

Anaesthesist 2009 · 58:1123–1135
 DOI 10.1007/s00101-009-1620-2
 Online publiziert: 30. September 2009
 © Springer Medizin Verlag 2009

Redaktion

A. E. Goetz, Hamburg
 M. Jöhr, Luzern
 T. Koch, Dresden
 C. Werner, Mainz

E. Schmid¹ · M. Nowak² · K. Unertl¹ · P. Rosenberger¹

¹ Universitätsklinik für Anaesthesiologie und Intensivmedizin,
 Eberhard-Karls-Universität, Tübingen

² Department of Anesthesiology and Perioperative Medicine, Brigham
 and Women's Hospital, Harvard Medical School, Boston

Intraoperative Echokardiographie

Einfluss auf das chirurgische Management

Die vorliegende Übersichtsarbeit fasst den Einfluss der intraoperativen Echokardiographie auf das chirurgische Management zusammen. Der Stellenwert eines routinemäßigen Einsatzes der intraoperativen Echokardiographie wird anhand der wichtigsten zu diesem Thema vorliegenden Studien beleuchtet und dem Leser eine Übersicht der wichtigsten Indikationen zum Einsatz der intraoperativen transösophagealen Echokardiographie (TEE) vermittelt.

Stellenwert und Aussagekraft

Seit Einführung der Echokardiographie in die anästhesiologische und intensivmedizinische Praxis in der Mitte der 1970er Jahre sind ihre Anwendung und ihr Nutzen bei operativen Patienten stetig gewachsen [1]. Dem Untersucher stehen intraoperativ mit der TEE, der epiaortalen Sonographie (EUS) und der transthorakalen Echokardiographie (TTE) mehrere echokardiographische Untersuchungstechniken zur Verfügung. Die intraoperative TEE besitzt von diesen die beste Anwendbarkeit, da sie ohne Unterbrechung und Beeinträchtigung des chirurgischen Vorgehens eingesetzt werden kann. Dies hat dazu geführt, dass die TEE vor allem bei kardiochirurgischen Patienten einen hohen Stellenwert erlangt hat. Durch einen routinemäßigen Einsatz der TEE kommt es bei einem nicht unerheblichen Anteil der Patienten zu einer Beeinflussung klinischer

Entscheidungen und des chirurgischen Managements [2, 3, 4]. Zudem kann die intraoperative TEE bis dato unbekannt pathologische Befunde des Herzens (wie z. B. einen intrakardialen Tumor, eine Dissektion der Aorta oder eine Perikardtamponade) identifizieren und hilft, die funktionellen Folgen dieses Befundes zu beurteilen. Bei Patienten, die intraoperativ einen Herzstillstand erleiden, kann mithilfe der TEE möglicherweise die zugrunde liegende Ursache des Herzstillstands schnell erkannt und so eine frühe therapeutische Intervention eingeleitet werden [5].

Bei operativen Eingriffen am eröffneten Thorax steht dem Untersucher durch die EUS ein zusätzliches Hilfsmittel zur Verfügung. Bei der EUS wird durch das direkte Auflegen des Schallkopfes auf die zu untersuchenden kardialen oder thorakalen Strukturen eine äußerst genaue Be-

urteilung dieser Strukturen möglich. Dabei ist die EUS der TEE im Bereich des Aortenbogens deutlich überlegen und wird deshalb oft zur Beurteilung von Kalzifikationen der Aorta und des Aortenbogens herangezogen [6, 7].

Transthorakale Echokardiographie

Die TTE ist die am meisten genutzte echokardiographische Methode, um Patienten präoperativ kardial abzuklären. Eine wichtige Rolle spielt die TTE auch in der Intensivmedizin und kann bei der Beurteilung von hämodynamisch instabilen Patienten zur Diagnosefindung beitragen [8, 9]. Die TTE wird perioperativ eingesetzt, um das kardiale Risiko eines Patienten zu beurteilen. Dabei ist vor allem die funktionelle Leistungsstärke des Herzens, gemessen an der linksventrikulären Ejektionsfrakti-

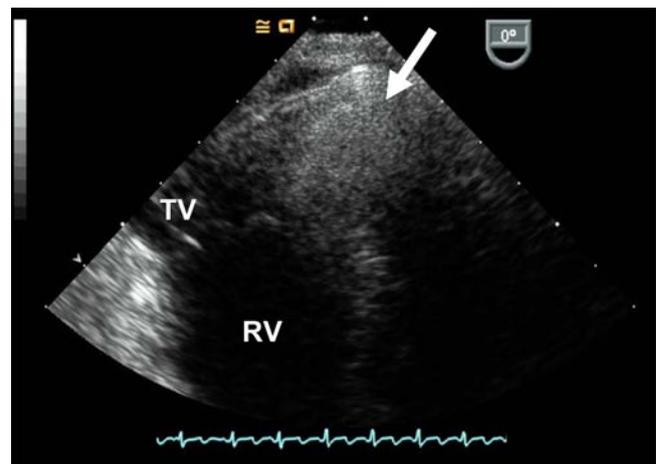


Abb. 1 ▶ Kanüle (Pfeil) des retrograden Kardiooplegiekatheters oberhalb der Trikuspidalklappe im Sinus coronarius in Vierkammeransicht bei 0°-Rotation. TV Trikuspidalklappe, RV rechter Ventrikel

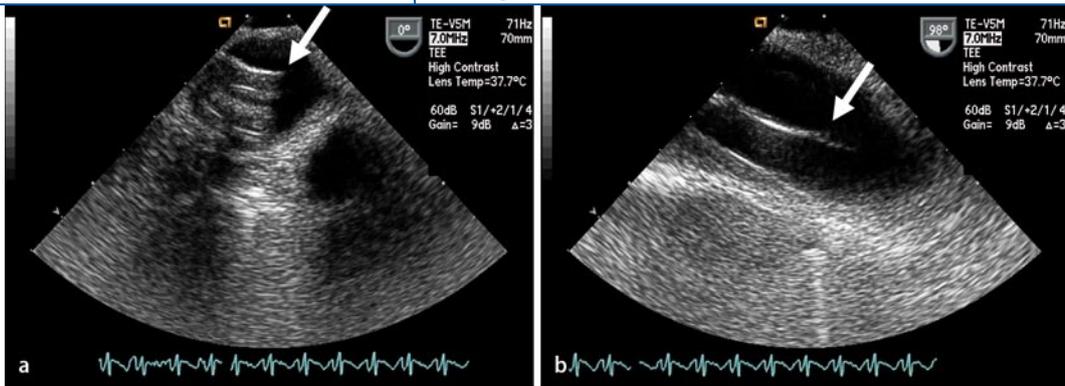


Abb. 2 ◀ Lokalisation der intraaortalen Gegenpulsation (IABP, *Pfeil*) im Lumen der Aorta descendens kurz unterhalb des Abgangs der A. subclavia. **a** 0°-Rotation, **b** Längsachse bei 98°-Rotation

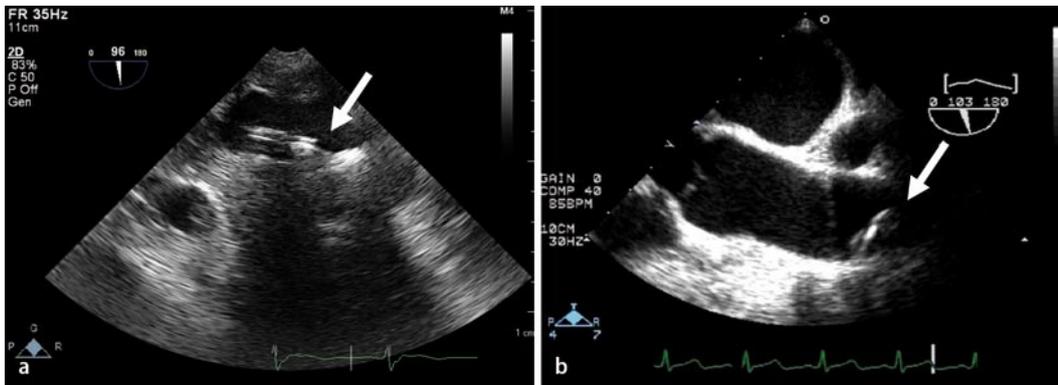


Abb. 3 ◀ **a** Femoral-platzierte venöse Kanüle für die HLM (*Pfeil*) in der V. cava inferior nahe des rechten Vorhofs bei 96°-Rotation. **b** Arterielle Kanüle (*Pfeil*) in der Aorta ascendens bei 103°-Rotation

on, oder das Risiko einer intraoperativen Ischämie, beurteilt durch eine Stressechokardiographie, von Interesse. Zudem sollte die Funktion der Herzklappen beurteilt werden, da diese vor allem bei kardiochirurgischen Patienten von größter Wichtigkeit ist.

Vereinzelte Fallberichte haben den Einsatz der TTE im intraoperativen Umfeld beschrieben. Dabei handelt es sich aber meist um Patienten, die während allgemeinchirurgischer Eingriffe einen intraoperativen Herzstillstand erlitten hatten [10]. Die TTE ist zudem hilfreich, wenn ein Einsatz der TEE kontraindiziert ist, wie z. B. bei Patienten mit schweren Gerinnungsstörungen oder bei Patienten mit vorherigen Ösophaguseingriffen [11]. Variante u. Maldonado [12] konnten anhand von 20 Patienten, die während ihres stationären Aufenthalts einen Herzstillstand erlitten hatten, zeigen, dass eine TTE-Untersuchung während kardiopulmonaler Reanimation technisch möglich ist. Bei 8 dieser Patienten kam es durch den TTE-Befund zu einer spezifischen Therapie, um die zugrunde liegende Ursache zu beheben. Dies unterstreicht den Stellenwert der Echokardiographie als primäre diagnostische Methode während der kardiopulmonalen Reanimation.

Intraoperativ ist der Zugang des Untersuchers zum Thorax des Patienten bei einer Vielzahl von chirurgischen Eingriffen aber nur schwer möglich und in der Kardiochirurgie ausgeschlossen. Dieser Nachteil der TTE und eine gegenüber der TTE überlegene Bildqualität der TEE haben dazu geführt, dass sich die TTE als intraoperatives Routine-Monitoring nicht durchgesetzt hat [5].

Transösophageale Echokardiographie

Bei der TEE befindet sich der Schallkopf am distalen Ende einer beweglichen Sonde, die in den Ösophagus eingeführt und dort belassen wird. Für den routinemäßigen Einsatz der intraoperativen TEE haben die American Society of Anesthesiologists (ASA) und die Society of Cardiovascular Anesthesiologists (SCA) Leitlinien erstellt, die den Einsatz nach dem bisherigen klinischen Kenntnisstand einteilen ([13, 14]; *Infobox 1*). Diese Leitlinien sind in drei Kategorien, basierend auf dem vorliegenden Kenntnisstand („evidence“) und der Meinung eines Expertengremiums, eingeteilt. Dabei sollte der Untersucher beachten, dass sich diese Einteilung auf eine klinische Problematik und nicht

auf individuelle Patienten bezieht. So kann z. B. ein Patient, der zunächst nur eine Indikation der Kategorie III für den Einsatz der intraoperativen TEE besitzt, während eines operativen Eingriffs hämodynamisch instabil werden und somit eine Indikation der Kategorie I aufweisen.

Bereits 1995 setzten mehr als 90% aller Ausbildungsprogramme in den USA die TEE intraoperativ ein und hatten ein strukturiertes Curriculum zur Ausbildung in der TEE in ihre ärztliche Weiterbildung integriert [1]. Diese hohe Zahl des perioperativen Einsatzes der TEE wurde auch in einer Studie unter kanadischen Anästhesisten reflektiert, bei der 92% aller befragten Anästhesisten angaben, dass sie die TEE in ihrer Klinik intraoperativ routinemäßig einsetzen [15]. Diese routinemäßige intraoperative Anwendung dient vor allem bei kardiochirurgischen Patienten dazu, wichtige Informationen vor und nach dem Einsatz der Herz-Lungen-Maschine (HLM; [1, 16, 17, 18, 19]) zu gewinnen. Dabei hat aber nur eine geringe Anzahl von Studien den Einfluss der intraoperativen TEE auf das perioperative chirurgische Vorgehen systematisch evaluiert [2, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26]. Obwohl einige dieser Studien durch eine geringe Patientenzahl limitiert sind,

liegen aber auch aussagekräftige Untersuchungen mit großen Patientenzahlen vor, die Rückschlüsse auf den routinemäßigen Einsatz der TEE und deren Auswirkungen auf das chirurgische Management zulassen [2, 4]. Die intraoperative TEE ist mittlerweile zudem wichtiger Teil des Managements von Patienten in der Allgemeinchirurgie, der Neurochirurgie und der Orthopädie.

Epiaortale Sonographie

Die EUS wurde Mitte der 1970er Jahren als erste echokardiographische Methode intraoperativ eingesetzt, um den Erfolg der Rekonstruktion einer Mitralklappe („mitral valve“, MV) intraoperativ zu überprüfen [35]. Durch den raschen technischen Fortschritt der TEE setzte sich die EUS zunächst nicht durch. Ihre Überlegenheit bei der Beurteilung der Aorta führte aber schließlich doch zu einer Verbreitung dieser Technik [36, 37].

Kardiochirurgische Eingriffe

Aortokoronare-Venenbypass-Operation

Die TEE bietet bei Patienten, die sich einer Aortokoronaren-Venenbypass-(ACVB-)Operation unterziehen, zunächst einmal die Möglichkeit, eine unzureichende präoperative kardiale Diagnose zu ergänzen. Dies kann vor allem bei Notfalleingriffen ohne systematische präoperative Abklärung hilfreich sein. Der Untersucher kann mithilfe der intraoperativen TEE die systolische und die diastolische Funktion des Myokards beurteilen und dabei pathologische Veränderungen dem zugehörigen koronaren Versorgungsgebiet zuordnen. Zusätzlich ermöglicht die TEE die Beurteilung der dynamischen Klappenfunktion und des operativen Vorgehens (z. B. Kanülierung der großen Gefäße). Die TEE kann die korrekten Lagen eines retrograden Kardioplegiekatheters im Koronarsinus (■ **Abb. 1**) und einer intraaortalen Gegenpulsation (intraaortale Ballonpumpe, IABP; ■ **Abb. 2**) nach deren Anlagen identifizieren und bestätigen. Sollte eine Kanülierung der femoralen Gefäße zum Anschluss der HLM erfolgen, lässt sich

Zusammenfassung · Abstract

Anaesthesist 2009 · 58:1123–1135 DOI 10.1007/s00101-009-1620-2
© Springer Medizin Verlag 2009

E. Schmid · M. Nowak · K. Unertl · P. Rosenberger

Intraoperative Echokardiographie. Einfluss auf das chirurgische Management

Zusammenfassung

Seit der Einführung der intraoperativen Echokardiographie in die Klinik Mitte der 1970er Jahre sind deren Anwendung und Nutzen im perioperativen Bereich stetig gewachsen. Die intraoperative Echokardiographie spielt vor allem bei herzchirurgischen Patienten eine bedeutende Rolle. Hier stehen dem Untersucher mit der transösophagealen Echokardiographie (TEE) und der epiaortalen Sonographie (EUS) zwei wichtige diagnostische Untersuchungstechniken zur Verfügung. Mit der intraoperativen TEE können Befunde erhoben werden, die Einfluss auf das chirurgische Management haben und somit das Outcome eines Patienten beeinflussen können. Aber auch bei nichtkardiochirurgischen Patienten kann der Einsatz der TEE

sinnvoll sein und zu einer Verbesserung des intraoperativen Managements bei Hochrisikopatienten beitragen. Zudem kann die TEE bei Patienten, die intraoperativ hämodynamisch instabil werden oder kardiopulmonal reanimiert werden müssen, zur Klärung der Ursache beitragen. Durch den in der TEE erhobenen Befund kann so möglicherweise eine weiterführende Therapie veranlasst werden. Ein Vorteil der TEE ist hierbei, dass diese ohne Unterbrechung der chirurgischen Versorgung des Patienten durchgeführt werden kann.

Schlüsselwörter

Transösophageale Echokardiographie · Epiaortale Sonographie · Patientenmanagement · Intraoperativ · Chirurgie

Intraoperative echocardiography. Impact on surgical decision-making

Abstract

Since the introduction of intraoperative echocardiography into clinical practice in the 1970's its use and utility in the perioperative period has become increasingly more evident. Especially in patients undergoing cardiac surgical procedures intraoperative echocardiography has gained great diagnostic importance. Intraoperative transesophageal echocardiography (TEE) and epiaortic ultrasound are two important and complementing diagnostic modalities in this patient population. The clinical information obtained with intraoperative TEE in certain cases might have a direct impact on surgical decision-making and therefore may positively influence patient outcome. In patients undergoing non-cardiac surgical procedures, TEE can be a valuable tool in high-risk patients, in patients experiencing hemodynamic instability or in those suffering intraoperative car-

diac arrest. Intraoperative TEE might allow a primary diagnosis of the underlying etiology and facilitate the institution of further therapeutic interventions. In addition TEE can be performed during ongoing cardiopulmonary resuscitation and does not interfere with patient management. This review introduces the clinician to the current evidence of the impact of intraoperative echocardiography on intraoperative surgical decisions during surgical procedures. It helps the clinician to identify indications and realize the potential applications of intraoperative echocardiography.

Keywords

Transesophageal echocardiography · Epiaortic sonography · Patient management · Intraoperative · Surgery

Tab. 1 Einfluss der intraoperativen transösophagealen Echokardiographie (TEE) auf das chirurgische Management bei kardiochirurgischen Patienten

Studie	Patientenzahl	Auswirkungen
Aortokoronare Venenbypässe		
Savage et al. [23]	82	Chirurgisches Vorgehen modifiziert bei 3,7%, anästhesiologisches Vorgehen bei 2% der Patienten
Mishra et al. [24]	3660	Chirurgisches Vorgehen modifiziert bei 27% der Patienten
Qaddoura et al. [3]	474	Vor HLM 10% neue Befunde durch TEE, chirurgisches Vorgehen bei 3,4% beeinflusst Nach HLM bei 3,2% neue Befunde durch TEE, chirurgisches Vorgehen bei 2% beeinflusst
Eltzschig et al. [4]	3835	Chirurgisches Vorgehen modifiziert bei 5,4% vor HLM und 1,5% nach HLM
Eingriffe an der Mitralklappe		
Stewart et al. [30]	92	6 Patienten benötigten sofortige Revision wegen SAM und >2-gradiger Mitralinsuffizienz
Click et al. [2]	1265	Änderungen des chirurgischen Vorgehens bei 12% vor HLM, bei 6% der Patienten nach HLM Bei 96 Patienten – normale Mitralklappe/kein Eingriff notwendig
Eltzschig et al. [4]	3835	Chirurgisches Vorgehen modifiziert bei 5,4% vor HLM und 1,5% nach HLM
Eingriffe an der Aortenklappe		
Nowrangi et al. [32]	383	Keine Korrektur nach HLM notwendig, bei 13% der Patienten Einfluss auf chirurgisches Vorgehen vor HLM
Mishra et al. [24]	520	Bei 4,2% der Patienten geringfügige Befunde, bei 4,8% wichtige Befunde vor HLM Nach HLM Notwendigkeit von AV-Revision durch TEE festgestellt
Click et al. [2]	844	Bei 14% der Patienten neue Befunde vor HLM, mit Auswirkungen auf das Patientenmanagement Bei 5% der Patienten neue Befunde nach HLM
Shapira et al. [75]	221	Bei 2,8% der Patienten nach HLM: perivalvuläres Leck oder Obstruktion einer Koronararterie
Eltzschig et al. [4]	1823	Chirurgisches Vorgehen bei 6,6% vor HLM und 4,1% nach HLM beeinflusst

Übersicht über die wichtigsten Studien, die den Einsatz der TEE und die Auswirkungen auf das chirurgische Management bei Patienten während einer Aortokoronaren-Venenbypass-Operation, eines Eingriffs an der Mitralklappe und Eingriffen an der Aortenklappe untersucht haben. AV, „aortic valve“, HLM Herz-Lungen-Maschine, SAM, „systolic anterior motion“.

die korrekte Lage sowohl der venösen als auch der arteriellen Kanüle bestätigen, indem diese in den großen thorakalen Gefäßen abgebildet werden, und eine Fehllage vor Institution der HLM verhindern (■ **Abb. 3**). Der Untersucher sollte weiterhin beurteilen, ob ein intraatrialer Septumdefekt vorliegt, ob es während der Phase der extrakorporalen Zirkulation zu einem Überdehnen der Ventrikel kommt und ob durch die Anlage der aortalen Kanüle möglicherweise eine Aortendissektion verursacht wurde.

Eine Reihe von Studien konnte zeigen, dass durch eine systematische intraoperative TEE-Untersuchung Informationen gewonnen werden können, die über die Beurteilung einer Ischämie des Myokards hinausgehen. Anhand von 474 Patienten zeigten Quaddoura et al. [3], dass es bei 10% der Patienten, die sich einer ACVB-Operation unterziehen mussten, intraoperativ zur Erhebung eines oder mehrerer nichtbekannter kardialer Befunde kam. Bei 4,4% dieser Patienten wurde ein zusätzlicher chirurgischer Eingriff durch den TEE-Befund notwendig; bei 1,7% der Betroffenen war ein Eingriff an einer Herzklappe notwendig. In einer kürzlich vorgestellten retrospektiven Stu-

die von Eltzschig et al. [4] an 3935 Patienten wurden diese Zahlen bestätigt. In dieser Studie wurden bei 5,4% der Patienten, die sich einer Routine-ACVB-Operation unterzogen, durch die intraoperative TEE Informationen erhoben, die Auswirkungen auf das chirurgische Vorgehen hatten. Zu diesen Befunden zählten die Identifikation einer interventionsbedürftigen MV, einer interventionsbedürftigen Aortenklappe („aortic valve“, AV) und der Neubefund eines Vorhofseptumdefektes (Foramen ovale oder Ostium secundum). Nach Beendigung der HLM kam es bei 1,5% aller Patienten zu einem klinisch wichtigen Neubefund durch die intraoperative TEE. Aufgrund der starken Myokardwandbewegungsstörungen war bei 0,8% der Patienten ein erneuter Anschluss der extrakorporalen Zirkulation notwendig, um eine Revision des aortokoronaren Bypasses vorzunehmen. Eine Reihe weiterer Studien hat die Auswirkungen der intraoperativen TEE auf das chirurgische Vorgehen in dieser Patientengruppe untersucht. Diese Studien sind dadurch limitiert, dass sie entweder eine gezielte Hochrisikopatientengruppe untersuchten oder nur eine geringe Anzahl von Patienten aufgenommen haben

[23, 27, 28]. Sie zeigen einen sehr hohen Einfluss der TEE auf das chirurgische Vorgehen (bis zu 33%), der aber angesichts des selektierten Patientenkollektivs nicht überbewertet werden darf. Eine Übersicht über die wichtigsten Studien zum Einfluss der TEE auf das Patientenmanagement während ACVB-Operationen gibt ■ **Tab. 1**.

Eingriffe an der Mitralklappe

Die intraoperative TEE spielt bei Eingriffen an der MV eine besonders wichtige Rolle. Priorität hat hierbei zunächst die Beurteilung der zugrunde liegenden pathologischen Befunde der MV, da hierdurch wichtige Informationen für den Operateur und die Planung des operativen Eingriffs gewonnen werden können. Mithilfe der 2D-Echokardiographie können die Ätiologie und das Ausmaß der pathologischen Veränderung der Mitralsegel gut beurteilt werden. Dabei muss der Untersucher beurteilen, ob eine Kalzifikation der Segel und/oder des Klappenrings, eine restriktive Störung (■ **Abb. 4**) oder ein Prolaps der Mitralsegel (■ **Abb. 5**) vorliegt und welches Segment der Mitralsegel betroffen ist. Diese Informationen

Abb. 4 ▶ **a** Posteriores Segel der Mitralklappe mit restriktiver Bewegungseinschränkung, die in einer mittel- bis schwergradigen Mitralinsuffizienz resultiert in der midösophagealen aortalen Längsachse bei 144°-Rotation. **b** Regurgitationsjet in den linken Vorhof, der in Richtung des restriktiven Anteils der MV gerichtet ist (Farbdopplersonographie)

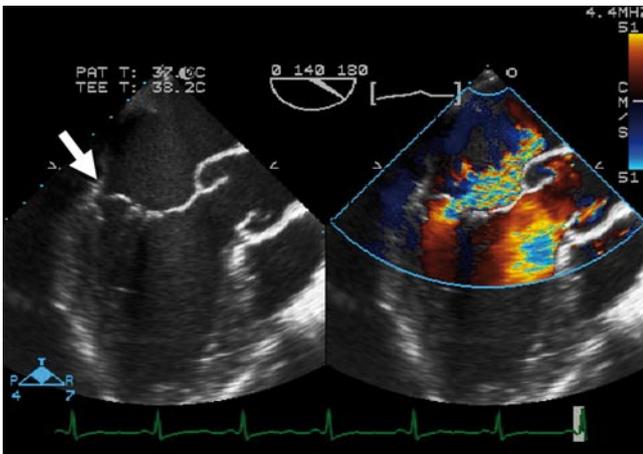
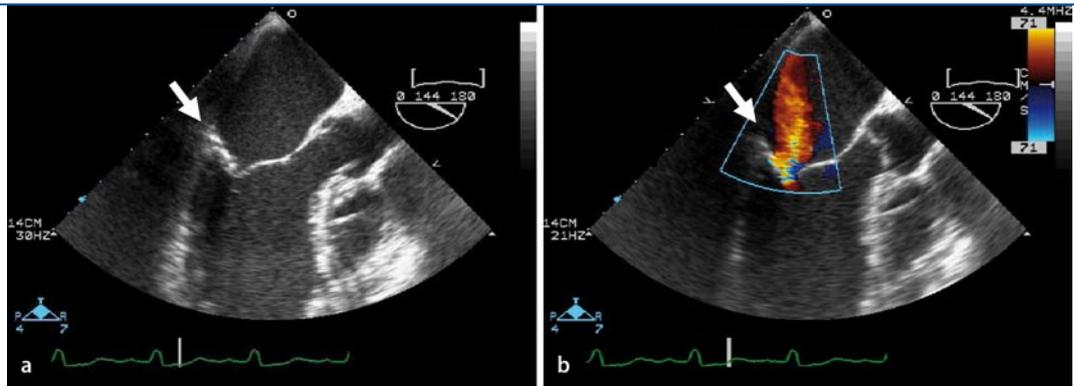


Abb. 5 ▲ Prolaps des posterioren Segels der Mitralklappe (Pfeil) in der midösophagealen aortalen Längsachse bei 142°-Rotation, die in einer mittel- bis schwergradigen Mitralinsuffizienz resultiert, und Regurgitationsjet, der in Richtung des anterioren Mitralsegels gerichtet ist (Farbdopplersonographie)

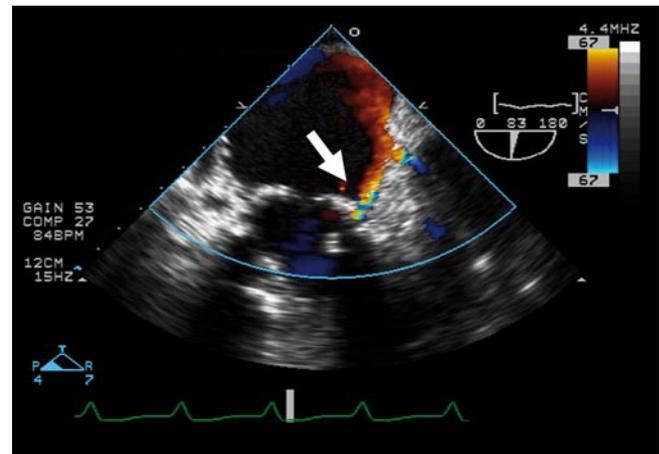


Abb. 6 ▲ Perivalvuläres Leck nach Mitralklappenersatz in der midösophagealen Zweikammeransicht bei 83°-Rotation. Deutlich sichtbarer pathologischer Regurgitationsjet (Pfeil) am Ansatz des Klappenrings in der Position des Übergangs des ursprünglichen Anteils P3 (nach Carpentier), der entlang des posterioren Anteils des Vorhofs bis zum Dach des Vorhofs reicht

können zur Entscheidung beitragen, ob eine MV-Rekonstruktion oder ein MV-Ersatz vorgenommen wird [29]. Nach der extrakorporalen Zirkulation ist es mit der intraoperativen TEE möglich zu evaluieren, ob das operative Ergebnis zufriedenstellend ist, ob ein perivalvuläres Leck (■ **Abb. 6**) oder eventuell das Phänomen der „systolic anterior motion“ (SAM) vorliegt, bei dem es durch das Schleifen eines langen anterioren Mitralsegels zu einer Obstruktion des linksventrikulären Ausflusstraktes kommt (■ **Abb. 7**).

Eine Reihe von Studien hat den Einfluss der intraoperativen TEE auf das chirurgische Vorgehen bei Eingriffen an der Mitralklappe untersucht. Die wichtigsten Arbeiten hierzu sind in ■ **Tab. 1** zusammengestellt. Stewart et al. [30] untersuchten den Einfluss der TEE anhand von 92 Patienten nach Beendigung der HLM und fanden bei 6 dieser Patienten, dass eine sofortige MV-Revision notwendig war. Bei 3 Patienten wurde diese Re-

vision nicht vorgenommen, war aber innerhalb der folgenden 5 Tage erforderlich. In einer weiteren Studie von Sheikh et al. [31] konnte mithilfe der TEE bei 14% der Patienten ein klinisch geringfügiger Befund vor Institution der HLM festgestellt werden. Bei 11% der Patienten wurde aber ein Befund erhoben, der das chirurgische Management beeinflusste. Click et al. [2] konnten anhand von 1265 Patienten zeigen, dass die intraoperative TEE bei 12% der Patienten zu einer Veränderung des chirurgischen Vorgehens vor Beginn der HLM und bei 6% nach Beendigung der HLM führte. In einem Kollektiv von 3660 Patienten zeigten Mishra et al. [24], dass bei Patienten, die sich operativen Eingriffen an der MV unterziehen mussten, eine Veränderung des chirurgischen Vorgehens nach Einsatz der TEE in 20% der Fälle vorkam. Wichtigster Befund in der Studie von Click et al. [2] und Mishra et al. [24] war eine Revision der vorangegangenen MV-

Rekonstruktion/des MV-Ersatzes nach Beendigung der HLM. Die wohl bisher umfangreichste Studie zu diesem Thema wurde von Eltzschig et al. [4] durchgeführt. In diese Studie wurden 1823 Patienten mit MV-Eingriff aufgenommen. Hier kam es bei 5,4% der Patienten vor Beginn der extrakorporalen Zirkulation zu einer Beeinflussung des chirurgischen Vorgehens. Wichtigste Befunde waren eine gleichzeitig interventionsbedürftige Läsion an der Trikuspidalklappe, eine zusätzlich interventionsbedürftige AV und ein neu identifizierter Vorhofseptumdefekt. Nach Beendigung der extrakorporalen Zirkulation kam es bei 1,5% der Patienten zu einer Beeinflussung des chirurgischen Vorgehens; hierbei war eine operative Revision des vorangegangenen MV-Eingriffs die häufigste Intervention [4]. Eine Übersicht über die wichtigsten Studien, die den Einfluss der TEE auf die MV-Chirurgie untersucht haben, findet sich in ■ **Tab. 1**.

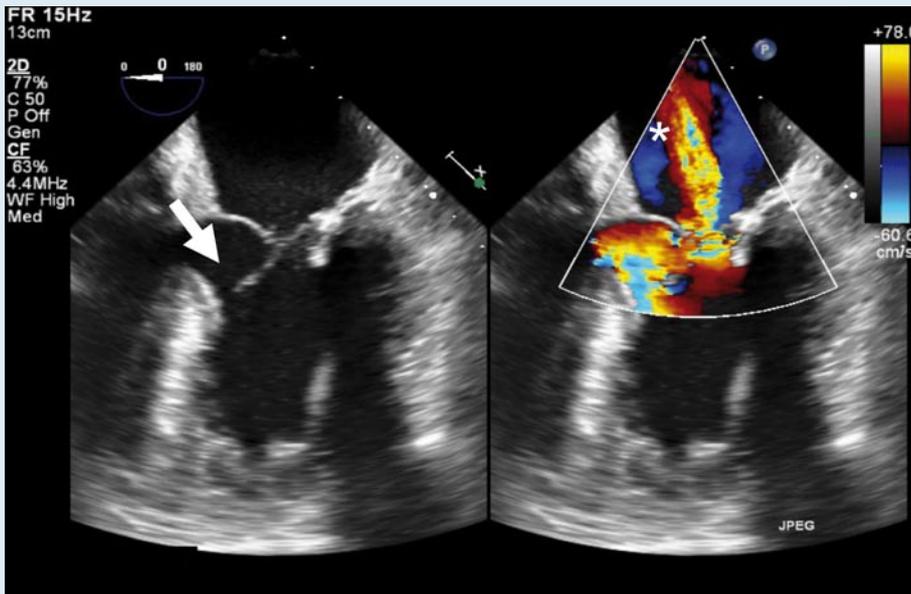


Abb. 7 ◀ Das anteriore Mitralklappensegel (Pfeil) führt zu einer teilweisen Obstruktion des linksventrikulären Ausflusstrakts (midösophageale Vierkammeransicht bei 0°-Rotation) und signifikanter Regurgitationsjet in den linken Vorhof nach insuffizienter Mitralklappenkorrektur mit einem Carpentier-Edwards-Ring bei 0°-Rotation (Stern; Farbdopplersonographie)

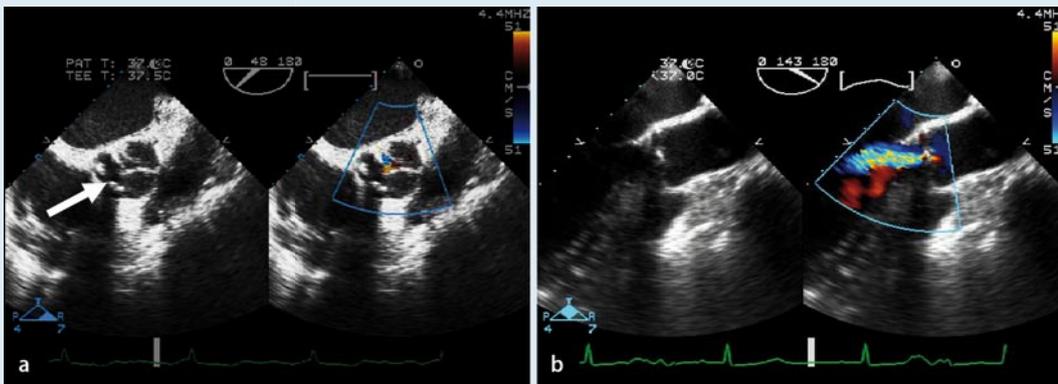


Abb. 8 ▲ **a** Farbdopplersonographievergleich in der midösophagealen Darstellung bei 0°-Rotation. Bei 48°-Rotation in der aortalen Kurzachse zeigen sich *links* eine hochgradig kalzifizierte Aortenklappe mit Stenose und *rechts* ein pathologischer Farbdoppler-Jet während der Systole. **b** Inkompletter Schluss der Aortenklappe und mittel- bis hochgradige Aortensuffizienz bei 143°-Rotation. *Links* inkompletter Schluss der Aortenklappe während der Diastole, *rechts* im Farbdopplersonographievergleich ein Regurgitationsjet, der über das anteriore Mitrablatt reicht

Eingriffe an der Aortenklappe

Die häufigste pathologische AV-Veränderung ist die durch eine Kalzifikation bedingte Stenose (■ **Abb. 8**). Eine Insuffizienz der AV kann im Zusammenhang mit einer solchen AV-Stenose durch die beeinträchtigte Beweglichkeit der Klappensegel auftreten (■ **Abb. 8**). Bei operativen Eingriffen an der AV sollte der vorhandene pathologische Zustand bestätigt werden. Die Lage der arteriellen oder der venösen Kanülen sollte vor allem bei einem minimalinvasiven operativen Zugangsweg überprüft werden. Hierbei wird der Thorax nur partiell eröffnet und die Lage der venösen Kanüle, die durch die V. femoralis eingeführt wird, muss durch die

TEE dargestellt werden. Nach erfolgter operativer Korrektur wird die korrekte Implantation der Klappe beurteilt, aber auch, ob es zu einer Schädigung anatomisch nahe liegender Strukturen (z. B. des anterioren Segels der Mitralklappe) gekommen ist (■ **Abb. 9**). Zudem ist es mit der TEE möglich, Luft innerhalb des linken Ventrikels darzustellen und somit ein ausreichendes Entlüften zu ermöglichen, da eine manuelle Entlüftung des linken Ventrikels bei einem minimalinvasiven Zugangsweg schwierig ist.

Der Einfluss der intraoperativen TEE auf das chirurgische Management bei Eingriffen an der AV wurde von Nowrangi et al. [32] anhand von 386 Patienten untersucht. In dieser Studie kam es bei 13% aller

Patienten zu einer Veränderung des chirurgischen Vorgehens durch den Einsatz der intraoperativen TEE vor extrakorporaler Zirkulation: So wurde ein geplanter Eingriff an der MV nicht durchgeführt, ein neu nachgewiesenes offenes Foramen ovale („patent foramen ovale“, PFO) wurde verschlossen, und es kam zum Zufallsbefund eines intrakardialen Thrombus. Zudem konnten die Untersucher durch die TEE die aortalen Strukturen vermessen und damit die Größe eines für die Korrektur verwendeten aortalen „homograft“ vorab bestimmen. Dies führte zwar nicht zu einer Änderung des chirurgischen Managements, die Dauer der extrakorporalen Zirkulation wurde jedoch deutlich reduziert. In der Studie von Mishra et

Hier steht eine Anzeige.



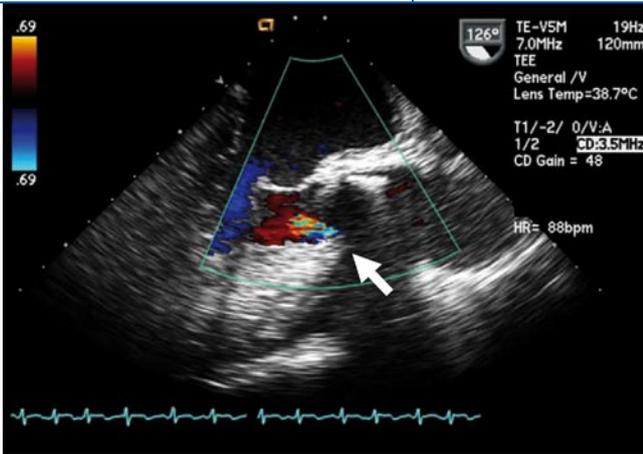


Abb. 9 ▲ Perivalvuläres Leck nach Aortenklappenersatz in der midösophagealen Aortalängsachse bei 126°-Rotation und pathologischer Jet (Pfeil) am Ansatz des Klappenrings nach bioprothetischem Klappenersatz

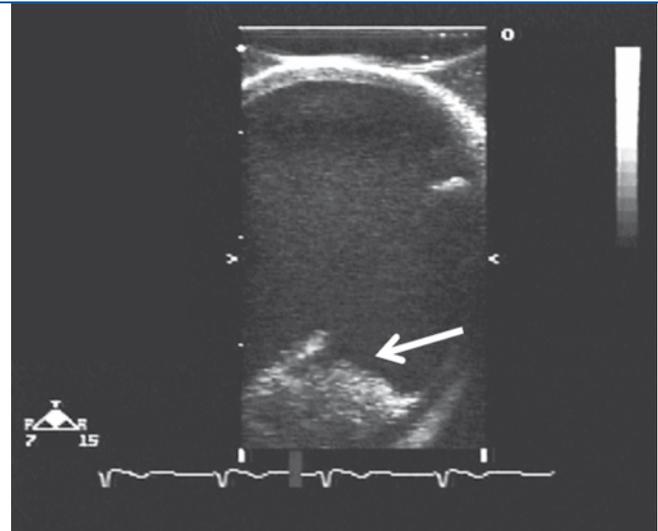


Abb. 10 ▲ Massives Atherom (Pfeil) an der posterioren Wand der Aorta (epiaortale Sonographie)



Abb. 11 ◀ Thrombus in der V. cava inferior (Pfeil) am oberen Ende der Leber bei 54°-Rotation nach orthotoper Lebertransplantation

al. [24] wurden bei 520 Patienten bis dato nichtbekannte pathologische Befunde bei 4,8% der Patienten vor dem operativen Eingriff festgestellt. Nach operativer Korrektur wurden durch die TEE zusätzliche Veränderungen festgestellt. So kam es zur Diagnose von perivalvulären Lecks und neu aufgetretener ischämiebedingter myokardialer Wandbewegungsstörungen, die durch eine Obstruktion der Koronarostien verursacht worden waren. In der bis dato umfangreichsten Studie wurden 1610 Patienten retrospektiv evaluiert [4]. Bei 6,6% dieser Patienten kam es zu einer Beeinflussung des chirurgischen Managements vor extrakorporaler Zirkulation. Dabei wurde bei 1,1% der Patienten auf den zuvor geplanten Eingriff an der MV verzichtet. Bei 2,2% der Patienten wurde das chirurgische Vorgehen nach Beendigung der HLM geändert; 0,7% davon ent-

fielen auf eine Revision der zuvor eingesetzten AV.

Auch in diesem Patientenkollektiv wurde eine Reihe von Studien zum Einfluss der intraoperativen TEE auf das chirurgische Management durchgeführt, die aber aufgrund der geringen Patientenzahl als nichtrepräsentativ einzuschätzen sind [33, 34]. Eine Übersicht über die wichtigsten Studien bei Eingriffen an der AV zeigt

■ **Tab. 1.**

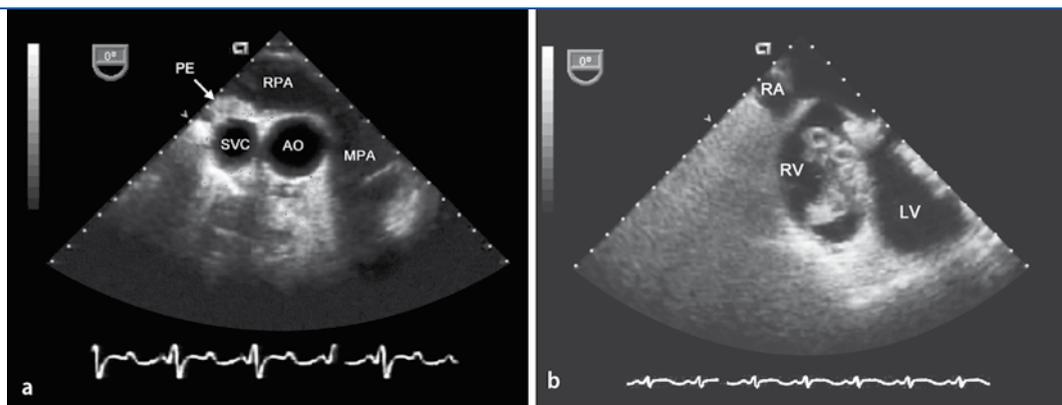
Beurteilungen der Aorta

Bei der epikardialen und epiaortalen Sonographie kommt es durch das direkte Aufsetzen der Ultraschallsonde auf die kardialen und aortalen Strukturen zu einer präzisen Bildgebung und einer guten Beurteilung der untersuchten Strukturen. Die Ultraschallsonde wird hierfür

in einer sterilen Plastikhülle vom Chirurgen direkt auf die zu untersuchenden Strukturen aufgesetzt; der Anästhesist und der Chirurg beurteilen dann gemeinsam die visualisierte Struktur. Dabei können an der Aorta der Grad der atherosklerotischen Veränderungen, die Stelle einer möglichen aortalen Kanülierung und Klemmung beurteilt sowie Kalzifikationen identifiziert werden. Eine Manipulation der Aorta an Stellen, die starke Kalzifikationen aufweisen, sollte vermieden werden, um eine Verschleppung in die systemische Zirkulation zu verhindern (■ **Abb. 10**; [38, 39, 40]).

Eine Reihe von Studien hat den Zusammenhang zwischen EUS, chirurgischem Vorgehen und klinischem Patienten-Outcome untersucht. Roysse et al. [37] konnten demonstrieren, dass die EUS der TEE und auch der manuellen Palpation der Aorta zur Identifikation von Atheromen überlegen ist. In einer weiteren Studie von Bolutin et al. [41] zeigte sich, dass die EUS das chirurgische Vorgehen bei 28% aller Patienten, die sich einer ACVB-Operation unterzogen, beeinflusste, und belegte ebenso die Überlegenheit zur Beurteilung von Atheromen gegenüber der Palpation der Aorta. Hammon et al. [42] fanden 2006, dass eine echokardiographiebasierte chirurgische Vorgehensweise bei der Manipulation der Aorta das postoperative kognitive Outcome der untersuchten Patienten verbesserte. Die bisher größte Patientenzahl konnten Rosenberger et al. [7] mit mehr als 6000 Patienten untersuchen. Es

Abb. 12 ▶ a Verlegung der rechten Pulmonalarterie mit einem Thromboembolus (Pfeil) in der oberen Ösophagusebene bei 0°-Rotation. AO #, MPA #, PE #, RPA #, SVC #. **b** Multiple Thromboembolie im rechten Ventrikel in der midösophagealen Vierkammeransicht bei 0°-Rotation. LV #, RA #, RV #



kam in dieser Studie zu einer Beeinflussung des chirurgischen Vorgehens bei mehr als 4% der Patienten während kardiochirurgischer Eingriffe. Die veränderte chirurgische Vorgehensweise beinhaltet dabei eine Änderung der Kanülierungsstelle und eine veränderte Platzierung der aortalen Klemme. Diese Beeinflussung des chirurgischen Vorgehens korrelierte mit einem besseren neurologischen Outcome in der Gruppe der EUS-Patienten. Eine Übersicht über die wichtigsten Studien, die den Einfluss der EUS auf das intraoperative Patientenmanagement untersucht haben, ist in **Tab. 2** gegeben.

Abb. 13 ▶ Flüssigkeitsgefüllter Pleura-raum (Hämatothorax) nach traumatischer Verletzung der Aorta durch einen Operationstrokarn in der midösophagealen Ansicht bei 0°-Rotation und Rotation nach rechts



Nichtkardiochirurgische Eingriffe

Die intraoperative Echokardiographie wird bei nichtkardiochirurgischen Eingriffen nicht regelhaft eingesetzt und ist deswegen bisher nicht ausreichend systematisch evaluiert. Die bis dato durchgeführten Studien sind durch eine geringe Patientenzahl limitiert. Es kann jedoch während nichtherzchirurgischer Eingriffe intraoperativ, z. B. durch hämodynamische Instabilität des Patienten, jederzeit eine Situation entstehen, die in die Kategorie I für die Indikation der TEE gemäß den Leitlinien der SCA fällt und deren sofortigen Einsatz erforderlich macht.

Gefäßchirurgische Eingriffe

Operative Eingriffe in der Gefäßchirurgie sind mit einer erhöhten Letalität behaftet. Dies trifft nicht nur auf große abdominal-gefäßchirurgische, sondern auch auf peripher-gefäßchirurgische Eingriffe zu [43, 44]. Die intraoperative TEE ist ein hervorragendes Instrument zum kardialen Monitoring während dieser Eingriffe, da dynamische Veränderungen der kardialen

Funktion sofort beurteilt werden können [45, 46]. In einer Studie von Roizen et al. [47] an 24 gefäßchirurgischen Patienten konnte die Überlegenheit der TEE gegenüber dem Standardmonitoring zur Beurteilung der kardialen Funktion gezeigt werden. Die Untersucher konnten bei Eingriffen an der descendierenden Aorta und vor allem oberhalb des Truncus coeliacus zeigen, dass es zu großen Veränderungen der endsystolischen und enddiastolischen Fläche des linken Ventrikels und der Ejektionsfraktion kam. Der Einfluss der Echokardiographie auf das chirurgische Management und das Patienten-Outcome wurde in dieser Studie aber nicht weiter untersucht. In einer weiteren Studie von Godet et al. [48] an 17 Patienten ließen sich mithilfe der TEE Pulsationen des thorakalen Rückenmarks gut darstellen. Über einen möglichen Einfluss der TEE auf das operative Vorgehen bei Patienten, die an der descendierenden thorakalen Aorta operiert werden, liegen jedoch bislang keine Studiendaten vor.

Rapezzi et al. [49] sowie Swaminathan et al. [50] belegten den Einfluss der intraoperativen TEE bei endovaskulärer Stent-

anlage an der Aorta bei 33% von 22 Patienten. So konnte mithilfe der TEE eine Fehllage des Führungsdrahtes im falschen aortalen Lumen identifiziert werden. Nach Anlage des endovaskulären Stents identifizierte die intraoperative TEE ein Leck, das durch die Stenteinlage entstanden war, häufiger als eine Angiographie der Aorta.

Orthopädische Eingriffe

Operative Eingriffe in der Orthopädie, vor allem aber der Einsatz einer Hüftgelenkendoprothese, können mit arterieller Hypotension, Hypoxämie und pulmonaler Hypertension einhergehen. Die intraoperative Letalitätsrate wird mit 0,6–10% angegeben [51, 52]. Eine Erklärung hierfür ist, dass es während dieser Eingriffe zu einer Verschleppung von Mikroemboli in die pulmonale Strombahn kommt. Das Ausmaß dieser Verschleppung hängt von der Höhe des ausgeübten intramedullären Druckes ab [53]. Vor allem während der Phase des „reaming“ (Einsetzen der Hüftgelenkendoprothese) und der Luxation des Hüftgelenks wird vermehrt Zement in die venösen Gefäße

Tab. 2 Einfluss der epiaortalen Sonographie (EUS) auf das intraoperative Patientenmanagement

Studie	Patienten (n)	Auswirkungen
Royse et al. [37]	70	Manuelle Palpation und TEE ungenügend bei der Beurteilung der Aorta ascendens und des Aortenbogens
Hammon et al. [42]	86	Reduktion der Anzahl der Manipulationen der Aorta und reduzierte Inzidenz postoperativer neurologischer Komplikationen
Wilson et al. [76]	22	Epiaortale Sonographie ist der TEE bei der Beurteilung der Aorta überlegen
Bolotin et al. [41]	105	Epiaortale Sonographie ist manueller Palpation und TEE bei der Erkennung von Atheromen der Aorta überlegen
Royse et al. [77]	47	Patienten mit EUS der Aorta zeigen besseres neuropsychologisches Outcome
Rosenberger et al. [7]	6051	Chirurgisches Vorgehen bei 5,4% vor HLM und 1,5% nach HLM beeinflusst Besseres neurologisches Outcome bei den ACVB-, ACVB+Klappen-Patienten

ACVB Aortokoronare-Venenbypass-Operation, HLM Herz-Lungen-Maschine, TEE transösophageale Echokardiographie.

Tab. 3 Einfluss der transösophagealen Echokardiographie (TEE) bei intraoperativen Notfallsituationen

Studie	Patienten (n)	Auswirkungen
Van der Wouw et al. [68]	48	Bei 27 von 31 Patienten konnte die mithilfe der TEE diagnostizierte Ursache des Herz-Kreislauf-Stillstands auf andere Weise verifiziert werden
Rosenberger et al. [70]	46	TEE identifiziert Thromboembolie nur bei 26% der Patienten, sekundäre Zeichen der Lungenembolie sind aber hoch-sensitiv für Bestätigung einer Verdachtsdiagnose
Rosenberger et al. [78]	50	TEE identifiziert bei 26% der Patienten Thromboembolie außerhalb der Lungenstrombahn
Memtsoudis et al. [5]	22	TEE identifiziert bei 16 Patienten die zugrunde liegende Ursache des Notfalls; 32% der Patienten überleben

Aktuelle Studienlage, die den Einsatz der TEE und Auswirkungen auf das Management bei Patienten während einer intraoperativen Notfallsituation beurteilt.

embolisiert [54]. Dieser Zusammenhang konnte von Murphy et al. [55] in einer experimentellen Studie eindeutig demonstriert werden. Mithilfe der intraoperativen TEE lassen sich die Auswirkungen dieser Embolisationen auf die kardiale Funktion wie z. B. ein sich entwickelndes Rechtsherzversagen erkennen [56]. Diese Embolisationen sind aber meist klinisch nicht bedeutsam und bleiben daher auch unbemerkt.

Systematische Untersuchungen über den Einsatz der TEE während orthopädischer Eingriffe und den Einfluss der Echokardiographie auf das Patienten-Outcome liegen nicht vor.

Allgemein- und Transplantationschirurgie

Die TEE kann während einer Laparoskopie hilfreich sein, um kardiovaskuläre Veränderungen infolge der Insufflation des Peritoneums zu identifizieren [57, 58]. Die Insufflation des Peritoneums mit Kohlendioxid (CO₂) erhöht die Nachlast bei gleichzeitiger Reduktion der Vorlast und kann die Hämodynamik des Patienten erheblich beeinträchtigen [59]. Diese hämodynamischen Veränderungen lassen sich hervorragend mithilfe der TEE beurteilen [57].

Ein weiteres Einsatzgebiet der TEE ist die Transplantationschirurgie, hier vor

allem während einer orthotopen Lebertransplantation oder einer Lungentransplantation, da die betroffenen Patienten präoperativ meist schwer kardiopulmonal beeinträchtigt sind. Während einer Lungentransplantation kann ein intrakardialer oder intrapulmonaler Shunt auftreten; die TEE ist durch ihre retrokardiale Lage dazu geeignet, intrakardiale Shunts zu beurteilen [60]. Des Weiteren kann die Qualität der Anastomose der rechten Pulmonalarterie in nahezu 100% der Fälle und der linken Pulmonalarterie in bis zu 71% der Fälle mithilfe der TEE beurteilt werden [61]. Die Obstruktion der pulmonalen Strombahn ist einer der wichtigsten Gründe für eine persistierende Hypoxämie nach Lungentransplantation. Die intraoperative TEE erlaubt auch hier die Beurteilung der pulmonalen Strömungsverhältnisse und kann somit zur Entscheidung für eine sofortige operative Korrektur beitragen [62].

Während einer orthotopen Lebertransplantation entwickelt sich in 2–5% der Fälle eine Thrombose der V. cava inferior (■ **Abb. 11**) mit der Folge eines frühzeitigen Transplantatversagens [63]. Zudem kann es zu einer Beeinträchtigung der rechtsventrikulären Funktion und dem Auftreten paradoxer thromboembolischer Komplikationen kommen, dies vor allem während der Phase der Reperfusion nach Entfernen der suprahe-

patischen Klemme [64, 65]. Die TEE ist ein hervorragendes Instrument zur Beurteilung der kardialen Funktion während dieser Phase. Es liegen jedoch keine systematischen Studien über ihren Einsatz während Lebertransplantationen und ihren Einfluss auf das Patienten-Outcome vor.

Neurochirurgische Eingriffe

In der Neurochirurgie wird die TEE eingesetzt, um Luftembolien während Eingriffen in sitzender oder halbsitzender Lagerung frühzeitig zu erkennen. Die Inzidenz dieser Embolien wird bei Eingriffen an der Fossa posterior mit 12% in liegender Patientenposition und mit 25–45% in sitzender Position angegeben [66]. Ohne adäquate Therapie ist die ausgeprägte, schwere Luftembolie mit einer Letalitätsrate von bis zu 93% behaftet [67]. Dabei sind wichtigsten Faktoren zur Reduktion der Letalität eine frühzeitige Diagnose und die sofortige therapeutische Intervention. Die TEE eignet sich hervorragend, um eine venöse Luftembolie zu identifizieren, jedoch liegen keine systematischen Untersuchungen vor, die den Einfluss der TEE auf das Patienten-Outcome in der Neurochirurgie untersucht haben.

Infobox 1

Indikationen der Kategorien I–III für den Einsatz der perioperativen transösophagealen Echokardiographie. (Mod. nach [13])^a

Kategorie I

Die Studienlage unterstützt den Einsatz der transösophagealen Echokardiographie (TEE); die TEE ist hilfreich, um das Patienten-Outcome zu verbessern

- Intraoperative Evaluation akuter und lebensbedrohlicher hämodynamischer Instabilität
- Präoperative Abklärung bei hämodynamisch instabilen Patienten mit Verdacht auf ein thorakales Aortenaneurysma, eine Aortendissektion oder eine Aortenruptur
- Intraoperative Beurteilung der Aortenklappenfunktion nach Eingriffen an der Aortenklappe oder bei einer Aortendissektion zur Beurteilung der Aortenklappenfunktion
- Intensivpatienten mit unklarer Ätiologie einer hämodynamischen Instabilität, beim Verdacht auf Klappenfehlfunktion oder thromboembolischen Komplikationen

Kategorie II

Die Studienlage zum Einsatz der TEE ist nicht eindeutig; TEE kann das Patienten-Outcome verbessern

- Perioperativ bei Patienten mit einem erhöhten Risiko für eine Myokardischämie oder einen Myokardinfarkt
- Intraoperative Beurteilung der Klappenfunktion
- Intraoperative Beurteilung kardialer Aneurysmen und bei Aneurysmaeingriffen
- Intraoperative Diagnose von Luftembolien während einer Kardiotomie, Herztransplantation und bei sitzenden neurochirurgischen Eingriffen
- Intraoperativ bei einer pulmonalen Embolektomie

Kategorie III

Es besteht nur wenig oder keine Evidenz für den Einsatz der TEE; die TEE ist nur selten hilfreich, um das Patienten-Outcome zu verbessern

- Intraoperativ bei operativen Korrekturen einer Kardiomyopathie
- Intraoperativ bei unkomplizierter Endokarditis während nichtchirurgischer Eingriffen
- Intraoperatives Monitoring einer Embolie während orthopädischer Eingriffe
- Monitoring während der Anlage einer intraaortalen Gegenpulsation, von Defibrillatoren oder eines Pulmonalarterienkatheters

^aNach den Leitlinien der American Society of Anesthesiology (ASA) und der Society of Cardiovascular Anesthesiologists (SCA).

Nichtkardiologischer intraoperativer Notfall

Die Inzidenz intraoperativer kardialer Notfälle ist bei nichtkardiologischen Patienten wesentlich geringer als im kardiologischen Patientengut. Die Diagnose einer zugrunde liegenden Ursache ist in einer Notfallsituation oft nicht einfach; die intraoperative TEE kann aber wichtige Informationen liefern, die zur Diagnosefindung beitragen können und damit in nicht wenigen Fällen zu einer zielgerichteten Therapie führen.

In einer Studie von Memtsoudis et al. [5], in die 22 nichtkardiologische Patienten mit intraoperativ erfolgtem Herzstillstand aufgenommen wurden, zeigten die Untersucher, dass bei 16 dieser Patienten

eine weiterführende therapeutische Intervention durch den Befund der intraoperativen TEE eingeleitet werden konnte. Die häufigsten Diagnosen waren hierbei eine intraoperativ aufgetretene Lungenembolie, Zeichen einer myokardialen Ischämie und eine inadäquate Volumentherapie des Patienten. Die Überlebensrate in dem untersuchten Patientenkollektiv betrug 32%; dies muss im Vergleich zu anderen Studien als positiv bewertet werden [68]. In der Studie von van der Wouw et al. [68] wurden 48 Patienten untersucht, die einen Herzstillstand während des stationären Krankenhausaufenthalts erlitten hatten. Die sofort nach dem Eintreffen des Reanimationsteams vorgenommene TEE führte bei 27 dieser Patienten (87%) während der kardiopulmonalen Reanimation

zu einer korrekten Diagnose der zugrunde liegenden Ursache. Die TEE-Diagnose wurde durch eine Autopsie an verstorbenen Patienten oder während eines folgenden operativen Eingriffs bestätigt.

Bei Patienten, die intraoperativ eine Lungenembolie erleiden, kann die TEE durch eine direkte Visualisierung des thromboembolischen Materials zur Diagnose führen ([56, 69]; **Abb. 12**). In der Regel ist dies nur schwer möglich, jedoch können sekundäre Zeichen einer akut aufgetretenen Rechtsherzbelastung dann zur Diagnosefindung beitragen [70, 71, 72]. Anhand einer definitiven Diagnose, der Schwere der hämodynamischen Beeinträchtigung und der Grunderkrankungen des Patienten kann vom Herzchirurgen direkt entschieden werden, ob eine pulmonale Embolektomie erfolgversprechend ist und durchgeführt werden sollte [73, 74].

Die intraoperative TEE kann, wenn auch in seltenen Fällen, zur primären Diagnose einer intraoperativen Verletzung wichtiger Organstrukturen führen (z. B. Verletzung vaskulärer Strukturen nach Einführung von Operationstrokaren; **Abb. 13**). Eine Übersicht über die wichtigsten Studien, die einen Einfluss der TEE auf das chirurgische Vorgehen bei intraoperativen Notfallsituationen zeigt, ist in **Tab. 3** aufgeführt.

Fazit für die Praxis

Die intraoperative Echokardiographie hat in sich in den letzten 20 Jahren stark weiterentwickelt und ist zu einer wichtigen intraoperativen diagnostischen Methode gereift. Mit der TEE lassen sich intraoperativ zuverlässig und jederzeit die Myokard- und Klappenfunktion beurteilen. Außerdem liefert die TEE vor allem bei kardiologischen Eingriffen wichtige neue Befunde, die sofort in das Patientenmanagement eingehen können. Mit der EUS steht im Bereich der Herzchirurgie eine weitere echokardiographische Untersuchungsmethode zur Verfügung, die einen direkten Einfluss auf das chirurgische Management haben kann und eventuell bei kardiologischen Patienten das postoperative Outcome verbessert. Bei Patienten mit hohem perioperativen kardialen Ri-

siko und nichtkardiologischen Eingriffen kann die TEE, aber auch die TTE das intraoperative Monitoring erweitern. Der Untersucher übernimmt damit aber auch die Verantwortung für eine kompetente Beurteilung der kardialen Strukturen und ihrer Veränderungen. Er muss daher zuvor gute echokardiographische Kenntnisse erwerben und sich mit den zu erwartenden pathologischen Veränderungen vertraut gemacht haben.

Korrespondenzadresse

PD Dr. P. Rosenberger

Universitätsklinik für Anaesthesiologie und Intensivmedizin, Eberhard-Karls-Universität
Hoppe-Seyler-Str. 3, 72076 Tübingen
peter.rosenberger@medizin.uni-tuebingen.de

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

Literatur

- Poterack KA (1995) Who uses transesophageal echocardiography in the operating room? *Anesth Analg* 80:454–458
- Click RL, Abel MD, Schaff HV (2000) Intraoperative transesophageal echocardiography: 5-year prospective review of impact on surgical management. *Mayo Clin Proc* 75:241–247
- Qaddoura FE, Abel MD, Mecklenburg KL et al (2004) Role of intraoperative transesophageal echocardiography in patients having coronary artery bypass graft surgery. *Ann Thorac Surg* 78:1586–1590
- Eltzschig HK, Rosenberger P, Löffler M et al (2008) Impact of intraoperative transesophageal echocardiography on surgical decisions in 12,566 patients undergoing cardiac surgery. *Ann Thorac Surg* 85:845–852
- Memtsoudis SG, Rosenberger P, Löffler M et al (2006) The usefulness of transesophageal echocardiography during intraoperative cardiac arrest in noncardiac surgery. *Anesth Analg* 102:1653–1657
- Hogue CW Jr, Murphy SF, Schechtman KB, Davila-Roman VG (1999) Risk factors for early or delayed stroke after cardiac surgery. *Circulation* 100:642–647
- Rosenberger P, Shernan SK, Löffler M et al (2008) The influence of epiaortic ultrasonography on intraoperative surgical management in 6051 cardiac surgical patients. *Ann Thorac Surg* 85:548–553
- Vieillard-Baron A, Chergui K, Rabiller A et al (2004) Superior vena caval collapsibility as a gauge of volume status in ventilated septic patients. *Intensive Care Med* 30:1734–1739
- Luo H, Chen M, Trento A et al (2004) Usefulness of a hand-carried cardiac ultrasound device for bedside examination of pericardial effusion in patients after cardiac surgery. *Am J Cardiol* 94:406–407
- Ilsaas C, Husby P, Koller ME et al (1998) Cardiac arrest due to massive pulmonary embolism following caesarean section. Successful resuscitation and pulmonary embolectomy. *Acta Anaesthesiol Scand* 42:264–266
- Augoustides JG, Hosalkar HH, Savino JS (2005) Utility of transthoracic echocardiography in diagnosis and treatment of cardiogenic shock during noncardiac surgery. *J Clin Anesth* 17:488–489
- Varriale P, Maldonado JM (1997) Echocardiographic observations during in hospital cardiopulmonary resuscitation. *Crit Care Med* 25:1717–1720
- American Society of Anesthesiologists and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists Task Force on Transesophageal Echocardiography (1996) Practice guidelines for perioperative transesophageal echocardiography. *Anesthesiology* 84:986–1006
- Cahalan MK, Abel M, Goldman M et al (2002) American Society of Echocardiography and Society of Cardiovascular Anesthesiologists Task Force guidelines for training in perioperative echocardiography. *Anesth Analg* 94:1384–1388
- Lambert AS, Mazer CD, Duke PC (2002) Survey of the members of the cardiovascular section of the Canadian Anesthesiologists' Society on the use of perioperative transesophageal echocardiography – a brief report. *Can J Anaesth* 49:294–296
- Longo M, Previti A, Morello M et al (2000) Usefulness of transesophageal echocardiography during open heart surgery of mitral stenosis. *J Cardiovasc Surg* 41:381–385
- Grote J, Lufft V, Nikutta P et al (1994) Transesophageal echocardiographic assessment of superior vena cava thrombosis in patients with long-term central venous hemodialysis catheters. *Clin Nephrol* 42:183–188
- Leibowitz G, Keller NM, Daniel WG et al (1995) Transesophageal versus transthoracic echocardiography in the evaluation of right atrial tumors. *Am Heart J* 130:1224–1227
- Klein AL, Stewart W, Cosgrove DM, Salcedo EE (1990) Intraoperative epicardial echocardiography: technique and imaging planes. *Echocardiography* 7:241–251
- Kato M, Nakashima Y, Levine J et al (1993) Does transesophageal echocardiography improve postoperative outcome in patients undergoing coronary artery bypass surgery? *J Cardiothorac Vasc Anesth* 7:285–289
- Muhiudeen Russell IA, Miller-Hance WC, Silverman NH (1998) Intraoperative transesophageal echocardiography for pediatric patients with congenital heart disease. *Anesth Analg* 87:1058–1076
- Bergquist BD, Bellows WH, Leung JM (1996) Transesophageal echocardiography in myocardial revascularization: II. Influence on intraoperative decision making. *Anesth Analg* 82:1139–1145
- Savage RM, Lytle BW, Aronson S et al (1997) Intraoperative echocardiography is indicated in high-risk coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg* 64:368–373, discussion 73–74
- Mishra M, Chauhan R, Sharma KK et al (1998) Real-time intraoperative transesophageal echocardiography – how useful? Experience of 5,016 cases. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 12:625–632
- Michel-Cherqui M, Cedda A, Liu N et al (2000) Assessment of systematic use of intraoperative transesophageal echocardiography during cardiac surgery in adults: a prospective study of 203 patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 14:45–50
- Schmidlin D, Schuepbach R, Bernard E et al (2001) Indications and impact of postoperative transesophageal echocardiography in cardiac surgical patients. *Crit Care Med* 29:2143–2148
- Bergquist BD, Leung JM, Bellows WH (1996) Transesophageal echocardiography in myocardial revascularization: I. Accuracy of intraoperative real-time interpretation. *Anesth Analg* 82:1132–1138
- Oh CC, Click RL, Orszulak TA et al (1998) Role of intraoperative transesophageal echocardiography in determining aortic annulus diameter in homograft insertion. *J Am Soc Echocardiogr* 11:638–642
- Eltzschig HK, Shernan SK, Rosenberger P (2004) Ischemic mitral regurgitation during temporary coronary-artery ligation. *N Engl J Med* 350:2424–2425
- Stewart WJ, Currie PJ, Salcedo EE et al (1990) Intraoperative Doppler color flow mapping for decision-making in valve repair for mitral regurgitation. Technique and results in 100 patients. *Circulation* 81:556–566
- Sheikh KH, de Bruijn NP, Rankin JS et al (1990) The utility of transesophageal echocardiography and Doppler color flow imaging in patients undergoing cardiac valve surgery. *J Am Coll Cardiol* 15:363–372
- Nowrangi SK, Connolly HM, Freeman WK, Click RL (2001) Impact of intraoperative transesophageal echocardiography among patients undergoing aortic valve replacement for aortic stenosis. *J Am Soc Echocardiogr* 14:863–866
- Couture P, Denault AY, McKenty S et al (2000) Impact of routine use of intraoperative transesophageal echocardiography during cardiac surgery. *Can J Anaesth* 47:20–26
- Moskowitz DM, Klein JJ, Shander A et al (2004) Predictors of transfusion requirements for cardiac surgical procedures at a blood conservation center. *Ann Thorac Surg* 77:626–634
- Johnson ML, Holmes JH, Spangler RD, Paton BC (1972) Usefulness of echocardiography in patients undergoing mitral valve surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 64:922–934
- Konstadt SN, Reich DL, Quintana C, Levy M (1994) The ascending aorta: how much does transesophageal echocardiography see? *Anesth Analg* 78:240–244
- Royle C, Royle A, Blake D, Grigg L (1998) Screening the thoracic aorta for atheroma: a comparison of manual palpation, transesophageal and epiaortic ultrasonography. *Ann Thorac Cardiovasc Surg* 4:347–350
- Davila-Roman VG, Phillips KJ, Daily BB et al (1996) Intraoperative transesophageal echocardiography and epiaortic ultrasound for assessment of atherosclerosis of the thoracic aorta. *J Am Coll Cardiol* 28:942–947
- Sylvivris S, Calafiore P, Matalanis G et al (1997) The intraoperative assessment of ascending aortic atheroma: epiaortic imaging is superior to both transesophageal echocardiography and direct palpation. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 11:704–707
- Ungerleider RM, Greeley WJ, Sheikh KH et al (1990) Routine use of intraoperative epicardial echocardiography and Doppler color flow imaging to guide and evaluate repair of congenital heart lesions. A prospective study. *J Thorac Cardiovasc Surg* 100:297–309
- Bolotin G, Domany Y, de Perini L et al (2005) Use of intraoperative epiaortic ultrasonography to delineate aortic atheroma. *Chest* 127:60–65
- Hammon JW, Stump DA, Butterworth JF et al (2006) Single crossclamp improves 6-month cognitive outcome in high-risk coronary bypass patients: the effect of reduced aortic manipulation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 131:114–121
- Bode RH Jr, Lewis KP, Zarich SW et al (1996) Cardiac outcome after peripheral vascular surgery. Comparison of general and regional anesthesia. *Anesthesiology* 84:3–13

44. McFalls EO, Ward HB, Moritz TE et al (2004) Coronary-artery revascularization before elective major vascular surgery. *N Engl J Med* 351:2795–2804
45. Voci P, Bilotta F, Aronson S et al (1992) Echocardiographic analysis of dysfunctional and normal myocardial segments before and immediately after coronary artery bypass graft surgery. *Anesth Analg* 75:213–218
46. Couture P, Denault AY, Carignan S et al (1999) Intraoperative detection of segmental wall motion abnormalities with transesophageal echocardiography. *Can J Anaesth* 46:827–831
47. Roizen MF, Beaupre PN, Alpert RA et al (1984) Monitoring with two-dimensional transesophageal echocardiography. Comparison of myocardial function in patients undergoing supraceliac, supra-renal-infraceliac, or infrarenal aortic occlusion. *J Vasc Surg* 1:300–305
48. Godet G, Couture P, Iordanidis G et al (1994) Another application of two-dimensional transesophageal echocardiography: spinal cord imaging. A preliminary report. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 8:14–18
49. Rapezzi C, Rocchi G, Fattori R et al (2001) Usefulness of transesophageal echocardiographic monitoring to improve the outcome of stent-graft treatment of thoracic aortic aneurysms. *Am J Cardiol* 87:315–319
50. Swaminathan M, Lineberger CK, McCann RL, Matthew JP (2003) The importance of intraoperative transesophageal echocardiography in endovascular repair of thoracic aortic aneurysms. *Anesth Analg* 97:1566–1572
51. Duncan JA (1989) Intra-operative collapse or death related to the use of acrylic cement in hip surgery. *Anaesthesia* 44:149–153
52. Dahl OE, Molnar I, Ro JS, Vinje A (1988) Global tests on coagulation and fibrinolysis in systemic and pulmonary circulation accompanying hip arthroplasty with acrylic cement. *Thromb Res* 50:865–873
53. Pitto RP, Hamer H, Fabiani R et al (2002) Prophylaxis against fat and bone-marrow embolism during total hip arthroplasty reduces the incidence of postoperative deep-vein thrombosis: a controlled, randomized clinical trial. *J Bone Joint Surg Am* 84-A:39–48
54. Urban MK, Sheppard R, Gordon MA, Urquhart BL (1996) Right ventricular function during revision total hip arthroplasty. *Anesth Analg* 82:1225–1229
55. Murphy P, Edelist G, Byrick RJ et al (1997) Relationship of fat embolism to haemodynamic and echocardiographic changes during cemented arthroplasty. *Can J Anaesth* 44:1293–1300
56. Koessler MJ, Fabiani R, Hamer H, Pitto RP (2001) The clinical relevance of embolic events detected by transesophageal echocardiography during cemented total hip arthroplasty: a randomized clinical trial. *Anesth Analg* 92:49–55
57. Cunningham AJ, Turner J, Rosenbaum S, Rafferty T (1993) Transoesophageal echocardiographic assessment of haemodynamic function during laparoscopic cholecystectomy. *Br J Anaesth* 70:621–625
58. Derouin M, Couture P, Boudreault D et al (1996) Detection of gas embolism by transesophageal echocardiography during laparoscopic cholecystectomy. *Anesth Analg* 82:119–124
59. Harris SN, Ballantyne GH, Luther MA, Perrino AC Jr (1996) Alterations of cardiovascular performance during laparoscopic colectomy: a combined hemodynamic and echocardiographic analysis. *Anesth Analg* 83:482–487
60. Suriani RJ (1998) Transesophageal echocardiography during organ transplantation. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 12:686–694
61. Hausmann D, Daniel WG, Mugge A et al (1992) Imaging of pulmonary artery and vein anastomoses by transesophageal echocardiography after lung transplantation. *Circulation* 86:11251–11258
62. Michel-Cherqui M, Brusset A, Liu N et al (1997) Intraoperative transesophageal echocardiographic assessment of vascular anastomoses in lung transplantation. A report on 18 cases. *Chest* 111:1229–1235
63. Bjerke RJ, Miele LA, Borsky BJ, Todo S (1992) The use of transesophageal ultrasonography for the diagnosis of inferior vena caval outflow obstruction during liver transplantation. *Transplantation* 54:939–941
64. Huang YC, Cheng YJ, Lin YH et al (2000) Graft failure caused by pulmonary venous obstruction diagnosed by intraoperative transesophageal echocardiography during lung transplantation. *Anesth Analg* 91:558–560
65. Verhaeghen D, Poelaert J, Ama R et al (2005) Case 2-2005: evaluation of the lungs via transesophageal echocardiography. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 19:242–249
66. Schmitt HJ, Hemmerling TM (2002) Venous air emboli occur during release of positive end-expiratory pressure and repositioning after sitting position surgery. *Anesth Analg* 94:400–403, table of contents
67. Muth CM, Shank ES (2000) Gas embolism. *N Engl J Med* 342:476–482
68. van der Wouw PA, Koster RW, Delemarre BJ et al (1997) Diagnostic accuracy of transesophageal echocardiography during cardiopulmonary resuscitation. *J Am Coll Cardiol* 30:780–783
69. Tortosa JA, Hernandez-Palazon J (1999) Fatal massive intra-operative pulmonary embolism while placing a patient in the surgical position. *Eur J Anaesthesiol* 16:350
70. Rosenberger P, Shernan SK, Body SC, Eltzschig HK (2004) Utility of intraoperative transesophageal echocardiography for diagnosis of pulmonary embolism. *Anesth Analg* 99:12–16
71. Vieillard-Baron A, Qanadli SD, Antakly Y et al (1998) Transesophageal echocardiography for the diagnosis of pulmonary embolism with acute cor pulmonale: a comparison with radiological procedures. *Intensive Care Med* 24:429–433
72. Gould J, Silvestry S, Smith PK, Stafford-Smith M (1999) The role of transesophageal echocardiography in the surgical management of pulmonary embolism. *Anesth Analg* 88:Seitenzahlen fehlen
73. Aklog L, Williams CS, Byrne JG, Goldhaber SZ (2002) Acute pulmonary embolectomy: a contemporary approach. *Circulation* 105:1416–1419
74. British Thoracic Society Standards of Care Committee Pulmonary Embolism Guideline Development Group (2003) British Thoracic Society guidelines for the management of suspected acute pulmonary embolism. *Thorax* 58:470–483
75. Shapira Y, Vaturi M, Weisenberg DE et al (2004) Impact of intraoperative transesophageal echocardiography in patients undergoing valve replacement. *Ann Thorac Surg* 78:579–583, discussion 83–84
76. Wilson MJ, Boyd SY, Lisagor PG et al (2000) Ascending aortic atheroma assessed intraoperatively by epiaortic and transesophageal echocardiography. *Ann Thorac Surg* 70:25–30
77. Roysse AG, Roysse CF, Ajani AE et al (2000) Reduced neuropsychological dysfunction using epiaortic echocardiography and the exclusive Y graft. *Ann Thorac Surg* 69:1431–1438
78. Rosenberger P, Shernan SK, Mihaljevic T, Eltzschig HK (2004) Transesophageal echocardiography for detecting extrapulmonary thrombi during pulmonary embolectomy. *Ann Thorac Surg* 78:862–866, discussion 6