulärer Leckagen bei Klappenprothetik
- Abklärung hämodynamischer Instabilität
- Früherkennung myokardialer Ischämien z. B. nach ACVB-Anlage
- Erkennung aortaler Plaques zur Kontrolle bei Kanülierung
- Überprüfung des OP-Erfolgs bei intrakardialen Raumforderungen
- Kontrolle der Gefäßanastomosen bei Herz- oder Lungentransplantation
- sonstige (z. B. Defi-Implantationen, Lagekontrolle der IABP)

TEE bei sonstigen chirurgischen Eingriffen

- Überwachung kardialer Hochrisikopatienten
- Überwachung bei hohem Risiko einer hämodynamischen Entgleisung
- Früherkennung von Embolien (z. B. Neurochirurgie, Orthopädie)

TEE in der Intensivmedizin

- Evaluierung und Funktionsdiagnostik bei allgemeiner Kreislaufinstabilität
 - Beurteilung der Klappenfunktion
 - Ischämiedetektion
 - Beurteilung der rechts- und linksventrikulären Füllung
 - Abklärung spezieller Verdachtsdiagnosen (z. B. Lungenembolie oder Perikardtamponade)
- Diagnostik spezieller Fragestellungen
 - Beurteilung der Klappenfunktion
 - Abklärung des Verdachts auf Endokarditis
 - Abklärung spezieller kardialer Pathologien (z. B. intrakardiale Shunts)
- „Bedside“-Monitoring kardialer Parameter
 - Kontraktilität bzw. Ejektionsverhalten
 - kardialer Volumenstatus
 - Herzzeitvolumen (diskontinuierlich)

TEE in der Notfallmedizin

- Abklärung ungeklärter Kreislaufinstabilität
- Primärdiagnostik bei Aortendissektion oder -ruptur, Perikardtamponade, Myokardkontusion u. a.

Abb. 1.3 Indikationen und Kontraindikationen der perioperativen TEE nach den Richtlinien der DGAI.

Risikoabwägung. Der Nutzen und das Risiko für den Patienten müssen bei der perioperativen TEE anhand des Gesamtrisikos, der vorliegenden Grunderkrankungen des Patienten, der beabsichtigten Operation sowie der speziellen Fähigkeiten des Untersuchers in Betracht gezogen und gegen die Sicherheit des Verfahrens abgewogen werden. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, die Untersuchung immer mit der Frage nach möglichen Kontraindikationen einzuleiten.

Sicherheit. Obwohl die TEE eine gering invasive und recht sichere Untersuchungsmethode ist, sind die potenziellen Komplikationen nicht zu unterschätzen, allen voran die Perforation der Leitstrukturen im Pharynx, Ösophagus und im oberen Gastrointestinaltrakt (Abb.1.4). Andere, vergleichsweise geringfügige Traumen infolge der TEE sind

Zahn- und Lippenschäden, Schleimhautläsionen im Oropharynx oder Magen, und eine passagere Dysfunktion der Stimmbänder. Mit der am meisten gefürchteten Perforation des Verdauungstraktes ist nach neueren Erkenntnissen bei etwa 0,01–0,03 % der Untersuchungen zu rechnen; nicht immer entsteht daraufhin ein schweres Krankheitsbild.

Perforation. Während eine Schleimhautperforation bei wachen bzw. leicht sedierten kardiologischen Patienten vorwiegend im Hypopharynx und im oberen Ösophagus auftritt, sind bei narkotisierten Patienten eher die distal gelegenen Abschnitte des Ösophagus und der Magen betroffen. Einige Untersuchungen bei kardiochirurgischen Patienten weisen auf das manchmal um Tage verzögerte Auftreten erster klinischer Symptome hin und kalkulieren das intraoperative Perforationsrisiko höher als oben angegeben. Ursächlich sind vor allem Drucknekrosen, mechanische Scherkräfte und thermische Schäden bei unterkühltem und minderperfundiertem Gewebe während des extrakorporalen Bypasses. Zur Erhöhung der Patientensicherheit sollten deshalb insbesondere bei einer intraoperativen TEE folgende Regeln eingehalten werden:

- Vermeidung extensiver Scherkräfte bei maximaler Flexion oder Extension der Sonde, wie z. B. bei der tief transgastralen Einstellung des Vier-Kammer-Blicks
- kein längeres Verweilen der Sonde in ein und derselben Position bei gleichzeitiger Abgabe hoher Schallenergie, insbesondere nicht bei Patienten an der Herz-Lungen-Maschine
- regelmäßige Kontrolle des Arretierungszustandes der Sonde und kein langstreckiges Verschieben der arretierten Sonde
- Beachtung der Kontraindikationen (s. Abb. 1.3)

Kompetenz. Zu den Kontraindikationen ist genau genommen auch die mangelhafte oder fehlende Erfahrung des Untersuchers zu zählen. Das Risiko des Patienten erhöht sich in diesem Fall einerseits wegen der möglicherweise traumatisierenden, weil ungeübten Handhabung der TEE-Sonde, andererseits wegen der Gefahr einer fehlerhaften Befunderhebung und der daraus resultierenden möglichen Vorenthaltung einer Therapie.

Letalität. Die vermutete Rate der Todesfälle infolge einer TEE basiert auf Datenerhebungen aus den kardiologischen, kardiochirurgischen und anästhesiologischen Sektoren und kann mit < 1:10 000 nur grob geschätzt werden. Den wenigen beschriebenen Fällen lagen vor der Untersuchung nicht bekannte schwere pathologische Veränderungen des Ösophagus oder ein schwerstkranker multimorbider Gesamtzustand der Patienten zugrunde.

1.1.3 Qualifikationen

Zertifizierung. Für die Erlangung des Zertifikats „TEE in der Anästhesiologie und Intensivmedizin“ muss eine Prüfung abgelegt werden. Die Richtlinien der DGAI (s. Anhang) regeln neben der Teilnahme an speziellen TEE-Kursen auch die durch einen Supervisor bescheinigten praktischen Untersuchungen sowie weitere Voraussetzungen zur Prüfungszulassung. Der Antrag auf Zulassung wird von der Geschäftsstelle der DGAI an den zuständigen Ausschuss weiterleitet. Die mündlichen Prüfungen erfolgen an den zertifizierten TEE-Weiterbildungsstätten und können durch eine Untersuchung am Patienten ergänzt werden.

Darüber hinausgehend bietet die European Association of Cardiothoracic Anaesthetists (EACTA) in Anlehnung an das nordamerikanische TEE-Examen des US National

Oropharyngeale Perforation, Hypopharynx

Savino JS et al. J Cardiothorac Vasc Anesth 1994; 8:76–8
 Badaoui R et al. Ann Fr Anesth Reanim 1994; 123:850–2
 Spahn DR et al. Anesthesiology 1995; 82:581–3

Perforation Ösophagus/gastroösophagealer Übergang

Kharasch E et al. Anesthesiology 1996; 85:426–8
 Massey SR et al. Br J Anaesth 2000; 84:643–6
 Kallmeyer IJ et al. Anesth Analg 2001; 92:1126–30
 Hoffmann A et al. Z Herz Thorax Gefäßchir 2001; 15:72–5
 Lecharny JB et al. Br J Anaesth 2001; 88:592–4
 Zalunardo M et al. Br J Anaesth 2001; 88:595–7
 Han YY et al. Acta Anaesthesiol Sin 2003; 41:81–4.
 Pong MW et al. Acta Anaesthesiol Sin 2003; 41:155–8
 Nana AM et al. Ann Thorac Surg 2003; 75:1955–7
 Elsayed H Interact Cardiovasc Thorac Surg 2010; 11:380–2

Schleimhautschäden/Mallory-Weiss/ösophageale Blutung

Dewhirst WE et al. Anesthesiology 1990; 73:777–8
 Kihara S et al. Br J Anaesth 1999; 82:948–50
 Latham P et al. Anesth Analg 1995; 81:641–2
 Fujii H et al. Circ J 2003; 67:357–8
 Arora S et al. Echocardiography 2008; 25:328–30

Milzverletzung

Olenchock SA et al. Ann Thorac Surg 2001; 72:2141–3

Herzrhythmusstörungen

Castá AJ. Cardiothorac Vasc Anesth 2008; 22:592–3

Erhöhtes Risiko für Recurrensparese

Sakai T et al. Masui 1999; 48:656–7
 Zwetsch G et al. Anesth Analg 2001; 92:1422–3

Erhöhtes Risiko für Dysphagie

Hogue CW et al. J Thorac Cardiovasc Surg 1995; 110:517–22
 Rousou JA et al. Ann Thorac Surg 2000; 69:486–9

Sicherheit: Mortalität < 0,01 %, Morbidität 0,2 %

Mishra M et al. J Cardiothorac Vasc Anesth 1998; 12:625–32 (5 016 Pat.)
 Daniel WG et al. Circulation 1991; 83:817–21 (10 419 Pat.)
 Kallmeyer IJ et al. Anesth Analg 2001; 92:1126–30 (7 200 Pat.)
 Stevenson JG et al. J Am Soc Echocardiogr 1999; 12:527–32 (1 650 päd. Pat.)

Abb. 1.4 Evidenz für Risiken und Komplikationen der perioperativen TEE.

Board of Echocardiography seit 2005 ein Akkreditierungsverfahren an. Die praktischen Fertigkeiten werden mit Hilfe eines TEE-Untersuchungskatalogs nachgewiesen und müssen durch einen Supervisor bestätigt worden sein.

Nähere Informationen zur Ausbildung und Zertifizierung in der TEE, aber auch Beispiele für die Prüfungsfragen, finden sich auf den Internetseiten der verschiedenen Gesellschaften.

1.1.4 Technischer Ausblick

Portable Ultraschallgeräte. Der Einsatz der Ultraschallverfahren profitiert schon heute von kleinen handlichen Geräten, die den konventionellen High-End-Geräten in der Bildqualität wenig nachstehen (Beispiel s. Abb.1.5). Die technischen Vorteile für den perioperativen Einsatz dieser neuen Gerätegeneration bestehen im schnellen Hochfahren des Bedienerprogramms und im netzunabhängigen Akkubetrieb. Beides trifft den Einsatz des Ultraschallgeräts erheblich und erhöht zusammen mit dem geringen Gewicht auch dessen Flexibilität. Das Einsatzspektrum solcher Geräte lässt sich in der Regel durch die optionale Ausstattung mit verschiedenen Sonografieprogrammen und Schallköpfen erweitern und auf die speziellen Anforderungen in der Anästhesie und perioperativen Intensivmedizin zuschneiden.

Auf dieser Grundlage werden multidisziplinäre und multifunktionelle Ultraschallsysteme heute nicht nur für die Echokardiografie eingesetzt. Sie spielen zunehmend auch eine Rolle als Hilfsmittel

- bei zentralvenösen und arteriellen Kannülierungen,
- bei der Drainage von Pleuraergüssen,
- bei der Blasenkannülierung,
- in der abdominalen Akutdiagnostik bei peripheren Nervenblockaden,
- sowie bei weiteren Aufgabestellungen im Anästhesie- und Intensivbereich.

In der Echokardiografie ist die vor wenigen Jahren noch intensiv betriebene weitere Miniaturisierung der Systeme durch die Entwicklung leistungsstarker multiplaner und 3 D-fähiger TEE-Sonden ins Stocken geraten. Zusätzlich lassen technische Limitationen – kleinere TEE-Schallköpfe erfordern eine reduzierte Anzahl von Schallelementen – und erhebliche Kosten die Entwicklung von kleinen und handlichen TEE-Sonden nur zögerlich vorankommen, obwohl der erste Prototyp einer miniaturisierten TEE-Sonde bereits vor einigen Jahren vorgestellt wurde (Abb.1.6). Eine solche transnasal verschiebbare Sonde wurde beispielsweise in Pilotprojekten bei neurochirurgischen Patienten für eine unmittelbar vor der Narkoseeinleitung durchgeführte Foramen-ovale-Diagnostik genutzt, sofern der Eingriff in sitzender Position des Patienten geplant war. Dadurch konnte das in diesem Fall hohe Risiko eines venösen Lufteintritts für paradoxe Embolien besser abgeschätzt werden. Hinzu kam die Möglichkeit einer intraoperativen TEE-Überwachung bei Kleinkindern, bei denen im Rahmen ausgedehnter Eingriffe mit großem Blutverlust und hohem Volumenumsatz zu rechnen war.

Integration in den Narkosearbeitsplatz. Auch in ergonomischer Hinsicht kommt die technische Miniaturisierung der Ultraschallgeräte und TEE-Sonden dem Einsatz des Verfahrens auf der Intensivstation wie im OP-Bereich zustatten. So ist vorstellbar, dass die TEE künftig als modulares System und integraler Bestandteil eines Narkosearbeitsplatzes in die Überwachung bei operativen Eingriffen oder hämodynamisch instabilen Patienten in der Intensivmedizin einbezogen werden kann (Abb.1.7).



Abb. 1.5 Portables Ultraschallgerät mit TEE-Option.

1

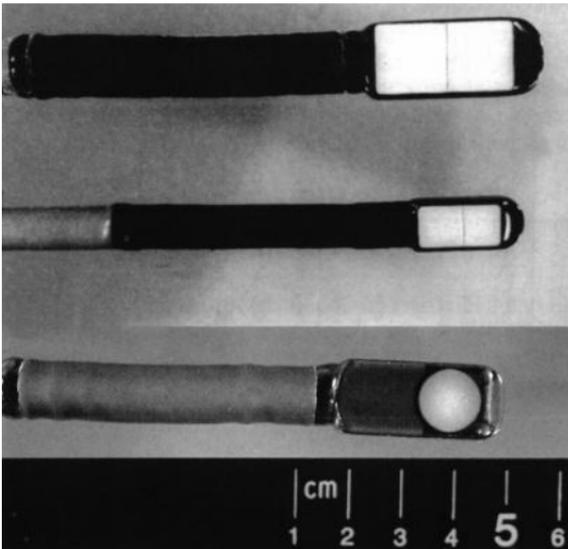


Abb. 1.6 Vergleichende Darstellung der Schallkopfdimensionen. Oben: konventionelles biplanes Echoskop ($14,5 \times 11 \times 43$ mm). Mitte: miniaturisiertes biplanes Echoskop ($9,5 \times 8,4 \times 33$ mm). Unten: multiplaner Schallkopf (128 Elemente). Die Dimension der biplanen Sondenspitze ist identisch mit der des multiplanen Geräts (Quelle: Lethen. In: Flachskampf, 2011)

3D-Echokardiografie. Andere innovative Entwicklungen auf dem Sektor der ultraschallgestützten Bildgebung wie die dreidimensionale Echokardiografie eröffnen Perspektiven nicht nur für eine präzisere Diagnostik, sondern auch für eine kontinuierliche Überwachung der kardialen Füllung (Abb. 1.8). Eine derzeit noch futuristisch anmutende zuverlässige Online-Volumetrie des linken Ventrikels könnte bei bestimmten Fragestellungen eine ernsthafte Alternative zu den sonstigen Verfahren des Herz-Kreislauf-Monitorings darstellen.

1.2 Abgrenzung gegen andere Verfahren

Eigenschaften der TEE. Die wesentlichen Vorteile der TEE gegenüber alternativer Verfahren in der Anästhesiologie und Intensivmedizin sind:

- schneller Einsatz direkt am Patienten
- geringe Invasivität
- kardiale Bildgebung

Insbesondere die direkte visuelle Überwachung der systolischen und diastolischen Herzaktion, die Darstellung der Klappen, die Detektion ischämischer Myokardareale oder eines Perikardergusses etc. prädestinieren die TEE für eine *akute kardiale Funktionsdiagnostik*, während sie für ein kontinuierliches Monitoring des Herz-Kreislaufsystems weniger gut geeignet ist. Dieses liegt auch an der hohen Standardabweichung der Normbereiche und der mangelnden Zuverlässigkeit automatisch generierter echokardiografischer Kenngrößen. Deshalb kommt der TEE bislang nur eine *supplementäre Rolle bei der kontinuierlichen Patientenüberwachung* zu.

Pulmonalarterienkatheter. Zur Messung des Herzzeitvolumens und bestimmter kardialer Funktionsparameter eignen sich sowohl die pulmonalarterielle Katheterisierung als auch die TEE. Die Aussagekraft des pulmonalarteriellen Verschlussdrucks (PAOP) hinsichtlich der linksventrikulären Füllung ist jedoch umstritten. Zwar spiegeln die Änderungen des PAOP meist die Volumensituation korrekt wider, doch lassen sie meist keine Rückschlüsse auf das Ausmaß der kardialen Volumenbelastung zu. Die Ursachen hierfür liegen bei beatmeten Intensivpatienten im variierenden intrathorakalen Druck und in der individuellen myokardialen Compliance. Bei einer zielorientierten Therapie im strengen Sinn („goal-directed-therapy“), etwa bei einem Patienten mit schwerem septischen Krankheitsbild, weist der Pulmonalarterienkatheter jedoch klare Vorteile gegenüber der TEE auf, weil er beispielsweise die regelmäßige Bestimmung der gemischt venösen Sauerstoffsättigung und andere serielle Messungen der Hämodynamik ermöglicht.

Transpulmonale Indikatortechnik. Mit der transpulmonalen Doppel-Indikatortechnik („Indozyangrün“ und „Kälte“) lassen sich neben dem extravasalen Lungenwasser auch das pulmonale, intrathorakale und das totale Blutvolumen bestimmen. Die Methode ist wenig invasiv und bedarf eines in der Regel über die A. femoralis in der Aorta inguinalis platzierten Fiberoptik-Thermistor-Katheters sowie der zentralvenösen Injektion eines gekühlten Farbstoffs. Das intrathorakale Blutvolumen stellt besonders in Phasen einer inkonstanten myokardialen Compliance und weitgehend unabhängig von der Beatmung des Patienten einen präziseren Vorlastparameter als der pulmonalarterielle Okklusionsdruck dar, ist der echokardiografischen Schätzung des linksventrikulären Volumens aber nicht überlegen. Im direkten Vergleich mit der TEE eignen sich die transpulmonalen Indikatortechniken besser für die kontinuierliche kardiale Überwachung, besonders aber für die Diagnostik und Behandlung des Lungenversagens.

Pulskonturanalyse. Das Herzzeitvolumen und die intrathorakalen Volumina können auch mittels einer Pulskonturanalyse bestimmt werden, die über einen Thermistor-Katheter meist in der A. femoralis erhoben wird. Unter der Annahme, dass das Flächenintegral der arteriellen Druckkurve proportional dem kardialen Schlagvolumen ist, liefert die Pulskonturanalyse kontinuierlich Werte für das Herzzeitvolumen und die



Abb. 1.7 Modell eines Narkosearbeitsplatzes mit implementierter TEE.

1

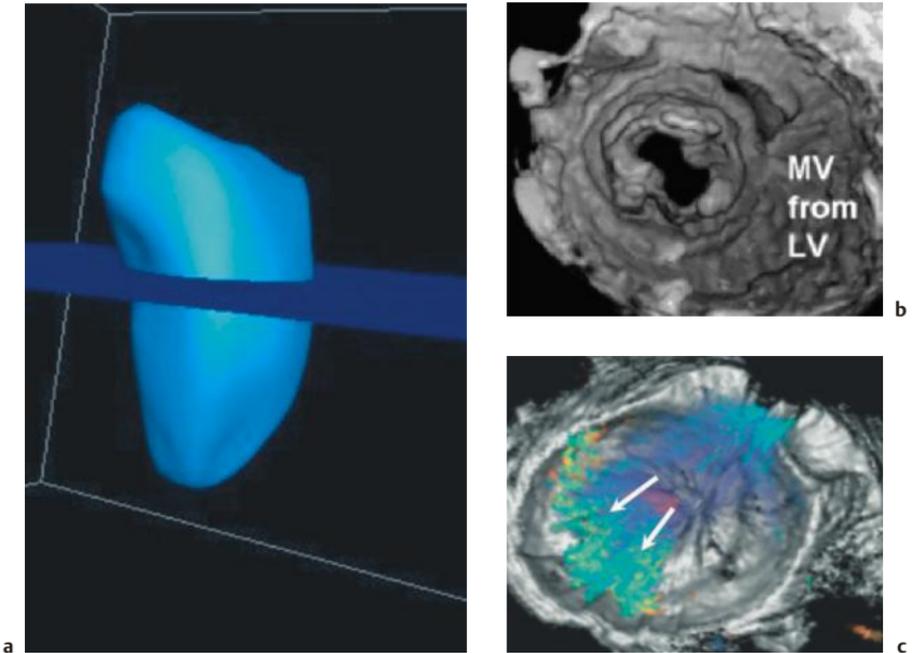


Abb. 1.8 Mit der 3D-Echokardiografie eröffnen sich neue Perspektiven:

- a Kontinuierliche Volumetrie des linken Ventrikels
- b Morphologische Analyse der Mitralklappe
- c Jetrichtung bei Mitralklappeninsuffizienz (Pfeile) während der Systole (Mit freundlicher Genehmigung von Dr. L. Sugeng, New Haven, und Prof. Dr. A. Franke, Hannover)

respirationsbedingte Schlagvolumenvariation. Zur Kalibrierung des Systems wird die oben beschriebene transpulmonale Indikatorstechnik mit zentralvenöser Injektion eines Kältebolus benutzt. Mehrere Untersuchungen belegen den hohen Wert der Pulskonturanalyse für die Überwachung der kardialen Vorlast. Bei dieser Indikation wird die kardiale Füllung online anhand der Schlagvolumenvariation überwacht und im Falle eines Volumenmangels mit dem Ziel einer Variationsminderung durch Infusionen optimiert. Einen ähnlicher Ansatz verfolgt auch eine bislang jedoch nicht etablierte TEE-Methode, mit der der Volumenstatus anhand der respirationsbedingten Variation der transösophageal gemessenen aortalen Blutflussgeschwindigkeit ermittelt wird.

Transösophageale vs. Transthorakale Echokardiografie. Bei beatmeten Intensivpatienten erübrigt eine transthorakale Untersuchung eine TEE möglicherweise, wenn die Ausgangsfrage mit einer gezielten transthorakalen Einstellung umfassend beantwortet werden kann. Die Schnittebenen entsprechen sich im Wesentlichen (Abb.1.9 und Abb.1.10). Der *allgemeine* Informationsgewinn ist bei der TEE allerdings deutlich höher als bei der transthorakalen Echokardiografie. Auch wenn die transthorakale Echokardiografie wegen der fehlenden Invasivität das Verfahren der Wahl ist, liegen die allgemeinen Vorteile der TEE insbesondere bei beatmeten Patienten grundsätzlich auf der Hand:

- höherwertige und umfangreichere Visualisierung der kardialen Strukturen
- keine Schallüberlagerung durch Lungengewebe, Verbände, Drainagen und Ödeme
- besserer Zugang bei eingeschränkt mobilisierbaren beatmeten Intensivpatienten

Die Versagerquote der transthorakalen Echokardiografie beträgt je nach Fragestellung bei beatmeten Intensivpatienten bis zu ca. 25%. Bei einigen *speziellen* Fragestellungen zur Abklärung eines hämodynamischen Schockzustandes ist die transthorakale Untersuchung unter Umständen jedoch ausreichend. So wird das Linksherzversagen mit der transthorakalen Echokardiografie bei beatmeten Patienten mit einer Sensitivität von 100% und einer Spezifität von 95% recht zuverlässig diagnostiziert, wenn gute Schallbedingungen vorherrschen.

Wegen der praktisch für den Patienten gefahrlosen transthorakalen Untersuchung (Abb.1.11 und Abb.1.12) ist der potenzielle Nutzen der TEE im Einzelfall schon aus forensischen Gründen immer sorgfältig gegen das Invasivitätsbedingte Risiko abzuwägen, auch wenn dieses gering ist.

Die folgenden Verdachtsdiagnosen stützen einen primären Einsatz der TEE zu deren Abklärung auf der Grundlage von Evidenz:

- unerklärte hämodynamische Instabilität kardialer Ursache
- Myokardkontusion
- Endokarditis
- intrakardiale Thromben
- Aortenruptur/-dissektion

Bei einer Klappenendokarditis liegt die Sensitivität der transthorakalen Echokardiografie im direkten Vergleich mit der TEE selbst unter optimalen Schallbedingungen bei Nativklappen um ca. 20%, bei prothetischem Herzklappenersatz sogar um ca. 40% niedriger. Ebenso erwies die TEE sich in Studien bei der Erkennung einer *Myokardkontusion* (34% vs. 11%), eines *Hämomediastinums* (25% vs. 4%) und einer *Aortenruptur* (10% vs. 2%) als wesentlich sensitiver.

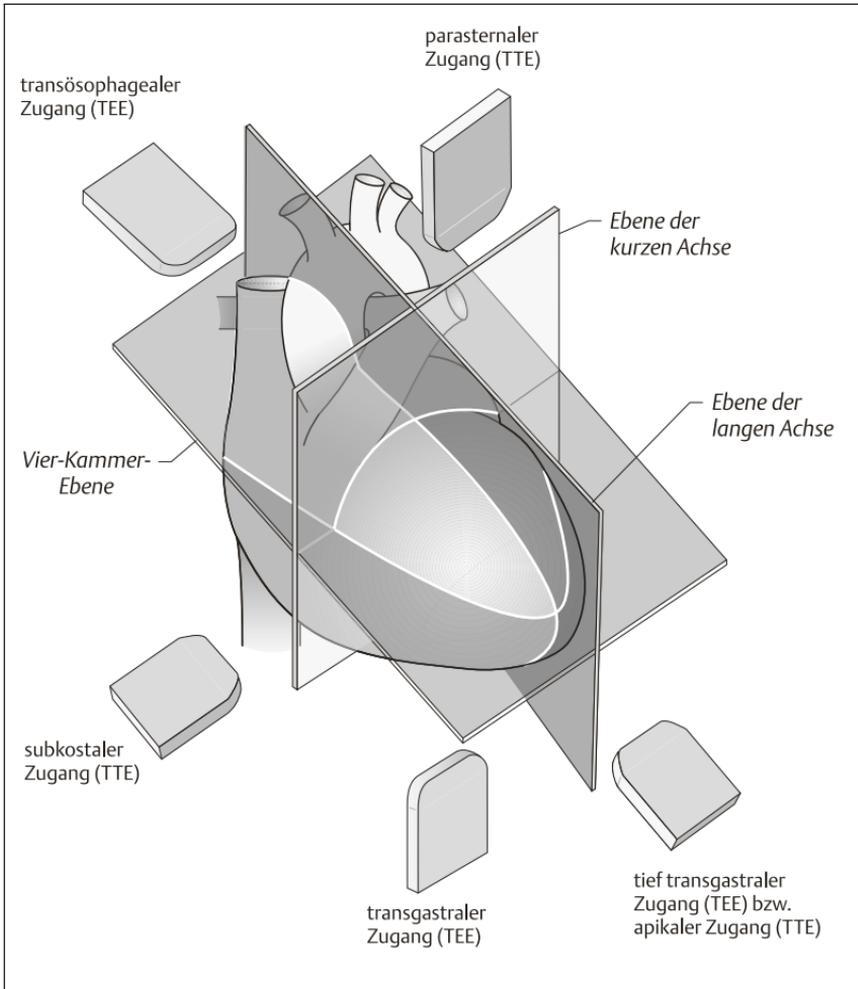


Abb. 1.9 Die wichtigsten transösophagealen und transthorakalen Schnittebenen (lange Achse, kurze Achse, Vier-Kammer-Ebene) sind nahezu identisch, die Perspektiven sind jedoch entgegengesetzt.

Periphere *arterielle Embolien* als Ursache für einen zerebralen Insult oder einen Mesenterialinfarkt lassen sich mit der TEE ebenfalls besser abklären als mit der transthorakalen Echokardiografie. Die TEE ist in diesen Fällen das Verfahren der Wahl, um eine intrakardiale oder aortale Thrombosierung als Quelle der Embolie auszuschließen. Bei Patienten mit länger bestehender absoluter Arrhythmie wird die TEE heute standardmäßig von Kardiologen zum Ausschluss von linksatrialen Thromben im Herzohr herangezogen, bevor eine elektrische Kardioversion erfolgt.