

Kardiologie 2014 · 8:45–64
DOI 10.1007/s12181-013-0531-2
Online publiziert: 21. Dezember 2013
© Deutsche Gesellschaft für Kardiologie -
Herz- und Kreislaufforschung e.V.
Published by Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- all rights reserved 2013

A. Hagendorff¹ · K. Tiemann² · G. Simonis³ · M. Campo dell' Orto⁴ ·
S. von Bardeleben⁵

¹ Abt. für Innere Medizin, Department für Kardiologie und Angiologie,
Universitätsklinikum Leipzig AöR, Leipzig

² Klinik für Kardiologie und Internistische Intensivmedizin, Isar Herzzentrum, München

³ Klinik für Innere Medizin/Kardiologie, TU Dresden, Herzzentrum Dresden Universitätsklinik, Dresden

⁴ Department für Kardiologie, Kerckhoff-Klinik, Bad Nauheim

⁵ Department für Kardiologie, Angiologie und Internistische Intensivmedizin,
Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität, Mainz

Empfehlungen zur Notfallechokardiographie

1. Einleitung

Die Echokardiographie ist die zentrale Bildgebung in der Kardiologie. Auch und gerade beim instabilen Notfallpatienten ist die Echokardiographie zur schnellen Beurteilung von kardiovaskulärer Morphologie und Funktion unersetzbar.

Das Ziel des vorliegenden Dokumentes ist die Ausarbeitung einer Deutschen Empfehlung für die sichere und effiziente Anwendung der Echokardiographie in Notfalleinheiten – speziell für Notfälle mit kardiovaskulären Problemkonstellationen – sowie die Darlegung für notwendige und hinreichende Standards bei der Durchführung der Notfallechokardiographie im Hinblick auf die Geräte, die Ausbildung und das Training der beteiligten Anwender. Zusätzlich werden praktische Aspekte und Konstellationen im Notfall-

szenario für die Notfallechokardiographie unter Berücksichtigung der Situation in Krankenhäusern und Notaufnahmen diskutiert. Aufgrund der zunehmenden Anwendung der Sonographie durch Nicht-Kardiologen in Notfallszenarien werden von den nationalen und internationalen kardiologischen Fachgesellschaften Standards für die Anforderungen an die Ausbildung „Notfallechokardiographie“ formuliert [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. Seit 2013 existieren Empfehlungen zur Notfallechokardiographie der europäischen Fachgesellschaft EACVI (European Association of Cardiovascular Imaging), die für diese Empfehlungen an die Verhältnisse der Notfallversorgung in Deutschland angepasst wurden [1].

2. Definitionen

2.1. Definition: Notfallechokardiographie

Der Begriff Notfallechokardiographie ist in Übereinstimmung mit den kürzlich publizierten EACVI-Empfehlungen auch in diesem Dokument reserviert für eine qualifizierte Diagnostik durch einen Kardiologen oder einen Arzt, der eigenständig und eigenverantwortlich die Untersuchung durchführen, dokumentieren, interpretieren und befunden kann [9]. Dies impliziert bestmögliche praktische Fertigkeiten des Anwenders in Bezug auf die Echokardiographie und fun-

dierte klinische Erfahrung bei der Diagnostik und Therapie kardiovaskulärer Erkrankungen.

2.2 Definition: fokussierte Sonographie des Herzens

Vom Begriff Notfallechokardiographie ist der Begriff der „fokussierten Sonographie des Herzens“ zu unterscheiden.

Die fokussierte Sonographie des Herzens ist eine orientierende, fokussierte diagnostische Maßnahme im Notfall, die im Hinblick auf die Gerätetechnik, die Durchführung, die Dokumentation, die Datenspeicherung, die Interpretation und den Befund nicht einer vollständigen standardisierten Echokardiographie entspricht [1]. Die fokussierte Sonographie des Herzens dient primär zur einfachen Ausschlussdiagnostik wesentlicher Notfalldiagnosen und zur schnellen Sicherung wichtiger Befunde im Notfall. Unter die fokussierte Sonographie des Herzens fallen damit sonographische Untersuchungen der Notfallmedizin, der Intensivmedizin, der Allgemeinmedizin oder sonstiger angrenzender Fachbereiche, die nach nur partieller Vermittlung durch entsprechende fokussierte Ausbildungsinhalte auch von Nicht-Kardiologen durchgeführt werden können. Kurztrainingsprogramme mit nur partieller Vermittlung der Methode haben als Echoscannen [7, 9] und als sog. fokussierte Echokardiographie in der Literatur Einzug ge-

Infobox Empfehlungen zur Notfallechokardiographie

A. Hagendorff, K. Tiemann, S. von Bardeleben für die Arbeitsgruppe AG5 „Kardiovaskulärer Ultraschall“ der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie

G. Simonis und M. Campo dell' Orto für die Arbeitsgruppe AG3 „Kardiovaskuläre Intensiv- und Notfallmedizin“ der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie

Der Nukleus der AG 05 „Kardiovaskulärer Ultraschall“ der DGK war am Verfassen dieser Arbeit beteiligt.

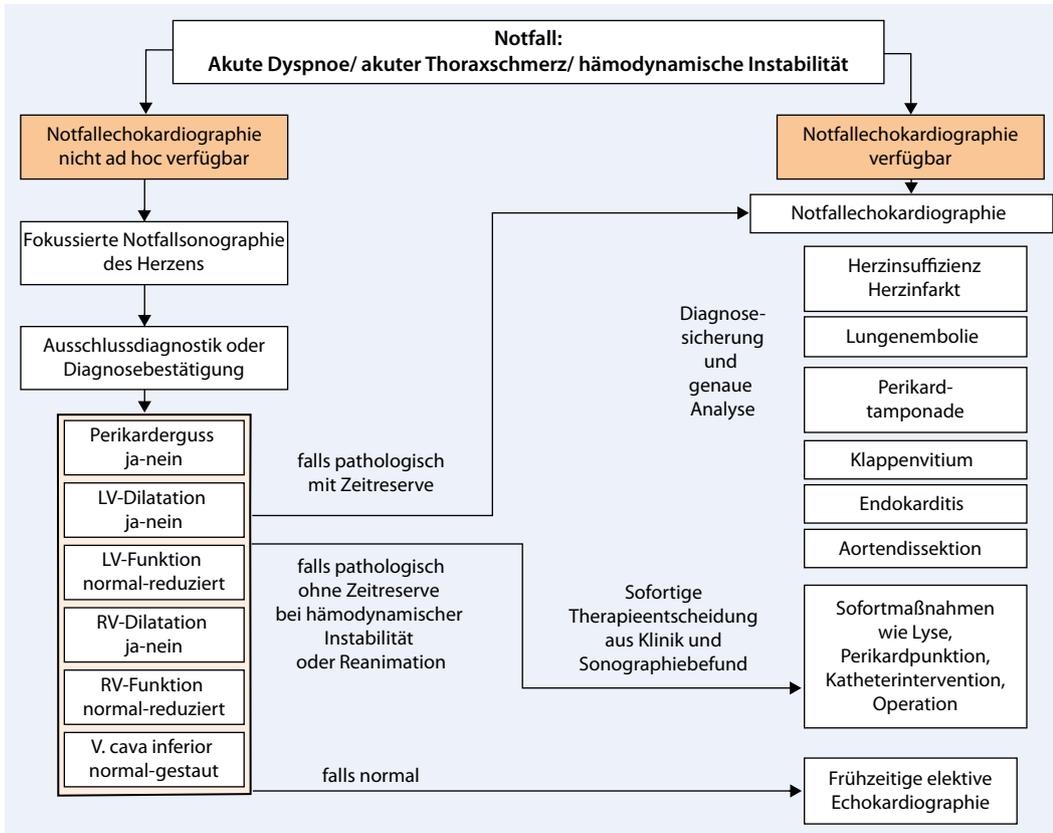


Abb. 1 ◀ Entscheidungswege zur fokussierten Sonographie des Herzens bzw. zur Notfallechokardiographie in Abhängigkeit von Symptomen des Patienten im Notfall. LV linker Ventrikel, RV rechter Ventrikel

Myokardinfarkt und myokardiale Ischämie

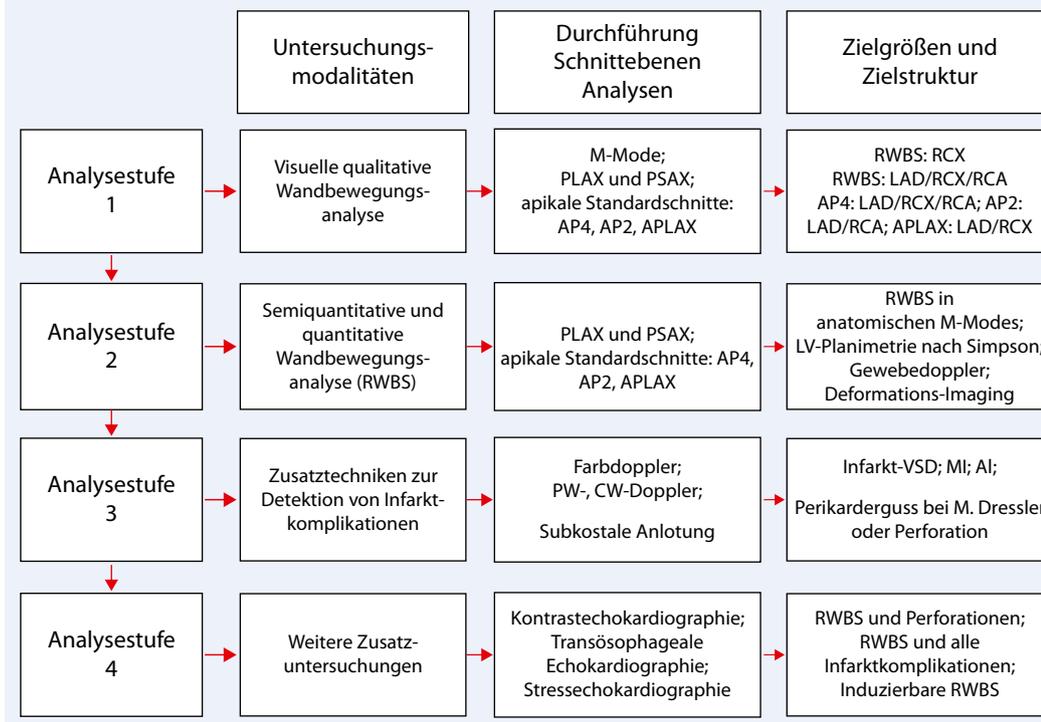


Abb. 2 ◀ Untersuchungsmodalitäten, Schnittebenen und Zielstrukturen bei der echokardiographischen Notfalldiagnostik des Myokardinfarktes. RWBS regionale Wandbewegungsstörung, AP4 apikaler 4-Kammer-Blick, AP2 apikaler 2-Kammer-Blick, APLAX apikale lange Achse, PLAX parasternale lange Achse, PSAX parasternale kurze Achse, LAD Ramus interventricularis anterior, RCA rechte Koronararterie, RCX Ramus circumflexus, MI Mitralklappeninsuffizienz, VSD Ventrikelseptumdefekt, PW „pulsed wave“, CW „continuous wave“

funden [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17]. Die fokussierte Sonographie des Herzens ist damit eine mit nichtkardiologischer Kompetenz durchgeführte Maßnahme und entspricht einer schnellen, nicht standardisierten sonographischen Darstellung kardialer Zielstrukturen mit den konventionellen echokardiographischen Techniken der 2D- und Farbdopplerechokardiographie durch ärztliches und z. T. auch nicht-ärztliches Personal. Die fokussierte Sonographie des Herzens mit Pocket-Size-Imaging-Devices ist in der Literatur als Echoscannen beschrieben [7, 9].

Die fokussierte Sonographie des Herzens ist bei allen potenziellen kardiovaskulären Notfällen indiziert, bei denen aus organisatorischen Gründen nicht eine Notfallechokardiographie durch einen Kardiologen oder einen Arzt mit kardiologischer Expertise und echokardiographischen Fertigkeiten durchgeführt werden kann. Aufgrund ihres orientierenden Charakters dient sie primär zur Bestätigung oder zum Ausschluss einer primären Verdachtsdiagnose. Somit können mit der fokussierten Sonographie des Herzens folgende kardiovaskuläre Problemkonstellationen geklärt werden: die mechanischen Herzaktionen zur Detektion einer elektromechanischen Entkopplung, die Größe und die Funktion des linken und rechten Ventrikels bei der Verdachtsdiagnose eines Herzinfarktes, einer Herzinsuffizienz und/oder einer Lungenembolie, der Perikarderguss bei der Klärung einer möglichen Tamponade und die Weite der unteren Hohlvene zur Analyse des Volumenstatus des Kreislaufsystems bzw. der Einflussbehinderung in den rechten Vorhof. Bei Feststellung einer kardiovaskulären Erkrankung durch eine fokussierte Sonographie des Herzens muss anschließend eine qualifizierte Notfallechokardiographie oder eine elektive Echokardiographie zur weiteren Beurteilung des kardialen Status des Patienten erfolgen.

3. Einsatzmöglichkeiten der Notfallechokardiographie unter besonderer Berücksichtigung spezieller kardiovaskulärer Erkrankungen

Die Durchführung einer Notfallechokardiographie erfordert als technische Vor-

Kardiologie 2014 · 8:45–64 DOI 10.1007/s12181-013-0531-2

© Deutsche Gesellschaft für Kardiologie - Herz- und Kreislaufforschung e.V.
Published by Springer-Verlag Berlin Heidelberg - all rights reserved 2013

A. Hagendorff · K. Tiemann · G. Simonis · M. Campo dell'Orto · S. von Bardeleben
Empfehlungen zur Notfallechokardiographie

Zusammenfassung

Die Deutschen Empfehlungen für die Anwendung der Echokardiographie in der Notfallmedizin zeigen die Standards der Notfallechokardiographie im Hinblick auf Gerätetechnik, Durchführung, Dokumentation, Datenspeicherung, Interpretation und Befund sowie Ausbildung und Training der beteiligten Anwender. Eine Notfallechokardiographie definiert eine qualifizierte Diagnostik durch einen Kardiologen oder einen Arzt, der eigenständig und eigenverantwortlich die Untersuchung durchführen, dokumentieren, interpretieren und befunden kann. Die fokussierte Sonographie des Herzens ist dagegen eine orientierende, fokussierte diagnostische

Maßnahme im Notfall, die nicht den qualitativen Standards einer Notfallechokardiographie entspricht. Diese Empfehlungen beschreiben die echokardiographische Vorgehensweise bei Myokardinfarkt, Lungenembolie, Perikardtampnade, akutem Herzklappenfehler, Endokarditis, Aortendissektion, Thoraxtrauma, Schock und Herzinsuffizienz unter Berücksichtigung der wesentlichen kardialen Strukturen.

Schlüsselwörter

Notfall · Echokardiographie · Fokussierte Sonographie · Standards · Dokumentation

Recommendations on emergency echocardiography

Abstract

The German recommendations on emergency echocardiography set up and propose standards for ultrasound equipment, execution, documentation, data storage, interpretation of the results as well as education and training of physicians performing echocardiography in the emergency setting. Emergency echocardiography is defined as a comprehensive diagnostic procedure performed by cardiologists or physicians who are able to independently perform echocardiography and its documentation and to interpret the results unaided. In contrast, focused sonography of the heart is an informative, focused diagnostic measure in emergencies which does

not adequately conform to the quality standards of emergency echocardiography. The recommendations describe the echocardiographic approach and procedure in cardiovascular diseases, such as acute myocardial infarction, pulmonary embolism, pericardial tamponade, acute heart valve diseases, endocarditis, aortic dissection, thoracic trauma, shock and heart failure considering the most important cardiac structures.

Keywords

Emergency · Echocardiography · Focused sonography · Standards · Documentation

aussetzung die Verfügbarkeit aller Modalitäten der konventionellen transthorakalen und transösophagealen Echokardiographie sowie der Kontrastechokardiographie. Optional und wünschenswert ist die Möglichkeit des Einsatzes moderner Verfahren wie die multidimensionale Echokardiographie und die Deformationsbildgebung.

Die Notfallechokardiographie ist grundsätzlich bei jedem potenziellen kardiovaskulären Notfall durchzuführen, wenn primär ein Kardiologie oder Arzt mit kardiologischer Expertise die Untersuchung mit den notwendigen echokardiographischen Fertigkeiten durchführen kann. Die Notfallechokardiographie

ist entsprechend der Fragestellung und möglichen Diagnose strukturiert und zielgerichtet durchzuführen. Die primäre Durchführung einer Notfallechokardiographie oder einer fokussierten Sonographie des Herzens ist sowohl durch die möglichen Verdachtsdiagnosen als auch durch die Verfügbarkeit von Geräten und Untersuchern sowie durch Zeitfaktoren determiniert (■ **Abb. 1**). Die Notfallechokardiographie dient primär zur Klärung der im Folgenden aufgeführten kardiovaskulären Erkrankungen. Für diese Fragestellungen ist in der Literatur jeweils mit einem Evidenzgrad I nach allgemeiner Übereinkunft beschrieben, dass die Echokardiographie im Notfall effektiv

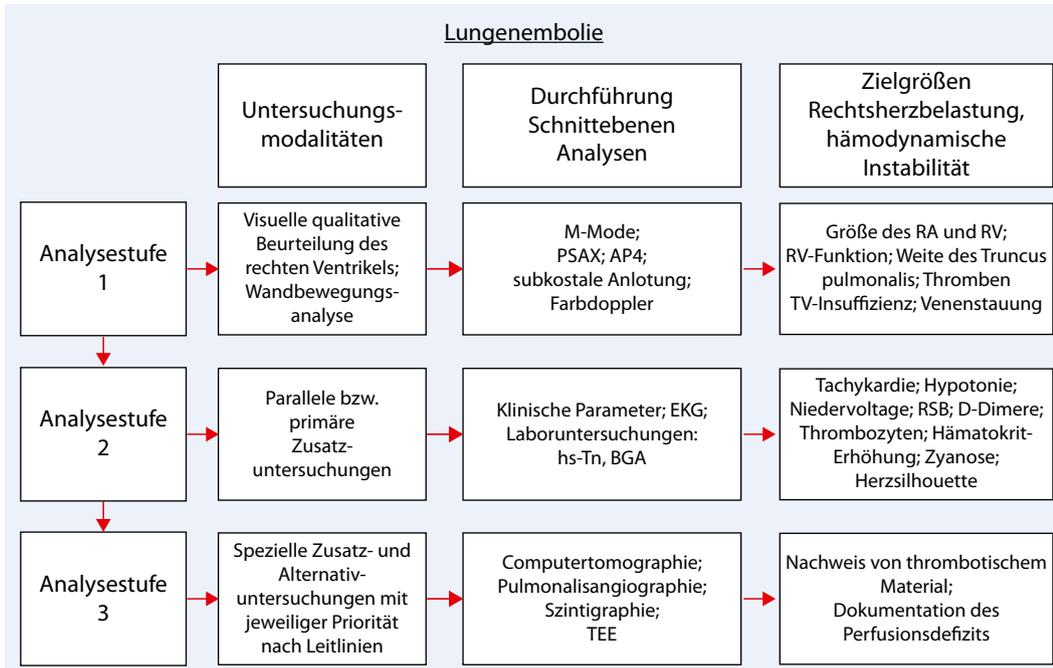


Abb. 3 ◀ Untersuchungsmodalitäten, Schnittebenen und Zielgrößen bei der echokardiographischen Notfalldiagnostik der Lungenembolie. *PSAX* parasternale kurze Achse, *AP4* apikaler 4-Kammer-Blick, *RA* rechtes Atrium, *RV* rechter Ventrikel, *EKG* Elektrokardiogramm, *BGA* Blutgasanalyse, *hs-Tn* hochsensitives Troponin, *TEE* transösophageale Echokardiographie, *RSB* Rechtsschenkelblock, *TV* Trikuspidalklappe

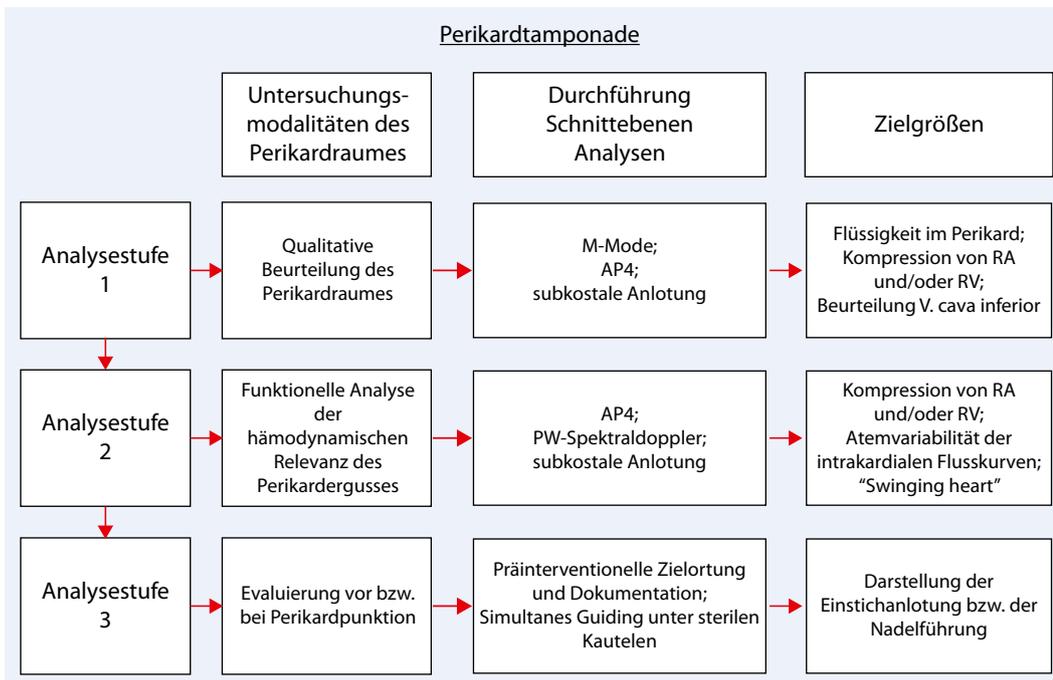


Abb. 4 ◀ Untersuchungsmodalitäten, Schnittebenen und Zielgrößen bei der echokardiographischen Notfalldiagnostik der Perikardtampnade. *AP4* apikaler 4-Kammer-Blick, *RA* rechtes Atrium, *RV* rechter Ventrikel, *V. cava inferior* Vena cava inferior, *PW* „pulsed wave“

und nützlich ist [18]. Eine Notfallechokardiographie und/oder eine fokussierte Sonographie des Herzens sind jedoch auch bei jeglichen unklaren Notfallsituationen gerechtfertigt, weil sie potenziell für die Diagnosestellung wichtig sind.

Im Folgenden werden bei den wesentlichen kardiovaskulären Notfällen strukturierte Untersuchungsgänge der Notfallechokardiographie im Kontext der Notfalldiagnostik vorgestellt. Die abgebilde-

ten Ablaufschemata für die jeweiligen Diagnosen entsprechen praktischen Empfehlungen der Autoren.

3.1. Myokardinfarkt und Myokardischämie (regionale Wandbewegungsstörungen und Komplikationen)

Die echokardiographische Zielgröße zur Detektion einer akuten myokardialen Is-

chämie und/oder eines Myokardinfarktes ist die neu aufgetretene regionale Wandbewegungsstörung und deren Ausmaß, die nativ bei unzureichender Bildqualität besser mithilfe der Kontrastechokardiographie mit Sensitivitäten und Spezifitäten jeweils über 80% dokumentiert werden können [19, 20, 21]. Die moderne Deformationsbildgebung ist auch im Notfall eine vielversprechende, derzeit jedoch im Hinblick auf die bislang nicht standardi-

sierten Berechnungen der Deformationsparameter bei den verschiedenen Geräterstellern eine noch zu evaluierende Methode. Aufgrund der aktuellen Definition des Myokardinfarktes hat die kardiale Bildgebung – speziell bei der Diagnose des posterolateralen Infarktes – eine zunehmende Bedeutung [22, 23]. Der posterolaterale Myokardinfarkt im Perfusionsterritorium des Ramus circumflexus ist in den Standardableitungen des 12-Kanal-EKG oft maskiert. Daher sollte die Echokardiographie speziell bei der Diagnostik des NSTEMI und des akuten Koronarsyndroms zur Sicherung oder zum Ausschluss einer posterolateralen Kinetikstörung und damit einer transmuralen Seitenwandischämie im Notfall zum Einsatz kommen. Weiterhin wird die Notfallechokardiographie in der Detektion der Infarkt komplikationen wie Ventrikelseptumdefekt, Papillarmuskelruptur und akute Mitralklappeninsuffizienz eingesetzt (■ Abb. 2).

3.2. Lungenembolie

Die echokardiographische Beurteilung des rechten Herzens bei Lungenembolie ist eine zentrale Aufgabe der Notfallechokardiographie. Mittels Echokardiographie können in erster Linie die hämodynamischen Konsequenzen einer Lungenembolie nachgewiesen werden, während die Detektion von Thromben in der Pulmonalisstrombahn nur unter günstigen Umständen gelingt. Damit liegt die Sensitivität zur Detektion einer akuten Lungenembolie in der Literatur zwischen 56 und 79% [24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31]. Die echokardiographische Abschätzung der hämodynamischen Relevanz der Lungenembolie ist jedoch von prognostischer und therapeutischer Bedeutung. Dabei müssen die Dimensionen der rechten Herzhöhlen, die Kontraktionsamplitude des rechtsventrikulären Myokards, die rechtsventrikuläre Wandstärke, der Schweregrad der Trikuspidalklappeninsuffizienz, die kalkulierten pulmonalarteriellen Drücke und der Füllungszustand der systemischen Venen zur Gesamtbeurteilung analysiert und interpretiert werden. Eine akute hämodynamisch relevante Lungenembolie ohne Vorerkrankung des rechten Herzens geht z. B. mit einer rechtsventrikulären

Dilatation, einer Abnahme der rechtsventrikulären Kontraktionsamplitude, einer Wandverdünnung, einem eher niedrigen Schweregrad der Trikuspidalklappeninsuffizienz, mäßig erhöhten Pulmonalisdrücken und unterschiedlich ausgeprägten Zeichen einer Rechtsherzstauung bzw. einer systemvenösen Stauung einher (■ Abb. 3).

3.3. Perikardtamponade (hämodynamische Relevanz eines Perikardergusses, perikardiale Blutungen bei Myokardperforationen)

Die Detektion eines Perikardergusses ist echokardiographisch leicht möglich und wird in der Regel durch die subkostale Anlotung diagnostiziert und dokumentiert. Die Sensitivität zur Detektion eines Perikardergusses liegt bei 95–100%, die Spezifität über 85% [32, 33]. Die Schwierigkeit bei der Diagnostik des Perikardergusses liegt in der Einschätzung der hämodynamischen Relevanz. Die Dokumentation einer hämodynamischen Relevanz bis zur Perikardtamponade hat zudem die direkte therapeutische Konsequenz der Perikardpunktion zur Folge und sollte daher zuverlässig und sicher erfolgen. Eine weitere echokardiographische Herausforderung ist die Differenzierung von teilorganisierten Perikardergüssen sowie die Beurteilung peri- und perikardialer Hämatoome mit ihren hämodynamischen Effekten (■ Abb. 4).

3.4. Akute Herzklappenfehler (akute Klappendysfunktionen, Endokarditis)

Die Echokardiographie spielt eine zentrale Rolle in der morphologischen und funktionellen Analyse der Herzklappen. Die echokardiographische Dokumentation und Analyse sollten nach den nationalen und internationalen Empfehlungen zur Beurteilung von Herzklappenfehlern erfolgen [18, 34, 35, 36, 37]. Morphologisch sollte die Ursache eines Klappenfehlers dargestellt werden, damit die Ursache des Defektes geklärt werden kann. Funktionell ist der Schweregrad des Klappendefektes durch die Analyse der jeweiligen Zielgrößen zu ermitteln. Die Zielgrö-

ße einer Stenose ist die anatomische bzw. effektive Klappenöffnungsfläche, die Zielgröße einer Insuffizienz die Regurgitationsfraktion oder alternativ die Regurgitationsöffnung. Oft gelingt die Beurteilung des Schweregrades eines Klappenfehlers nur indirekt durch dopplerechokardiographische Messungen. Die einem Herzklappenfehler benachbarten Herzhöhlen sind in Bezug auf Dimension und Funktion zur Entscheidungsfindung eingehend zu beurteilen (■ Abb. 5).

Eine besondere Notfallindikation zur Echokardiographie besteht bei Verdacht auf eine Endokarditis. Neben der direkten Detektion der morphologischen Korrelate der Endokarditis wie Vegetationen und Abszedierungen analysiert der Untersucher mit der Echokardiographie die Morphologie und Funktion der einzelnen Klappen sowie mögliche endokarditische Komplikationen wie mykotische Aneurysmata und myo- und perikardiale Beteiligungen. Endokarditische Läsionen wie Vegetationen und Abszedierungen werden mit einer Sensitivität und Spezifität jeweils zwischen 90 und 100% detektiert [38, 39]. Aufgrund der drohenden Komplikationen wie Hirninfarkt, Klappendestruktionen und Abszedierungen ist, in der Regel aufgrund der besseren diagnostischen Genauigkeit, sofort auch im Notfall eine transösophageale Echokardiographie durchzuführen (■ Abb. 6).

3.5. Aortendissektion

Die Aortendissektion stellt eine besondere Notfallsituation dar. Auf der einen Seite ist sie die Hauptdifferenzialdiagnose bei Verdacht auf Myokardinfarkt und/oder bei akutem Koronarsyndrom bei Patienten mit nicht nachweisbaren regionalen Wandbewegungsstörungen, zum anderen zwingt die Diagnose einer Dissektion der Aorta ascendens (Typ-A-Dissektion nach Stanford-Klassifikation) zu einer sofortigen bzw. schnellstmöglichen operativen Therapieeinleitung. Neben einer oft typischen Anamnese weisen ein Perikarderguss und/oder eine Aortenklappeninsuffizienz auf das mögliche Vorliegen einer Typ-A-Dissektion hin. Aber auch ohne diese genannten Hinweise kann eine Aortendissektion vorliegen. Durch die Echokardiographie – speziell die transösopha-

Akute Herzklappenfehler			
Klappenfehler	Zielstruktur	Durchführung Schnittebenen Analysen	Zielgröße: Öffnungsfläche bzw. Regurgitationsfraktion
Aortenklappenstenose	LV-/LVOT- und Aorten- dimension und LV- und AV-Funktion	PLAX und PSAX; AP4, AP2, APLAX; Spektral- und Farbdoppler; PW-LVOT; CW-AV	Planimetrie AVA; AV-Gradient; AVA-Kontinuitätsgleichung; globale LV-Funktion
Aortenklappen- insuffizienz	LV-/LVOT- und Aorten- dimension und LV- und AV-Funktion	AP4, AP2, APLAX; Spektral- und Farbdoppler; PW-LVOT; CW-AV; Descendens-/Subclavia-Fluss	LV-Funktion; Aortendurchmesser; HZV; PHT; diastolischer Rückfluss in den großen Gefäßen
Mitralklappenstenose	LA- und LV- Dimension und LA- und MV-Funktion	PLAX, PSAX; AP4, AP2, APLAX; Spektral- und Farbdoppler; CW-MV und CW-TV	LA- und LV-Dimension; LA- und LV-Funktion; MVA-Planimetrie; MV- Gradient; PHT; PISA; PAP _{sys}
Mitralklappeninsuffizienz	LA- und LV-Dimension und LA- und MV-Funktion	AP4, AP2, APLAX; Spektral- und Farbdoppler; CW-MV und CW-TV	LA- und LV-Dimension; LA- und LV-Funktion; V. contracta; PISA; PAP _{sys}
Trikuspidal- klappeninsuffizienz	RA- und RV- Dimension und RA- und TV-Funktion	AP4 und rechter AP2; Spektral- und Farbdoppler; CW-TV; subkostale Anlotung	RA- und RV-Dimension; RA- und RV-Funktion; V. contracta; PAP _{sys} ; Dimension - Kollaps V. cava inferior

Abb. 5 Zielstruktur, Schnittebenen und Zielgrößen bei der echokardiographischen Notfalldiagnostik von akuten Herzklappenfehlern. *PLAX* parasternale lange Achse, *PSAX* parasternale kurze Achse, *AP4* apikaler 4-Kammer-Blick, *AP2* apikaler 2-Kammer-Blick, *APLAX* apikale lange Achse, *AVA* Aortenklappenöffnungsfläche, *AV* Aortenklappe, *LVOT* linksventrikulärer Ausflustrakt, *LV* linker Ventrikel, *LA* linkes Atrium, *HZV* Herzzeitvolumen, *PHT* „pressure half time“, *MVA* Mitralklappenöffnungsfläche, *MV* Mitralklappe, *PISA* „peak isovelocity surface area“, *PAP_{sys}* systolischer Pulmonalisdruk, *TV* Trikuspidalklappe, *RA* rechtes Atrium, *RV* rechter Ventrikel, *V. cava inferior* untere Hohlvene, *PW* „pulsed wave“, *CW* „continuous wave“

Endokarditis			
		Durchführung Schnittebenen Analysen	Zielgrößen: Vegetationen; Abszess
Analysestufe 1	Morphologische Analyse von Klappen und Myokard	M-Mode und alle standardisierten und sonstigen Schnittebenen zur morphologischen Charakterisierung	Flottierende Strukturen an den Klappen; perianuläre Gewebeauflockerungen
Analysestufe 2	Funktionelle Analyse von Klappen und Myokard	Alle standardisierten apikalen Schnitte zur LV- und RV-Analyse; PW- und CW-Spektraldoppler; Farbdoppler	Qualitative Beurteilung von Klappenfehlern; Turbulenzen im Myokard als Hinweis auf perianuläre und murale Abszedierungen
Analysestufe 3	Endokarditis- komplikationen und Begleiterkrankungen	Farbdoppler; Subkostale Anlotung	Größe und Emboliegefahr der Vegetationen; Abszedierungen in der fibrösen aorticomitralen Übergangszone; murale Abszesse; Perikardeinblutungen
Analysestufe 4	Notwendige Zusatz- untersuchungen	Transösophageale Echokardiographie; Kontrastechokardiographie; CCT; Abdomen-CT	Sicherung der Diagnose und präoperative Struktur- und Funktionsanalyse; Detektion peripherer Embolien

Abb. 6 Stufendiagnostik, Schnittebenen und Zielgrößen bei der echokardiographischen Notfalldiagnostik der Endokarditis. *LV* linker Ventrikel, *RV* rechter Ventrikel, *PW* „pulsed wave“, *CW* „continuous wave“, *CT* Computertomographie, *CCT* koronare Computertomographie

geale Echokardiographie – kann nach Literatur eine Dissektion mit einer Sensitivität von 85–100% und einer Spezifität von 75–100% nachgewiesen werden [40, 41,

42, 43]. Die Computertomographie ist in der Lage den gesamten Verlauf der Aorta abzubilden und intramurale Hämato-me zu identifizieren. Daher bietet sie vie-

le Vorteile in der Diagnostik der Aorten-dissektion. Wesentlicher Vorteil der initialen echokardiographischen Notfalldiag-nostik – auch mittels transösophagea-

ler Technik – ist die schnelle, bettseitige Identifizierung einer komplizierten Typ-A-Dissektion bei hämodynamisch instabilen Patienten. Somit sind in der Akutsituation eine sehr schnelle Sicherung der Verdachtsdiagnose, eine schnelle Beurteilung einer Aortenklappeninsuffizienz und eines Perikardergusses und dadurch eine schnelle Therapieplanung einschließlich der Beurteilung der Notwendigkeit einer Aortenklappenrekonstruktion oder Prothesenimplantation möglich (■ Abb. 7, 8).

3.6. Thoraxtrauma

Nach stumpfen und auch penetrierenden Thoraxtraumata sowie beim Dezele-rationstrauma (z. B. Sturz aus großer Höhe, Autounfall) ist die echokardiographische Notfalldiagnostik zur Klärung der kardialen Beteiligung – insbesondere bei eintretender hämodynamischer Instabilität und bei sekundären Rhythmusstörungen – indiziert [5]. Herzkontusionen mit Einblutungen in das Myokard auf Vorhof- und Ventrikel-ebene, Rupturen der thorakalen Aorta und großer thorakaler Gefäße mit Perikardtamponade sowie Ausrisse einzelner Klappenstrukturen stellen das Spektrum des traumatischen Notfallszenarios am Herzen dar. Beim Thoraxtrauma gestattet aufgrund der oberflächlichen Wunden oft nur die transösophageale Echokardiographie den einzigen sonographischen Blick auf das Herz. Die typische Prädilektionsstelle für eine Aortenruptur beim Dezele-rationstrauma liegt im Bereich des ehemaligen Ductus Botalli (Aortenisthmus) und ist nur mittels transösophagealer Echokardiographie oder alternativ mittels thorakaler Computertomographie einsehbar (■ Abb. 9).

3.7. Schockzustände

Neben den Indikationen der Notfallechokardiographie bei bestimmten Verdachtsdiagnosen kardiovaskulärer Erkrankungen wird die Echokardiographie zur Differenzierung von Schockformen und zur Klärung der Genese einer Herzinsuffizienz eingesetzt [20, 44]. Die Notfallechokardiographie ist bei unklarem Schockzustand in der Lage, durch gezielte Anlotungen und Darstellungen von kardialen

Strukturen Entscheidungshilfen zur Differenzierung der verschiedenen Schockformen zu geben (■ Abb. 10).

3.8. Akute Herzinsuffizienz

Klinische Zeichen einer Herzinsuffizienz im Notfall prädisponieren zum Einsatz der Notfallechokardiographie. Die schnelle Ursachenklärung der Einschränkung der globalen links- und rechtsventrikulären Funktion kann im Zusammenhang mit weiteren echokardiographischen Befunden und klinischen Informationen zur Differenzierung einer akuten bzw. chronischen kardiovaskulären Problematik und damit zur Erleichterung einer schnellen gezielten Therapieentscheidung beitragen ([45, 46, 47], ■ Abb. 11).

4. Kardiale Struktur- und Funktionsanalyse durch die Notfallechokardiographie – speziell in kardiologischen Notfalleinheiten („emergency care units/chest pain units“)

Speziell bei unbekannter Grunderkrankung ist im Notfall mindestens eine schnelle, fokussierte, nach Möglichkeit jedoch vollständige und systematische Dokumentation der kardiovaskulären Strukturen und kardialen Funktion durchzuführen. Je nach Pathologie sollten die entsprechenden Schnittebenen für die Charakterisierung der zuvor angesprochenen Erkrankungen unter besonderer Berücksichtigung der folgenden 7 wichtigen kardialen Strukturen beurteilt werden:

- die Funktion der Mitralsegel und des linken Ventrikels,
- das interatriale Septum,
- die Aortenklappe und die fibröse aortomitrale Übergangszone,
- die Aortenwurzel, die proximale Aorta ascendens und der Aortenbogen,
- der rechte Ventrikel und das interventrikuläre Septum,
- die untere Hohlvene und die zentralen Lebervenen,
- der Perikardraum.

Die Dokumentation und Beurteilung der kardialen Strukturen sowie der kardialen Funktion sollte nach Möglichkeit auch im Notfall entsprechend den internationalen

Empfehlungen vorgenommen werden. Die Dokumentation von Morphologie und Funktion dieser Strukturen ist mithilfe konventioneller echokardiographischer Methoden – speziell der 2D-Echokardiographie, der Spektral- und Farbdopplerechokardiographie – möglich, sodass eine qualifizierte Notfallechokardiographie prinzipiell auch mit portablen Echogeräten durchgeführt werden kann [3, 10, 18, 30, 31, 34, 35, 36, 48, 49]. Der Einsatz von Ultraschallsystemen mit den modernen Optionen der Echokardiographie sollte, soweit möglich und verfügbar, bevorzugt werden, da spezielle Fragestellungen der Wandbewegungsanalyse und der Klappenmorphologie direkt mittels Deformationsimaging und 3D-Echokardiographie genauer beantwortet werden können und besser objektivierbar sind.

Struktur: Funktion der Mitralsegel und des linken Ventrikels (■ Abb. 12)

Das vordere Mitralsegel ist die morphologische Trennung zwischen der linksventrikulären Einflussbahn während der Diastole und der linksventrikulären Ausflussbahn während der Systole. Während der frühen Diastole (E-Welle) öffnet sich normalerweise das vordere Mitralsegel bis auf eine minimale Distanz zum Kammerseptum hin. Während der Systole bildet es den Boden der linken Herzkammer bei geschlossener dichter Mitralklappe. Diese Relaisfunktion des vorderen Mitralsegels kann am besten in einer langen Achse des linken Ventrikels analysiert werden, da diese Schnittebene genau senkrecht zur Kommissur der Mitrals angeordnet ist. Eine intakte Funktion der Mitralklappe kann durch einen laminaren Fluss während des gesamten Herzzyklus ohne Nachweis von Turbulenzen durch die farbkodierte Dopplerechokardiographie erkannt werden.

Der echokardiographische Blick auf das vordere Mitralsegel zeigt im Notfall somit relativ einfach eine mögliche relevante Störung der Gesamtfunktion des linken Ventrikels an. Die Detektion einer relevanten restriktiven Funktionseinschränkung des hinteren Mitralsegels mit konsekutiver Mitralklappeninsuffizienz weist auf eine Myokardischämie der Hinterwandregion hin. Die Beurteilung der

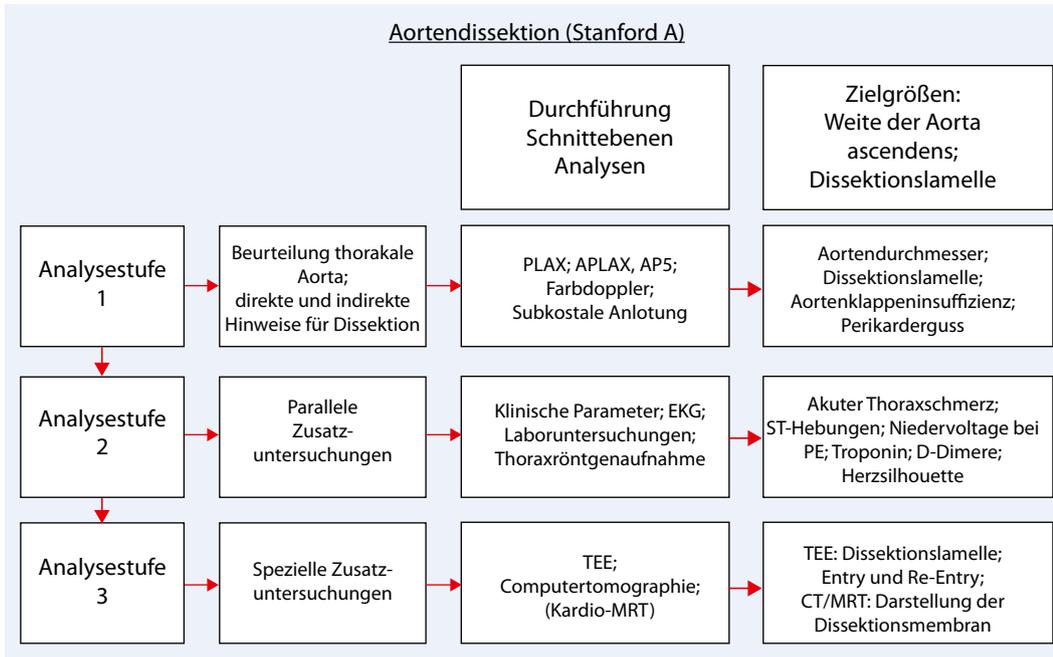


Abb. 7 ◀ Stufendiagnostik, Schnittebenen und Zielgrößen bei der echokardiographischen Notfalldiagnostik der Aortendissektion. *PLAX* parasternale lange Achse, *APLAX* apikale lange Achse, *AP5* apikaler 5-Kammer-Blick, *PE* Perikarderguss, *TEE* transösophageale Echokardiographie, *EKG* Elektrokardiogramm, *MRT* Magnetresonanztomographie, *CT* Computertomographie

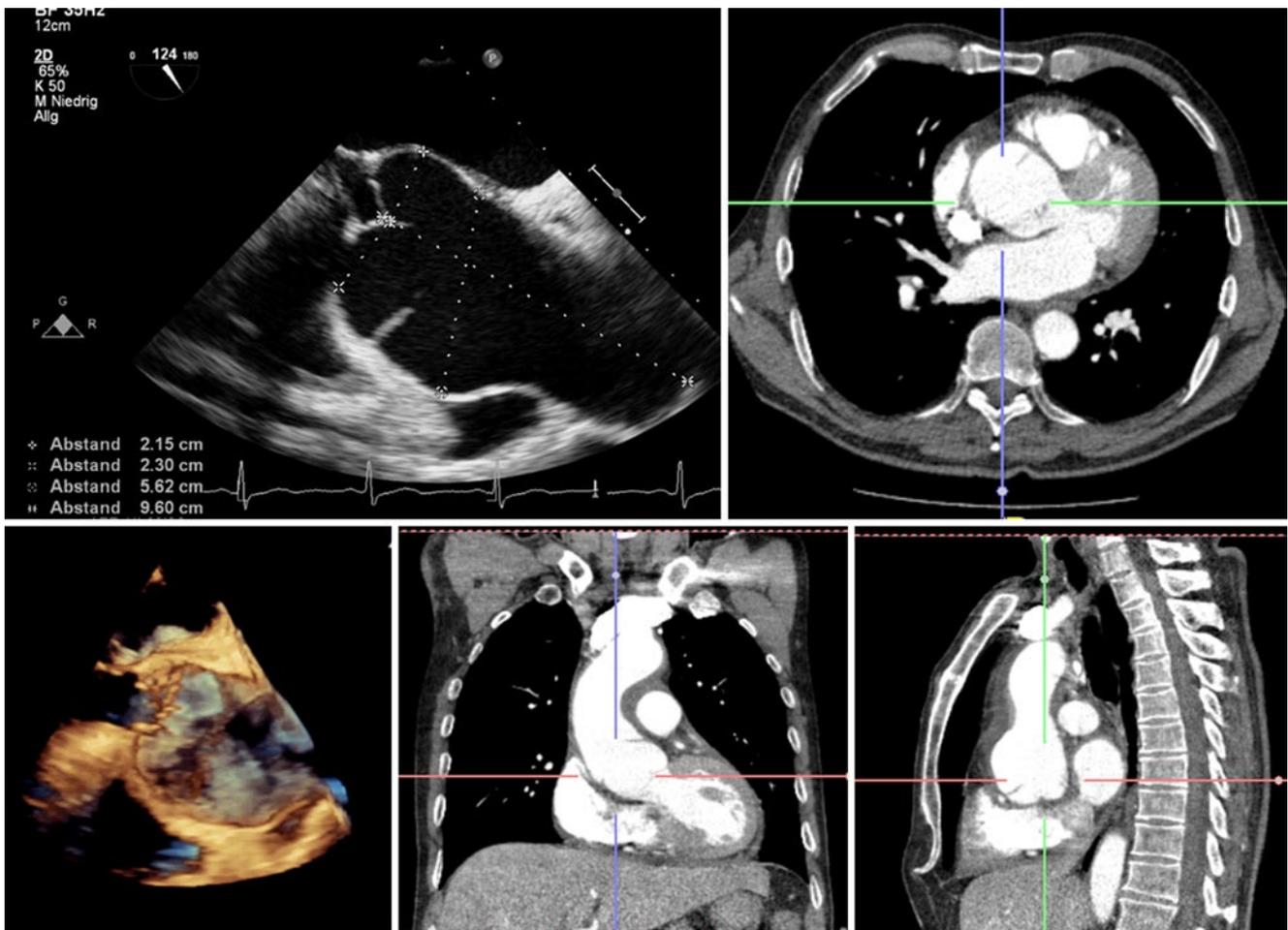


Abb. 8 ▲ Zweidimensionale und multidimensionale Echokardiographie sowie Spiral-CT als Beispiel der kompetitiven Diagnostik im Notfall bei der Aortendissektion

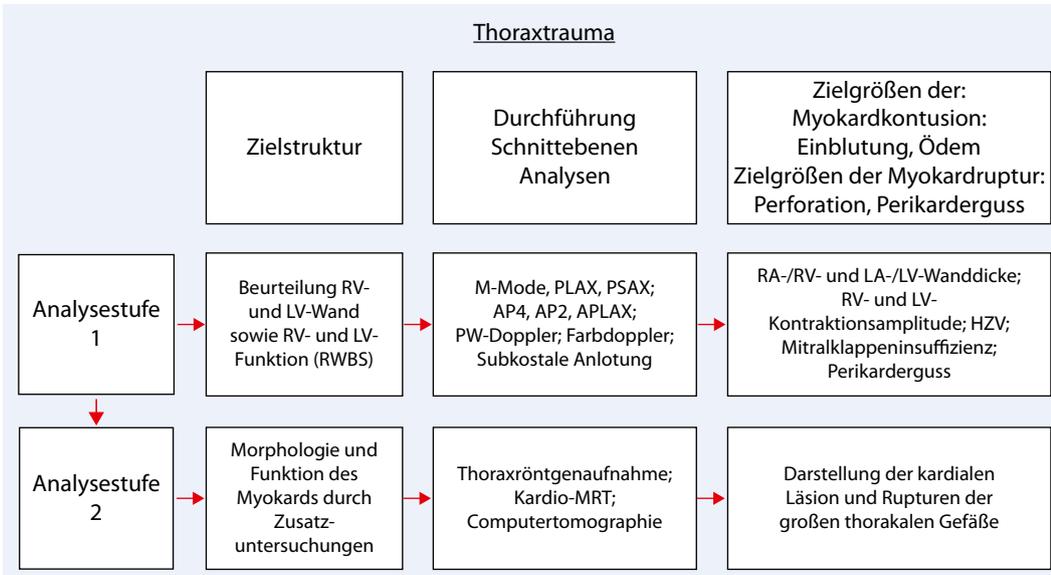


Abb. 9 ◀ Zielstruktur, Schnittebenen und Zielgrößen bei der echokardiographischen Notfalldiagnostik von Thoraxtraumata. *RV* rechter Ventrikel, *LV* linker Ventrikel, *RWBS* regionale Wandbewegungsstörungen, *PLAX* parasternale lange Achse, *PSAX* parasternale kurze Achse, *AP4* apikaler 4-Kammer-Blick, *AP2* apikaler 2-Kammer-Blick, *APLAX* apikale lange Achse, *RA* rechtes Atrium, *LA* linkes Atrium, *HZV* Herzzeitvolumen, *PW*, „pulsed wave“, *MRT* Magnetresonanztomographie

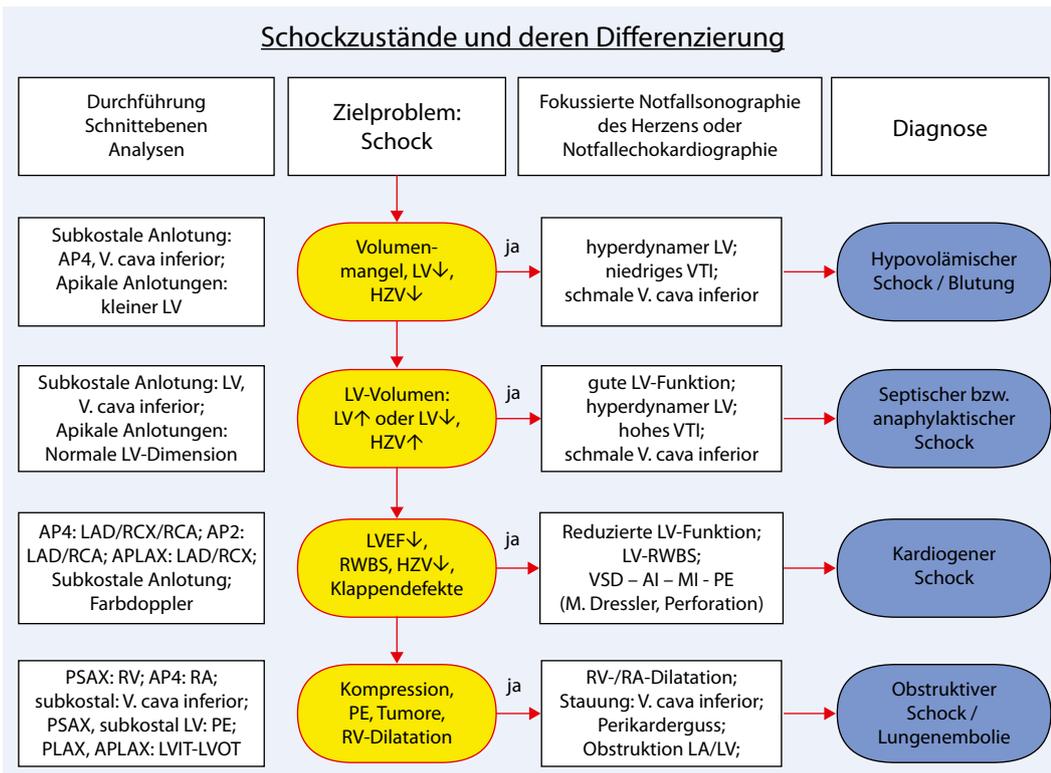


Abb. 10 ▲ Algorithmus in der echokardiographischen Notfalldiagnostik zur Differenzierung der verschiedenen Schockformen. *RV* rechter Ventrikel, *LV* linker Ventrikel, *RWBS* regionale Wandbewegungsstörungen, *PLAX* parasternale lange Achse, *PSAX* parasternale kurze Achse, *AP4* apikaler 4-Kammer-Blick, *AP2* apikaler 2-Kammer-Blick, *APLAX* apikale lange Achse, *RA* rechtes Atrium, *LA* linkes Atrium, *V. cava inferior* untere Hohlvene, *HZV* Herzzeitvolumen, *VTI* Velocity-Time-Integral, *VSD* Ventrikelseptumdefekt, *AI* Aortenklappeninsuffizienz, *MI* Mitralklappeninsuffizienz, *PE* Perikarderguss, *LVIT* linksventrikulärer Einflusstrakt, *LVOT* linksventrikulärer Ausflusstrakt, *LAD* Ramus interventricularis anterior, *RCA* rechte Koronararterie, *RCX* Ramus circumflexus, *LVEF* linksventrikuläre Ejektionsfraktion

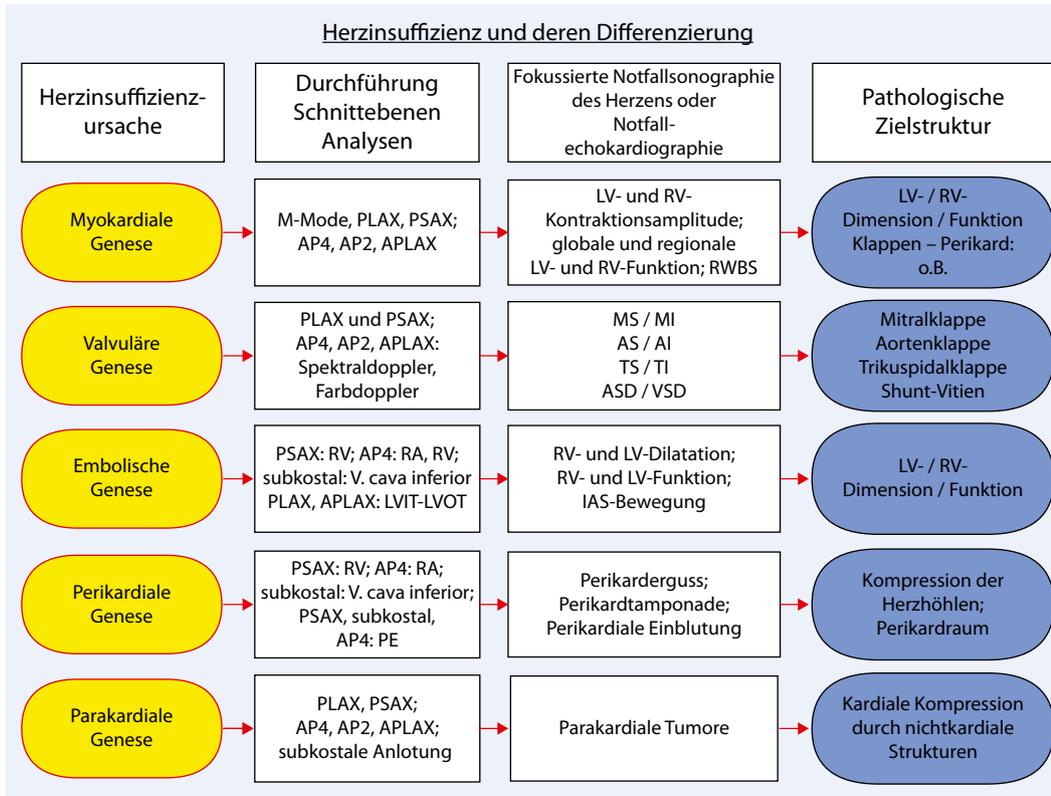


Abb. 11 ◀ Algorithmus in der echokardiographischen Notfalldiagnostik zur Klärung der Genese einer Herzinsuffizienz. *RV* rechter Ventrikel, *LV* linker Ventrikel, *PLAX* parasternale lange Achse, *PSAX* parasternale kurze Achse, *AP4* apikaler 4-Kammer-Blick, *AP2* apikaler 2-Kammer-Blick, *APLAX* apikale lange Achse, *LVIT* linksventrikulärer Einflusstrakt, *LVOT* linksventrikulärer Ausflusstrakt, *RA* rechtes Atrium, *LA* linkes Atrium, *IAS* interatriales Septum, *V. cava inferior* untere Hohlvene, *HZV* Herzzeitvolumen, *VTI* Velocity-Time-Integral, *ASD* Vorhofseptumdefekt, *VSD* Ventrikelseptumdefekt, *AI* Aortenklappeninsuffizienz, *AS* Aortenklappenstenose, *MI* Mitralklappeninsuffizienz, *MS* Mitralklappenstenose, *PE* Perikarderguss, *TS* Trikuspidalklappeninsuffizienz

linksventrikulären Funktion sollte in den 3 apikalen Standardanlotungen erfolgen – jedoch zumindest in einem apikalen oder subkostalen 4-Kammer-Blick oder in parasternalen Kurzschnittansichten.

Struktur: interatriales Septum (▣ Abb. 13)

Das interatriale Septum ist ein Druckindikator des menschlichen Herzens. Unter physiologischen Bedingungen ist im Bereich des membranösen Anteils in der Fossa ovalis mit jedem Herzschlag eine pendelnde Bewegung des interatrialen Septums zu beobachten. Eine Erhöhung der linksatrialen Drücke und des linksventrikulären Füllungsdrucks führt typischerweise zu einer Auslenkung des interatrialen Septums nach rechts. Bei primärer Erhöhung der rechtsatrialen Drücke und des rechtsventrikulären Füllungsdrucks ist das interatriale Septum nach links überdehnt (wie z. B. bei einer Lungenembolie). Im Falle einer beidseitigen balancierten Druckerhöhung und Füllungsstörung beider Ventrikel zeigt das interatriale Septum typischerweise eine verminderte Beweglichkeit und steht relativ starr in der Mitte zwischen rechtem und linkem Atrium.

Das interatriale Septum kann in einem parasternalen und subkostalen Kurzschnitt in Höhe des linksventrikulären Ausflusstraktes sowie in einem apikalen oder subkostalen 4-Kammer-Blick dargestellt werden. Zusätzlich kann das interatriale Septum auch gut in einer schrägen Kurzsachsenanlotung mit Schallkopfposition zwischen dem parasternalen und apikalen Anlotungspunkt eingestellt werden.

Struktur: Aortenklappe und fibröse aorticomitrale Übergangszone (▣ Abb. 14)

Die Anlotung der Aortenklappe erfolgt in der Notfallechokardiographie zur Detektion eines hämodynamisch relevanten Ventildefektes an der Aortenklappe und zur Dokumentation möglicher endokarditisch bedingter Läsionen. Bei klinischem Verdacht auf Endokarditis ist zudem eine besondere Aufmerksamkeit auf die fibröse aorticomitrale Übergangszone zu legen, da sich in dieser Region besonders häufig Abszesse bilden. Aufgrund ihrer häufig niedrigen Echogenität mit schlechter Abgrenzbarkeit und der oftmals limitierten Bildqualität sind Abszesse jedoch in der transthorakalen Anlotung schwer zu erkennen. Vegetationen

an den Mitralklappen werden dagegen aufgrund ihrer auffallenden Bewegungen eher leicht und schnell erkannt. Oft erscheinen sie in der apikalen Anlotung aufgrund der schlechteren lateralen Auflösung im Vergleich zur radialen Auflösung größer als in der parasternalen Anlotung. Allerdings ist dieses Phänomen auch die Ursache für häufige Fehlinterpretationen, die dann zu falsch positiven Befunden führen können.

Die Aortenklappe wird in der parasternalen langen und kurzen Achse, in der apikalen langen Achse und im apikalen 5-Kammer-Blick, in der subkostalen kurzen Achse sowie in der suprasternalen Anlotung in Längsrichtung des Aortenbogens dargestellt. Die farbkodierte Darstellung in der apikalen langen Achse dokumentiert am besten mögliche Turbulenzen an der Aortenklappe. Die fibröse aorticomitrale Übergangszone, welche dem Bereich des vorderen Mitralklappenringes zwischen den beiden Trigona entspricht, wird in der parasternalen und apikalen langen Achse sowie in einem Kurzschnitt in Höhe des basalen vorderen Mitralanulus beurteilt.

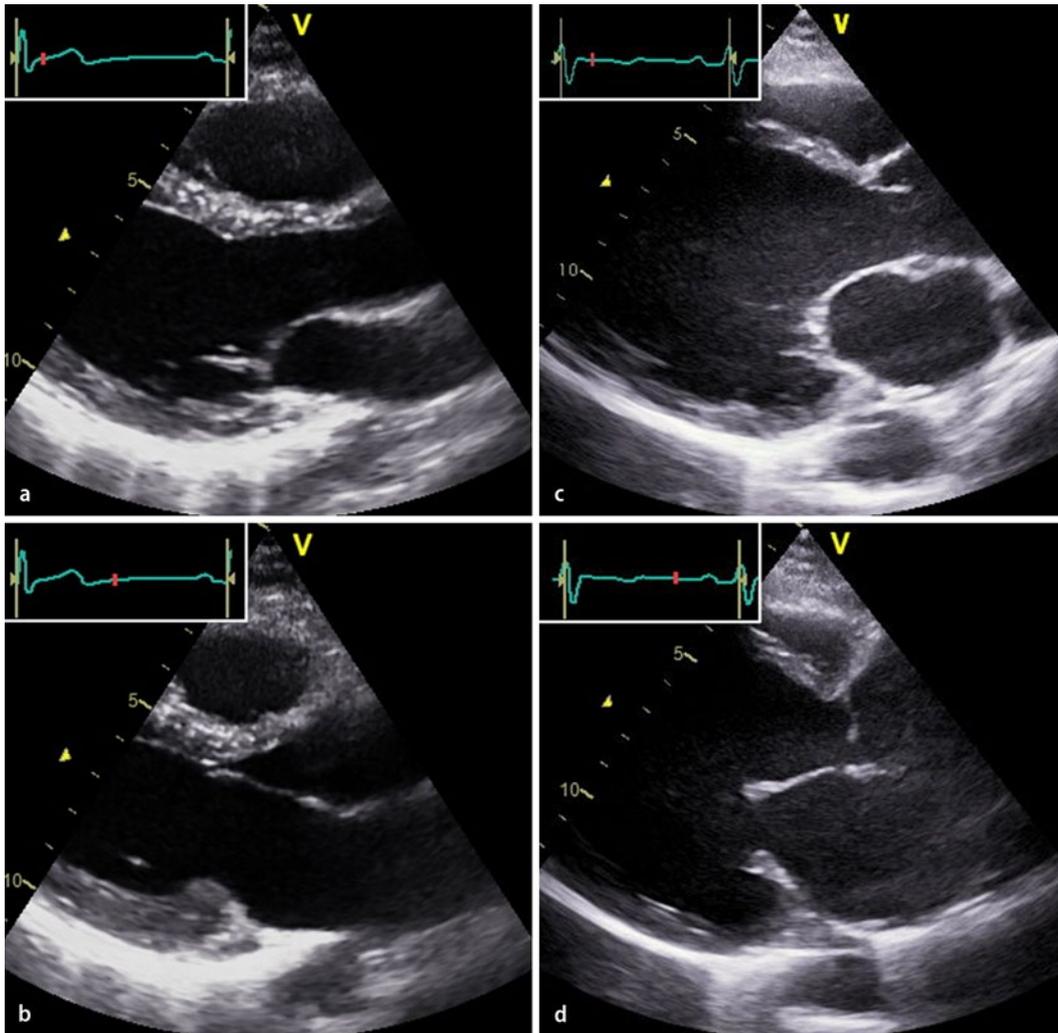


Abb. 12 ◀ Darstellung des vorderen Mitralsegels bei normaler Morphologie und linksventrikulärer Funktion während der **a** Systole und **b** Diastole sowie bei Herzinsuffizienz während der **c** Systole und **d** Diastole

Struktur: Aortenwurzel, proximale Aorta ascendens und Aortenbogen (▣ Abb. 15)

Bei jedem akuten thorakalen Schmerzergebnis ist neben dem Myokardinfarkt und der myokardialen Ischämie die Aortendissektion eine der möglichen Differenzialdiagnosen. Im akuten Notfall muss somit die Dissektion in der Aorta ascendens und im Aortenbogen bestätigt oder ausgeschlossen werden. Das Entry einer Dissektion oder das intramurale Hämatom in die Aortenwand ist nicht einfach zu diagnostizieren. Die Aortenwurzel muss daher im parasternalen Lang- und Kurzachsenschnitt subtil nach Auflockerungen der Aortenwand oder Doppellamellen abgesehen werden. Das praktische Problem in der Beurteilung der proximalen Aorta ascendens besteht in der häufig unzureichenden Darstellung dieser Region. Es ist anzuraten, die längs getroffene aszen-

dierende Aorta in einer schrägen parasternalen langen Achse mit weiter Sektorbreite darzustellen. Bei Verdacht auf Dissektion muss zusätzlich der Aortenbogen von suprasternal in Längsrichtung dargestellt werden, und es sollte eine Beurteilung der proximalen Halsarterien zum Dissektionsausschluss erfolgen. Zur Klärung einer Dissektion können auch lungengängige Kontrastmittel verwendet werden. Die transthorakale Echokardiographie bei Verdacht auf Aortendissektion und unklaren Befunden ist durch eine transösophageale Echokardiographie, eine Magnetresonanztomographie oder eine Computertomographie zu ergänzen.

Struktur: rechter Ventrikel und interventrikuläres Septum (▣ Abb. 16)

Der rechte Ventrikel ist in der Notfallechokardiographie die Zielstruktur zur

Differenzierung zwischen Druck- oder Volumenbelastung sowie zur Dokumentation einer Rechtsherzinsuffizienz. Die Beurteilung der rechtsventrikulären Dimensionen im Zusammenhang mit der Wandstärke des rechten Ventrikels und der Kontraktionsamplitude des rechtsventrikulären Myokards ist entscheidend bei Krankheitsbildern wie der chronischen pulmonalen Hypertonie und des Cor pulmonale, der akuten Lungenembolie, Rechtsherzinfarzierung, Shuntvitien mit Volumenbelastung des rechten Herzens und Klappenfehlern des rechten Herzens. Die Funktionsanalyse des rechten Ventrikels umfasst neben der Bestimmung der Trikuspidalring-Exkursion („tricuspid annular plane systolic excursion“, TAPSE) die gezielte Beurteilung der rechtsventrikulären Myokardabschnitte des Einflusstraktes und des Ausflusstraktes. Bei typischer Klinik ohne eindeutige

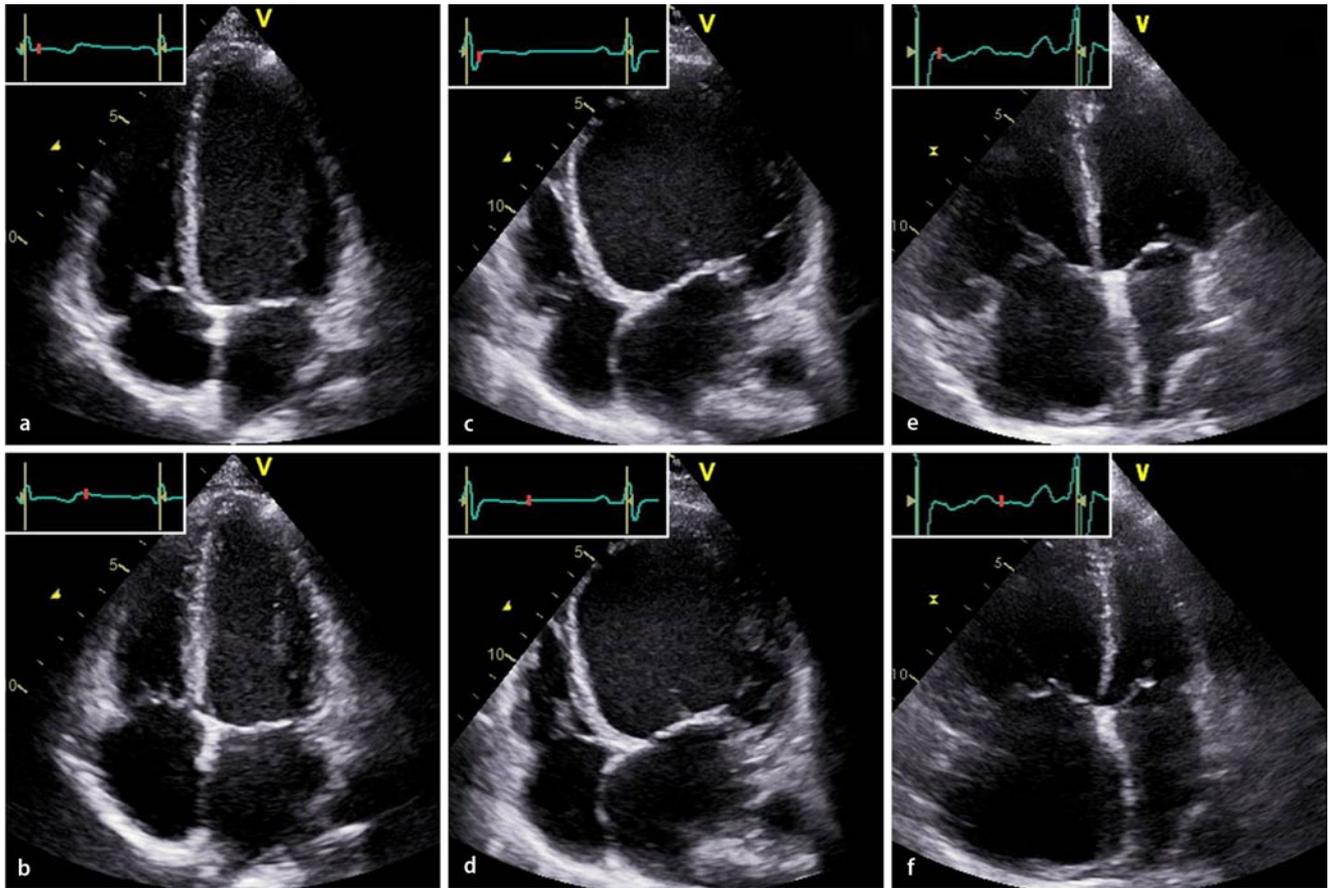


Abb. 13 ▲ Unauffälliges membranöses interatriales Septum während **a** der frühen Systole und **b** der isovolumetrischen Relaxationszeit sowie **c**, **d** jeweils zu den gleichen Zeitpunkten bei kontinuierlicher Überdehnung nach rechts infolge linksventrikulärer Füllungsbehinderung und **e**, **f** bei kontinuierlicher Überdehnung nach links infolge rechtsventrikulärer Füllungsbehinderung

elektrokardiographische Infarktzeichen sind die posterolateralen und inferioren Regionen des rechten Ventrikels durch Darstellung des rechtsventrikulären Einfluss- und Ausflusstraktes ausgehend von Neigungen nach medial und lateral aus der langen Achse abzubilden.

Die echokardiographische Beurteilung des rechten Herzens ist wegen der komplexen Anatomie des rechten Ventrikels schwierig. Die Interpretation der Befunde umfasst die Beurteilung der rechtsventrikulären Dimensionen und Kontraktilität, den Schweregrad einer vorliegenden Trikuspidalklappeninsuffizienz und der pulmonalen Druckerhöhung sowie den Füllungsstatus der zentralen Venen. So ist bei Dilatation des rechten Ventrikels und eingeschränkter Kontraktilität des rechten Herzens z. B. zwischen den Diagnosen Rechtsherzinfarkt, akute Lungenembolie, dekompensierte Rechtsherzinsuf-

fizienz und Ausflussbahnobstruktion bei Pneumothorax zu differenzieren.

Das interventrikuläre Septum ist normalerweise systolisch und diastolisch zum rechten Ventrikel hin vorgewölbt. Eine Abflachung des interventrikulären Septums zwischen rechtem und linkem Ventrikel oder eine sog. paradoxe Septumbewegung weist auf eine signifikante Druckerhöhung im rechten Ventrikel infolge einer akuten oder chronischen Rechts-herzbelastung hin.

Struktur: untere Hohlvene und zentrale Lebervenen (▣ Abb. 17)

Die Vorlast des rechten Herzens kann anhand der Dimension und der Atemvariabilität der unteren Hohlvene abgeschätzt werden. In der Notfallechokardiographie ist somit schnell eine Abschätzung des Volumenstatus möglich. Physiologisch zeigen die Dimensionen von V. cava inferior und zentralen Lebervenen pulssynchrone

und atemabhängige Schwankungen. Bei tiefer Inspiration kollabiert bei normalen Venendimensionen die untere Hohlvene nahezu vollständig, was einen niedrigen bis normalen zentralen Venendruck dokumentiert. Ein partieller Kollaps belegt einen erhöhten zentralen Venendruck, ein fehlender Kollaps extrem erhöhte zentrale Venendrucke über 20 mmHg. Der sog. Kollapsindex wird durch atemabhängige Durchmesser der unteren Hohlvene ca. 1–2 cm vor der Einmündung der unteren Hohlvene in das rechte Atrium bestimmt.

Eine mäßige Dilatation der unteren Hohlvene kann jedoch auch unter physiologischen Bedingungen z. B. bei Leistungssportlern zu finden sein. Pathologische Ursachen einer Dilatation der unteren Hohlvene und der zentralen Lebervenen sind neben der Hypervolämie, Vorhofflimmern, die höhergradige Trikuspidalklappeninsuffizienz, die Rechtsherzinsuffizienz und Rechtsherzdekompensa-

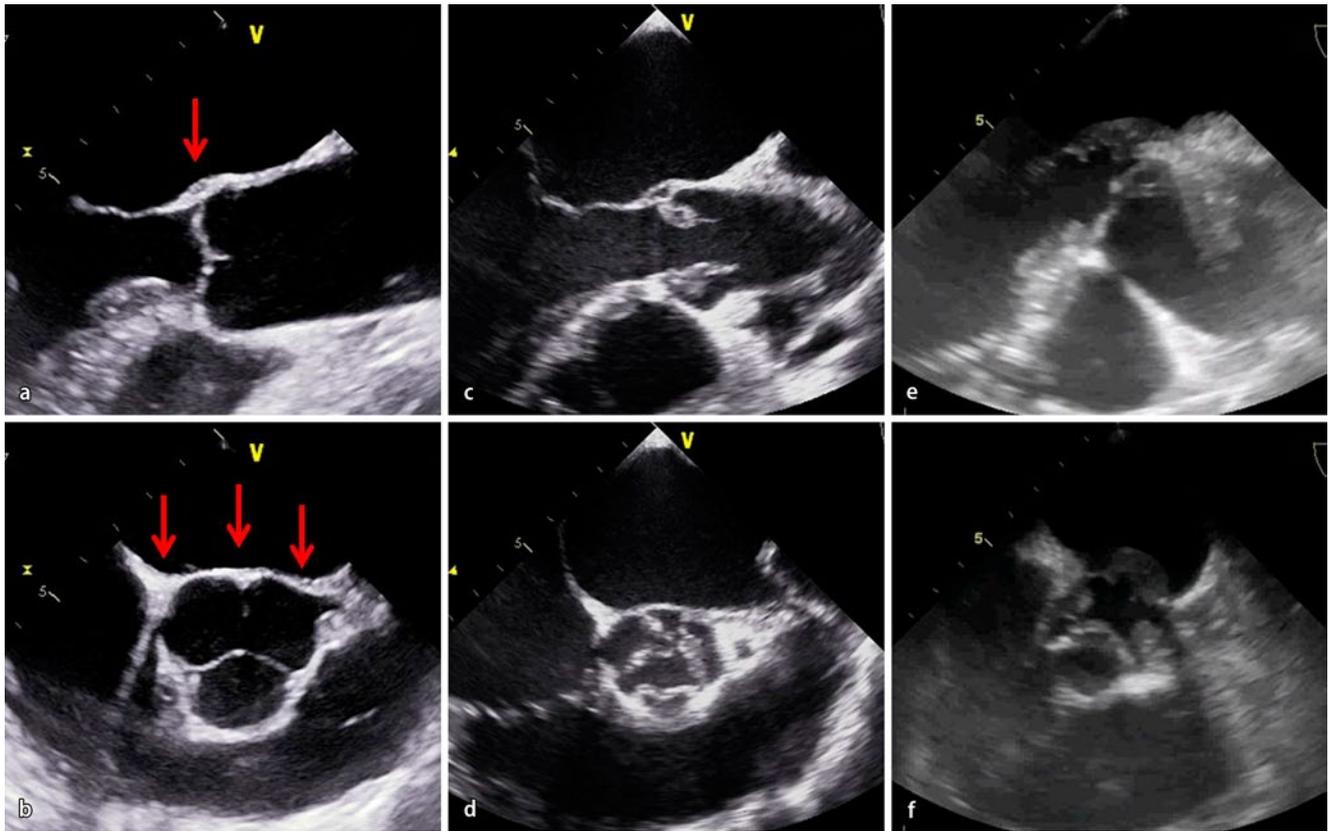


Abb. 14 ▲ Unauffällige Aortenklappe und fibröse aorticomitral Übergangzone (Pfeile) im parasternalen transösophagealen **a** Längs- und **b** Kurzachsenschnitt sowie **c, d** auffällige Befunde in entsprechenden Anschnitten bei Aortenklappenendokarditis und **e, f** bei Abszedierung der fibrösen aorticomitralen Übergangzone

tion, konstriktive Füllungszustände des rechten Herzens wie z. B. bei hämodynamisch relevantem Perikarderguss und Pericarditis constrictiva und restriktive Füllungsdynamiken wie bei Speichererkrankungen.

Die untere Hohlvene und die Lebervenen werden in der Regel in Längsrichtung von subkostal dargestellt. Zur besseren Objektivierung der Weite der unteren Hohlvene ist ein Kurzachsenschnitt des Gefäßes zu bevorzugen, da der maximale Durchmesser in dieser Anlotung eher kontrolliert werden kann.

Struktur: Perikardraum

▣ Abb. 18)

In der Notfallechokardiographie sind die Dokumentation eines Perikardergusses sowie dessen hämodynamische Relevanz und die Detektion einer Perikardtampnade eine zentrale diagnostische Maßnahme. Die Größe des Perikardergusses korreliert nicht mit dessen hämodynamischer Relevanz. Ein akut auftretender Perikarderguss kann auch bei sehr kleinen Erguss-

mengen schnell hämodynamisch relevant werden, während bei chronischen Prozessen auch große Ergussmengen lange Zeit gut toleriert werden können. Nach der Einteilung der Ergussformen nach Horowitz spricht man von einem feuchten Perikard, wenn sich nur systolisch Flüssigkeit im Perikardraum zeigt. Falls auch diastolisch Flüssigkeit zu detektieren ist, liegt ein Perikarderguss vor. Die Ergussmenge wird grob durch die enddiastolische Weite eines Perikardergusses hinter dem linken Ventrikel abgeschätzt, wobei ein Perikarderguss <10 mm mit einer Ergussmenge <100 ml einhergeht. Liegt ein zirkulärer Perikarderguss von 10–20 mm vor, liegt die Ergussmenge zwischen 100 und 250 ml. Ist der Perikarderguss >20 mm kann von einer Ergussmenge von mehr als 500 ml ausgegangen werden. Die Ausmessung des Perikardsaumes erfolgt in der Regel in der parasternalen Kurzachsenanlotung hinter dem linken Ventrikel auf Höhe der Papillarmuskeln. In der parasternalen langen Achse differenziert man durch die Lage des Erguss-

ses zwischen Ventrikel und Aorta descendens zwischen Perikarderguss und Pleuraerguss (ein Perikarderguss zieht im sonographischen Bild zwischen die posteriore Wand des linken Ventrikels und die Aorta descendens, ein Pleuraerguss im Bild nach unten „vor“ die Aorta descendens). Die Beurteilung einer möglichen Dynamik eines Perikardergusses sollte mehrere Standarddarstellungen beinhalten, sodass ein Progress dadurch objektiviert werden kann. Daher sollten nach Möglichkeit alle parasternalen und apikalen Standardschnitte zur Dokumentation eines Perikardergusses herangezogen werden. Im Notfall ist eine Beurteilung des Perikardraumes von subkostal zu befürworten. Obwohl in dieser Anlotung häufig eine Schräganlotung des Perikardraumes erfolgt, die zu einer Überschätzung der Menge des Perikardergusses führen kann, ist die hämodynamische Relevanz durch die Kompression des rechten Atriums und die Stauung der zentralen Venen einfach abzuschätzen. Ein zusätzliches Problem infolge ähnlicher Echoge-

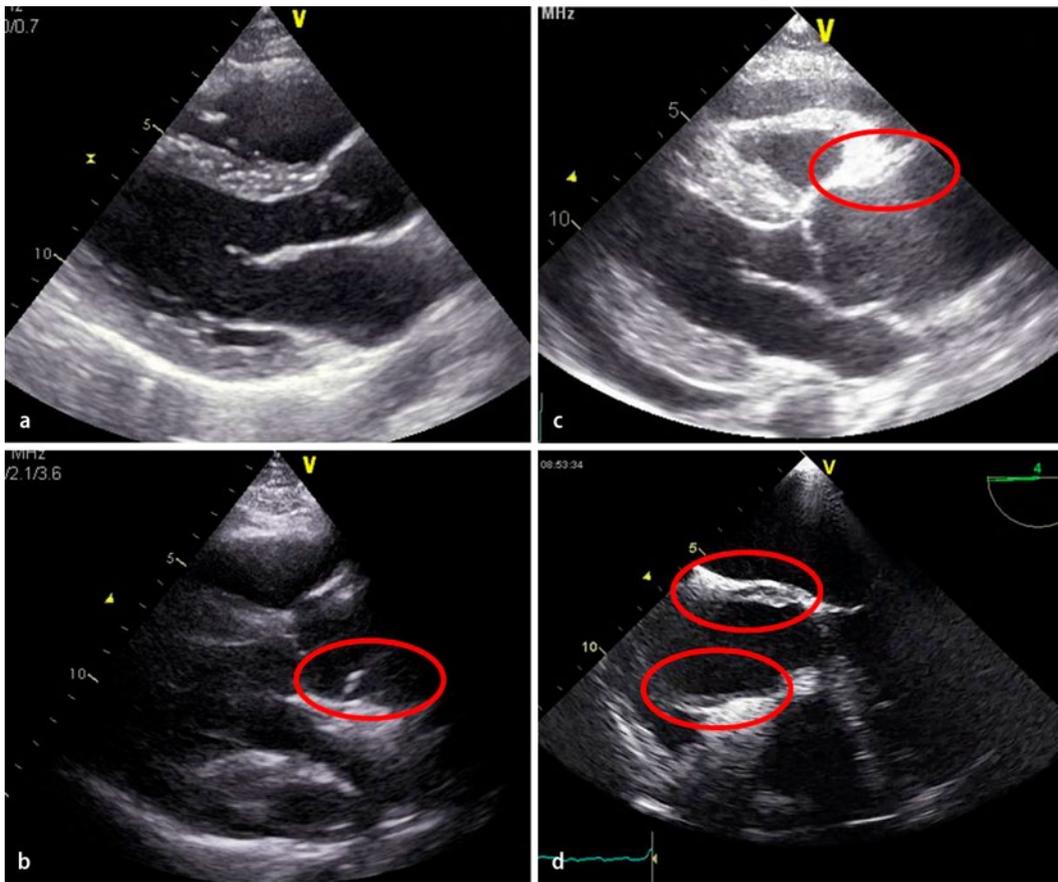


Abb. 15 ◀ Unauffällige Aortenwurzel und proximale Aorta ascendens **a** im parasternalen Längsschnitt sowie **b** im gleichen Anschnitt bei Vorliegen einer Stanford-A-Dissektion im dorsalen Wurzelbereich bzw. **c** im ventralen Ascendensbereich. **d** Ein Wandhämatom der proximalen Aorta als Frühstadium der Dissektion ist in der transösophagealen Anschallung gezeigt. Die Markierungen kennzeichnen jeweils die Pathologie der Aortenwand

nitäten zum benachbarten Myokard stellen im Notfall die Detektion organisierter, z. B. eitriger Perikardergüsse dar sowie die Abgrenzung eines Perikardergusses von einem parakardial hämodynamisch relevanten Hämatom nach operativen Thoraxeingriffen mit Perikarderöffnung.

Die subkostale Anlotung ist bei der Wahl der Punktionsrichtung vor Entlastungspunkten ebenfalls von Bedeutung.

5. Techniken der Notfallechokardiographie und deren Einsatz

Die wesentlichen echokardiographischen Techniken der Notfallechokardiographie sind in **Tab. 1** angeführt und umfassen die transthorakale Echokardiographie, die transösophageale Echokardiographie und die Kontrastechokardiographie [34, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58].

Bestehen ausreichende Zeitreserven, sollte auch im Notfall das komplette Spektrum der Untersuchungstechniken [34] genutzt werden und die Untersuchung von der Standarduntersuchung

zu den erweiterten Untersuchungsgängen bis zu den Spezialmethoden je nach Anforderung ausgedehnt werden [3, 10]. Im akuten Notfall bleibt auch für den Experten häufig nur Zeit für eine fokussierte Untersuchung. Der Experte kann bei der Untersuchung die aktuelle Pathophysiologie schnell durch Wahl der geeigneten Schnittebenen und entsprechenden Untersuchungstechniken analysieren. Die transthorakale und transösophageale Echokardiographie dient zur Bestätigung oder zum Ausschluss klinischer sowie transthorakaler Verdachtsdiagnosen, die mit einer hohen Mortalität oder Morbidität einhergehen [50, 51, 52]. Weiterhin wird die transösophageale Echokardiographie im Notfall zum Thrombenausschluss im linken Vorhof vor Kardioversion bei symptomatischem Vorhofflimmern eingesetzt [53].

6. Einsatzbereiche und Geräte der Notfallechokardiographie

Die Notfallechokardiographie kommt in Notfallaufnahmen, auf Intensivstationen

und „Cardiac Care Units/Chest Pain Units“, im Operationsaal und im Katheterlabor sowie bei anderen Akutsituationen zum Einsatz.

Die Indikationsstellung zur Notfallechokardiographie erfolgt der Situation entsprechend entweder primär diagnostisch oder gezielt symptomorientiert. Eine besondere Situation ist das Umfeld der kardiopulmonalen Reanimation. Unter Reanimationsbedingungen müssen gezielte Fragestellungen mit der Notfallechokardiographie (oder durch die fokussierte Sonographie des Herzens) beantwortet werden, die akut zu der klinischen Entscheidungsfindung beitragen. Zusätzlich dient die Notfallechokardiographie zum Monitoring invasiver Prozeduren wie z. B. bei Perikard- und Pleurapunktionen. Die postprozeduralen Kontrollen zur Detektion möglicher Komplikationen sind ein weiterer Einsatzbereich der Notfallechokardiographie. Fast ausschließlich mittels transösophagealer Echokardiographie erfolgt das intraoperative Monitoring des Volumenstatus und der myokardialen Funktion.

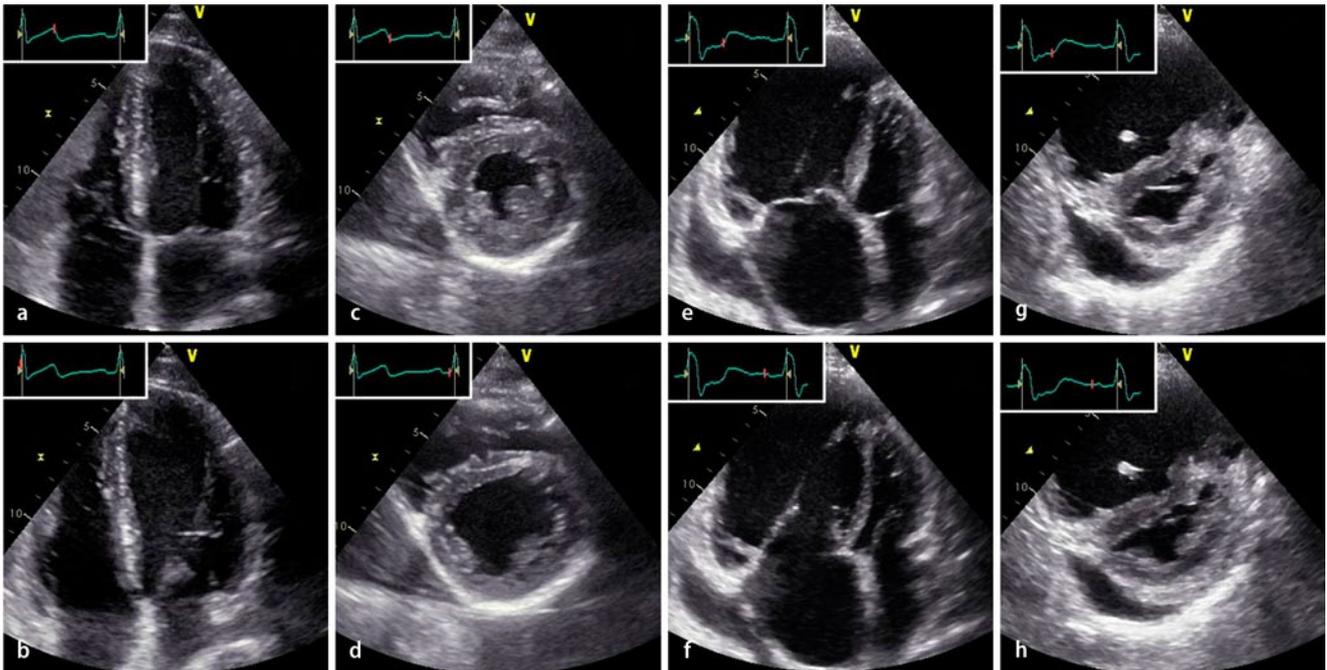


Abb. 16 ▲ Normaler rechter Ventrikel – systolisch und diastolisch – **a, b** im 4-Kammer-Blick und **c, d** im parasternalen Kurzachsschnitt in Höhe der Papillarmuskeln sowie **e–h** Darstellung der entsprechenden Schnittebenen einer diastolischen-systolischen paradoxen Septumbewegung bei Cor pulmonale in den entsprechenden Schnittebenen

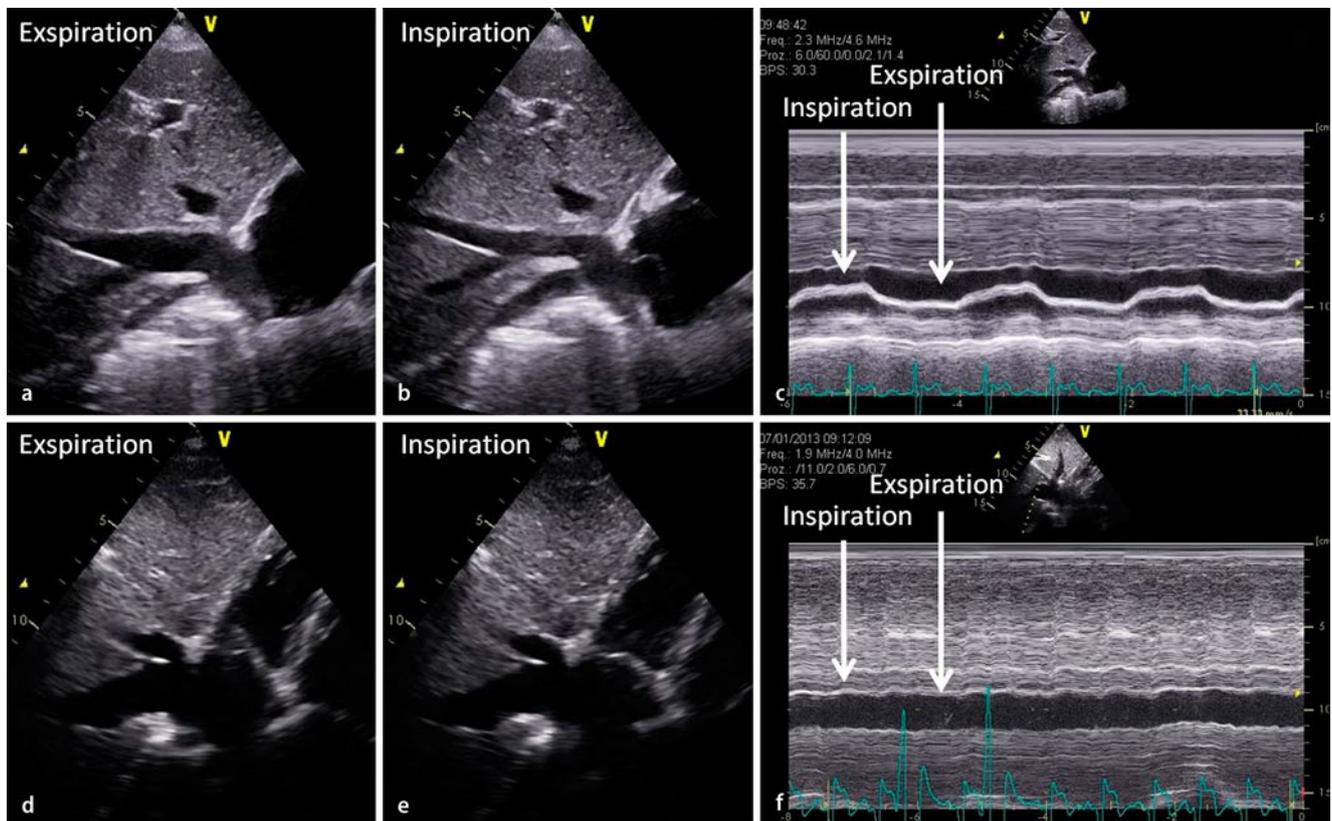


Abb. 17 ▲ Verhalten der unteren Hohlvene während **a, d** tiefer Expiration und **b, e** Inspiration sowie **c, f** Dokumentation der Atemvariabilität der unteren Hohlvene im M-Mode bei **a–c** jeweils subkostaler Anlotung für einen sog. partiellen Kollaps bei Rechtsherzinsuffizienz bzw. **d–f** fehlenden Kollaps der unteren Hohlvene bei Rechtsherzdekompensation

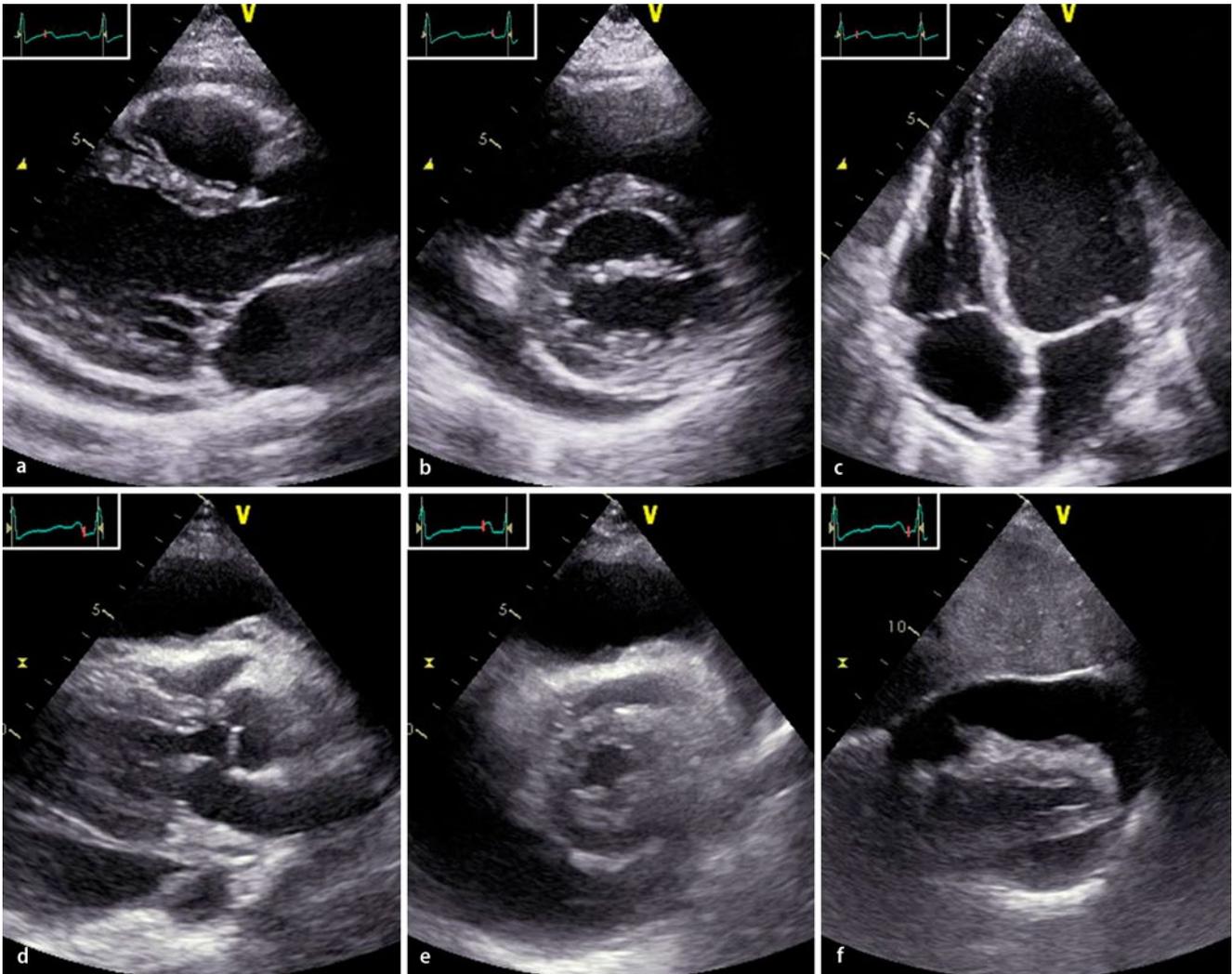


Abb. 18 ▲ Dokumentation eines hämodynamisch nicht relevanten kleinen Perikardergusses ohne hämodynamische Relevanz in der Systole **a** in der parasternalen langen Achse und **b** in der parasternalen kurzen Achse und **c** im apikalen 4-Kammer-Blick sowie Dokumentation eines hämodynamisch relevanten Perikardergusses mit Kompression des rechten Ventrikels in der Diastole **d** in der parasternalen langen Achse und **e** in der parasternalen kurzen Achse sowie **f** im subkostalen 4-Kammer-Blick

„Handheld-“ oder „Pocket-Size-Imaging-Devices“ sind im Notfall schnell einsetzbare Sonographiergeräte, die allerdings aufgrund der Gerätelimitation keine als Notfallechokardiographie zu bezeichnende Untersuchungen ermöglichen [1, 8]. Die „Pocket-Size-Imaging-Devices“ verfügen allerdings über eine Bildqualität, die ausreichend ist für eine schnelle fokussierte Sonographie des Herzens im Notfall oder auch für Screeninguntersuchung in einer Ambulanz, bei bettseitigen Untersuchungen oder außerhalb von Praxis und Krankenhaus. Die tragbaren Ultraschallsysteme („Laptopgeräte“) ermöglichen eine nicht methodenlimitierte Echokardiographie einschließlich der

transösophagealen Echokardiographie. High-End-Echokardiographiergeräte bieten alle konventionellen Möglichkeiten der Echokardiographie sowie den Einsatz spezieller Verfahren wie die transösophageale Echokardiographie, die Stress- und Kontrastechokardiographie und die 3D-Echokardiographie sowie die objektive Analyse der myokardialen Funktion mittels Gewebedoppler und Speckle Tracking (■ Tab. 2, 3).

7. Durchführung und Befundung der Notfallechokardiographie

Um unnötige Fehler bei der Notfallechokardiographie zu vermeiden und die He-

rausforderungen an die Notfallechokardiographie im „Real Life“ zu bewältigen, wurde in der internationalen Literatur der sog. „ABCD-Ansatz“ beschrieben.

A bedeutet „awareness“. Diese Instruktion appelliert an die Aufmerksamkeit des Untersuchers. Er soll primär gegen die eigene Routine angehen und nicht die Notfalluntersuchung ohne Aufmerksamkeit und Sorgfalt nach vielleicht unzureichenden SOPs („standard operating procedure“) durchführen. Zusätzlich muss im Notfall die Klinik des Patienten in Verbindung mit dem echokardiographischen Befund den Zustand erklären können.

Tab. 1 Gerätetechnik, Untersuchungsmodalität und Merkmale der unterschiedlichen echokardiographischen Anwendungen

Technik	Modalität	Besonderheiten
Trans-thorakale Echokardiographie	– M-Mode – 2D-Echokardiographie – pw-/cw-Doppler – Farbdoppler – Gewebedoppler – Speckle Tracking – 3D-Echokardiographie	– Bei allen akuten Fragestellungen bei ausreichender Schallbarkeit – Zielführend bei entsprechender Expertise für nahezu alle klinischen Fragestellungen
Transösophageale Echokardiographie	– M-Mode – 2D-Echokardiographie – pw-/cw-Doppler – Farbdoppler – 3D-Echokardiographie	– Bei allen akuten Fragestellungen bei suboptimaler oder fehlender transthorakaler Schallbarkeit
Kontrastechokardiographie	– 2D-Echokardiographie mit konventionellem Setting für die Shuntdetektion – 2D-Kontrast-Setting im Low-Mechanical-Index-Modus	– Bei eingeschränkter Schallbarkeit – Bei Verdacht auf ventrikuläre Thromben, Aneurysmen, Pseudoaneurysmen, Ventrikelperforationen – Zur Darstellung der Katheterlage bei Perikard- oder Gefäßpunktionen – Bei Verdacht auf Aortendissektion zur Darstellung der Dissektionslamelle – Zum Shuntnachweis mit kolloidalen Luft-Flüssigkeitsmischungen

B bedeutet „be suspicious“. Hiermit wird an die Kritikfähigkeit des Untersuchers in der Akutsituation appelliert. Er soll immer die vorliegende Fragestellung hinterfragen und anzweifeln, da diese – falls sie falsch ist – irreführend ist und zu falschen Maßnahmen führen kann. Als Beispiel sei hier an die Fragestellung Perikarderguss bei Virusinfekt bei Thoraxschmerz gedacht. Es kann jedoch auch ein Perikarderguss durch Ascendens-Dissektion vorliegen, an den man im Notfall immer denken muss. Man soll nie einer Fragestellung vertrauen. Man muss immer die Diagnose bestätigen oder bewusst eine Diagnose sicher ausschließen.

C bedeutet „comprehensiveness“. Dieser Hinweis appelliert an die technischen Fähigkeiten des Untersuchers und an seine Fachkompetenz. Er sollte eine möglichst komplette Dokumentation durchführen, trotz der widrigen Untersuchungsbedingungen im Notfall. Weiterhin muss er vorsichtig, sorgfältig und kritisch die Befunde interpretieren.

D bedeutet „double R“, und R ist „record and review“. Hiermit wird an die forensische Verpflichtung erinnert, überhaupt und möglichst vollständig zu dokumentieren. Es besteht bei der Notfallechokardiographie – und auch bei der fokussier-

ten Sonographie des Herzens – nach der Muster-Berufsordnung in Deutschland eine Dokumentationspflicht der echokardiographischen Daten für 10 Jahre. Im Anschluss an die Dokumentation sollten die Bilder kontrolliert werden und auf mögliche Fehler und übersehene Diagnosen kritisch hinterfragt werden. Eine Auswertung im Team beinhaltet die Gefahr, dass sich jeder auf den anderen verlässt und keiner die Verantwortung aktiv selber übernimmt.

Die praktischen Aspekte und Gegebenheiten im Notfall sowie die derzeit noch eingeschränkte Verfügbarkeit von Untersuchern zu einer qualifizierten Notfallechokardiographie führen zu 3 grundsätzlichen Szenarien, die ebenfalls in den Europäischen Empfehlungen zur Notfallechokardiographie aufgeführt sind.

1. Die Untersuchung wird vom Kardiologen durchgeführt.
2. Die Untersuchung wird von Nicht-Kardiologen durchgeführt, die vor Ort sind und über einen echokardiographischen Ausbildungsstatus verfügen, der der Weiterbildung zum Kardiologen entspricht. Dieser Status erfordert eine qualifizierte theoretische und praktische Ausbildung, in der die ausreichende praktische Fertigkeit in der Echokardiographie und eine kardiologische klinische Fachkompetenz

über die Pathophysiologie und Behandlung kardiovaskulärer Erkrankungen bestätigt werden kann.

3. Die Untersuchung im Sinne einer fokussierten Sonographie des Herzens wird von Nicht-Kardiologen, Notfallmedizinerinnen und/oder Anästhesisten durchgeführt, die keine entsprechende Ausbildung zur Durchführung und Befundung einer echokardiographischen Untersuchung haben. Aufgrund fehlender Verfügbarkeit eines kardiologischen Hintergrundes mit echokardiographischer Expertise und infolge logistischer Engpässe und zeitlicher Sofort-Notwendigkeiten auf Notfalleinheiten ohne kardiologische Präsenz wurden in diesem Zusammenhang Kurzausbildungen für die Sonographie für Notfallmediziner eingeführt. Diese sonographischen Modalitäten werden FEEL (= „focused echocardiography in emergency life support“), FATE (= „focussed assessed transthoracic echocardiography“), FAST (= „focussed assessment with sonography for trauma“) und RACE (= „rapid assessment by cardiac echo“) genannt [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17].

Eine Zwischenlösung dieser Szenarien kann durch einen permanenten kompetenten echokardiographischen Service bei Optimierung der jeweiligen Logistik im Notfall gegeben sein. Neben den technischen Gegebenheiten der Verfügbarkeit von modernen Ultraschallgeräten in ausreichender Anzahl und den personellen Anforderungen an Anzahl und Ausbildung der Kardiologen und Nicht-Kardiologen sollten zur schnellen Supervision die Echokardiographiegeräte zwischen den Abteilungen – speziell zwischen einer Kardiologie und der Notfallmedizin – in ein Netzwerk integriert sein, sodass eine schnelle Bilddatenkommunikation zwischen den Beteiligten möglich ist.

Jede Notfallechokardiographie und jede fokussierte Sonographie des Herzens muss dokumentiert, archiviert und befundet werden. Der schriftliche Befund sollte fokussiert und möglichst zeitnah zur Untersuchung erfolgen, damit die Resultate in den jeweiligen Kommunikationssystemen der Notfalleinheiten und Klini-

Tab. 2 Einteilung der verfügbaren Echokardiographiegeräte

Handheld-, Pocket-Size-Imaging-Device	Vorteil: vollständige Mobilität, Flexibilität am Patienten, sofortige Verfügbarkeit wenige Sekunden nach dem Einschalten Nachteil: Beschränkung auf 2D-Echokardiographie und Farbdoppler, geringe Bildschirmgröße, keine EKG-Dokumentation, Einschränkung der Dokumentation bzw. DICOM-Anbindung, keine Akzeptanz als echokardiographische Untersuchung
Portables Laptop-Echokardiographiegerät	Vorteil: komplette konventionelle 2D-Echokardiographie einschließlich Gewebedoppler und transösophageale Echokardiographie; kleines praktikables Gerät, möglicher Batteriebetrieb Nachteil: Einschränkungen bei der erweiterten Wandbewegungsanalyse und beim Postprocessing
High-End-Echokardiographiegerät	Vorteil: alle Modalitäten der Echokardiographie verfügbar – einschließlich transösophageale Echokardiographie, Stress-, Kontrast-, Gewebedoppler und optional 3D-Echokardiographie und Speckle Tracking mit modernen Postprocessing-Analysen Nachteil: relative Immobilität, längere Startzeiten

Tab. 3 Entscheidende Fragestellungen der Notfallechokardiographie

Indikationsstellung	Indikationen
Diagnostisch	Zur Differenzierung aller Schockzustände Bei Myokardinfarkt und Myokardischämie (regionale Wandbewegungsstörungen und Komplikationen) Zur Differenzierung der akuten Herzinsuffizienz (Einschränkung der globalen links- und rechtsventrikulären Funktion und deren Ursache) Bei akuten Herzklappenfehlern (akute Klappendysfunktionen, Endokarditis) Bei Lungenembolie Bei Perikardtamponade (häodynamische Relevanz eines Perikardergusses, Myokardperforationen) Bei Aortendissektion Bei Thoraxtrauma
Symptomorientiert	Bei akuter Dyspnoe Bei Thoraxschmerz Bei Fieber Bei Zyanose
Umfeld der Reanimation	Klärung des Volumenstatus Klärung der globalen links- und rechtsventrikulären Funktion Klärung einer elektromechanischen Entkopplung Bestätigung oder Ausschluss einer Perikardtamponade Klärung einer rechts- oder linksventrikulären Obstruktion

Tab. 4 Kompetenzlevel nach dem ESC CORE Curriculum. (Nach [62])

Level I	Erfahrung bei der Auswahl der geeigneten diagnostischen bildgebenden Modalität – speziell der Echokardiographie – und beim Interpretieren der Ergebnisse. Dieser Level beinhaltet nicht die Durchführung der Technik (insbesondere auch nicht bildgebender Methoden wie die Magnetresonanztomographie)
Level II	Praktische Erfahrung in der Echokardiographie, jedoch nicht als unabhängiger Untersucher (d. h. praktische Echokardiographie unter der Assistenz eines Trainers oder unter permanenter Supervision eines erfahrenen Untersuchers)
Level III	Vollständig eigenständiger und eigenverantwortlicher Umgang mit der Echokardiographie und die Fähigkeit, aus den Ergebnissen bzw. Bildsequenzen die korrekten Schlussfolgerungen zu ziehen (der Expertenlevel für einen Kardiologen)

ken zur Verfügung stehen und kommuniziert werden können, sodass auch andere Fachabteilungen in die diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen kurz nach der Notfallechokardiographie oder der fokussierten Sonographie des Herzens involviert werden können.

8. Voraussetzungen zur Durchführung der Notfallechokardiographie und der anschließenden Interpretation der Bilddaten

Die Durchführung der Notfallechokardiographie stellt eine Herausforderung an den Untersucher dar. Die Bildakquisition erfolgt in der Regel unter Zeitdruck und bei ungünstigen Licht-, Lagerungs- und Umgebungsbedingungen. Gerade in einem Szenario, in dem korrektes Diagnostizieren sehr wichtig für die Behandlung und das individuelle „Outcome“ des Patienten ist, sollten ausreichende Anforderungen an den Untersucher und die Gerätetechnik gestellt werden und optimale Dokumentationsstandards angestrebt werden. Für die Notfallechokardiographie sollte das Echokardiographiegerät den Anforderungen an die apparative Ausstattung nach der Ultraschallvereinbarung vom 18.12.2012 entsprechen [59, 60] und nach Möglichkeit noch über die technischen Voraussetzungen zur Kontrastechokardiographie, zur 3D-Echokardiographie und zur Deformationsanalyse verfügen [2, 3, 4, 9, 59, 60]. Die Untersucheranforderungen an unterschiedliche Kompetenzstufen diagnostischer Techniken sind auf europäischer Ebene z. B. im CORE Curriculum der European Society of Cardiology (ESC) definiert worden ([61, 62, 63], ■ Tab. 4).

Die absolvierte fachspezifische Weiterbildung und die nachgewiesene praktische Ausbildung im Bereich der Echokardiographie entsprechen in Deutschland den Voraussetzungen zur Erlangung der Fachkompetenz für den Kardiologen und sind analog zur qualifizierten Notfallechokardiographie für die Expertenstufe auf europäischer Ebene. Für Nicht-Kardiologen ist – auch nach den EACVI-Empfehlungen – der gleiche Kompetenzgrad wie für Kardiologen zu fordern. Dies beinhaltet, dass Nicht-Kardiologen eine zusätzliche theo-

retische und praktische Ausbildung sowie Trainingseinheiten benötigen, um als eigenständige Untersucher die Notfallechokardiographie durchzuführen [62].

Notfallechokardiographie durch nicht-ärztliches Personal wie sog. „Sonograph“ durchführen zu lassen entspricht nicht den internationalen Vorgaben, bei denen eine Notfallechokardiographie nur von einem Arzt durchgeführt werden kann, der eigenständig und eigenverantwortlich die Untersuchung durchführen, dokumentieren, interpretieren und befunden kann. Die Deutsche Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin bezeichnet daher die Ultraschalldiagnostik als eine ausschließlich ärztliche Tätigkeit, weil sie sofort zu weiteren akut relevanten diagnostischen und therapeutischen Eingriffen führen kann [64].

9. Forensische Aspekte der Notfallechokardiographie

Aufgrund der hohen Wahrscheinlichkeit, dass im Notfall diagnostische Fehler passieren können, müssen sich alle beteiligten Ärzte mit den potenziellen forensischen Konsequenzen befassen. Aus diesem Grund sollten alle Untersuchungen in Notfallszenarien mit den möglichst besten zur Verfügung stehenden Ultraschallgeräten durchgeführt werden. Alle Bilddaten müssen digital abrufbar gespeichert werden, da die Akutfälle ggf. kurzfristig erneut eingesehen werden müssen und da das Bilddokument des akuten Notfalls die getroffenen Entscheidungen belegen sollte. Die Aufbewahrungsfrist der Bilddaten beträgt 10 Jahre [65]. Die aus den Bilddaten gewonnenen Befunde und deren Interpretation sollen kurzfristig nach der Untersuchung in einem schriftlichen Dokument vermerkt und vom Untersucher unterschrieben werden.

Zusammenfassung

In der Notfallsituation ist durch die Sonographie – und speziell die Echokardiographie – ein erheblicher diagnostischer Gewinn möglich. In der Notfallechokardiographie sollten moderne Ultraschallgeräte bzw. Laptopgeräte bevorzugt eingesetzt werden. Sogenannte Pocket-Size-Devices entsprechen aufgrund der

Gerätelimitationen nicht dem notwendigen Standard einer Notfallechokardiographie. Mit diesen Geräten ist per se nur eine fokussierte Sonographie des Herzens möglich. Die Notfallzentrenbildung führt immer mehr Untersucher nichtkardiologischer Fachbereiche zur sonographischen Akutbeurteilung des kardialen Status. Untersuchungen, die jedoch nicht dem kardiologischen Standard entsprechen, bezeichnet man nicht als Notfallechokardiographie, sondern als fokussierte Ultraschalluntersuchung des Herzens. Damit sind diese Untersuchungen, die u. a. von Nicht-Kardiologen mit verkürzter methodischer Ausbildung durchgeführt werden, von der Notfallechokardiographie klar zu separieren, die eigenständig und eigenverantwortlich von einem Kardiologen oder einem Facharzt mit entsprechender kardiologischer Expertise durchgeführt wird. Die Echokardiographie ist eine hoch spezialisierte und differenzierte bildgebende Methode, deren diagnostische Möglichkeiten insbesondere auch in der Notfallechokardiographie nur dann ausgeschöpft werden können, wenn man diese Methode mit den notwendigen praktischen Fertigkeiten und der ausreichenden fachlichen Kompetenz und klinischen Expertise beherrscht. Die theoretische Ausbildung zur Notfallechokardiographie sollte nach Möglichkeit in die bestehenden Echokardiographiekurse integriert werden.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. A. Hagendorff

Abt. für Innere Medizin, Department für Kardiologie und Angiologie, Universitätsklinikum Leipzig AÖR
Liebigstr. 20, 04103 Leipzig
andreas.hagendorff@medizin.uni-leipzig.de

Appendix. Review der „Empfehlungen zur Notfall-Echokardiographie“ durch die Mitglieder des Nukleus der Arbeitsgruppe „Kardiovaskulärer Ultraschall“ der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie: Stephan Beckmann (Berlin), Ole Breithardt (Leipzig), Thomas Buck (Essen), Wolfgang Fehske (Köln), Frank Flachskampf (Upsalla/Schweden), Irmtraut Kruck (Ludwigsburg), Karl Graf LaRosee (Bonn), Jens-Uwe Voigt (Leuven/Belgien) und Frank Weidemann (Würzburg) sowie Review und Konsentierung für die S2 Leitlinie Lungenembolie durch Stavros Konstantinides (Mainz).

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. Den Interessenkonflikt der Autoren finden Sie online auf der DGK-Homepage unter <http://leitlinien.dgk.org/> bei der entsprechenden Publikation.

Dieser Beitrag beinhaltet keine Studien an Menschen oder Tieren.

Literatur

1. Neskovic AN, Hagendorff A, Lancellotti P et al (2013) Emergency echocardiography – the European Association of Cardiovascular Imaging recommendations. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 14:1–11
2. Douglas PS, Khandheria B, Stainback RF et al (2007) ACCF/AHA/ASEP/ASNC/SCAI/SCCT/SCMR 2007 appropriateness criteria for transthoracic and transesophageal echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 50:187–204
3. Nihoyannopoulos P, Fox K, Fraser A et al (2007) EAE laboratory standards and accreditation. *Eur J Echocardiogr* 8:80–87
4. Evangelista A, Flachskampf F, Lancellotti P et al (2008) European Association of Echocardiography recommendations for standardization of performance, digital storage and reporting of echocardiographic studies. *Eur J Echocardiogr* 9:438–448
5. Popescu BA, Andrade MJ, Badano LP et al (2009) European Association of Echocardiography recommendations for training, competence, and quality improvement in echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 10:893–905
6. Tayal V, Blaiwas M, Mandavia D et al (2009) Emergency ultrasound guidelines. *Ann Emerg Med* 53:550–570
7. Neskovic AN, Hagendorff A (2011) Echocardiography in the emergency room. In: Galiuto L, Badano L, Fox K et al (Hrsg) *The EAE textbook of echocardiography*, 1. Aufl. Oxford University Press, New York, S 431–436
8. Sicari R, Galderisi M, Voigt JU et al (2011) The use of pocket-size imaging devices: a position statement of the European Association of Echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 12:85–87
9. Hagendorff A (2012) Echocardiography in emergency diagnostics. *Herz* 37:675–686
10. Hagendorff A (2008) Transthoracic echocardiography in adult patients – a proposal for documenting a standardized investigation. *Eur J Ultrasound* 29:2–31
11. Jensen MB, Sloth E, Larsen KM et al (2004) Transthoracic echocardiography for cardiopulmonary monitoring in intensive care. *Eur J Anaesthesiol* 21:700–707
12. Breikreutz R, Walcher F, Seeger S (2007) Focused echocardiographic evaluation in resuscitation management: concept of an advanced life support – conformed algorithm. *Crit Care Med* 35(Suppl): S150–S161
13. Price S, Via G, Sloth E et al (2008) Echocardiography practice, training and accreditation in the intensive care: document for the World Interactive Network Focused on Critical Ultrasound (WINFOCUS). *Cardiovasc Ultrasound* 6:49
14. Breikreutz R, Price S, Steiger HV et al (2010) Focused echocardiographic evaluation in life support and peri-resuscitation of emergency patients: a prospective trial. *Resuscitation* 81:1527–1533

15. Labovitz AJ, Noble VE, Bierig M et al (2010) Focused cardiac ultrasound in the emergent setting: a consensus statement of the American Society of Echocardiography and American College of Emergency Physicians. *J Am Soc Echocardiogr* 23:1225–1230
16. Price S, Uddin S, Quinn T (2010) Echocardiography in cardiac arrest. *Curr Opin Crit Care* 16:211–215
17. Patel NY, Riherd JM (2011) Focused assessment with sonography for trauma: methods, accuracy, and indications. *Surg Clin North Am* 91:195–207
18. Buck T, Breithardt OA, Faber L et al (2009) Manual zur Indikation und Durchführung der Echokardiographie. *Clin Res Cardiol Suppl* 4:3–51
19. Choy AMJ, Darbar D, Lang CC et al (1994) Detection of left ventricular dysfunction after acute myocardial infarction: comparison of clinical, echocardiographic, and neurohormonal methods. *Br Heart J* 72:16–22
20. Slater J, Brown RJ, Antonelli TA et al (2000) Cardiogenic shock due to cardiac free-wall rupture or tamponade after acute myocardial infarction: a report from the SHOCK Trial Registry. *J Am Coll Cardiol* 36:1117–1122
21. Flachskampf FA, Schmid M, Rost C et al (2011) Cardiac imaging after myocardial infarction. *Eur Heart J* 32:272–283
22. Steg G, James ST, Atar D et al (2012) ESC Guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation. *Eur Heart J* 33:2569–2619
23. Thygesen K, Alpert JS, Jaffe AS et al (2012) Third universal definition of myocardial infarction. *Eur Heart J* 33:2551–2567
24. Steiner P, Lund GK, Debatin JF et al (1996) Acute pulmonary embolism: value of transthoracic and transesophageal echocardiography in comparison with helical CT. *AJR Am J Roentgenol* 167:931–936
25. Miniati M, Monti S, Pratali L et al (2001) Value of transthoracic echocardiography in the diagnosis of pulmonary embolism: results of a prospective study in unselected patients. *Am J Med* 110:528–535
26. Casazza F, Bongarzone A, Capozzi A et al (2005) Regional right ventricular dysfunction in acute pulmonary embolism and right ventricular infarction. *Eur J Echocardiogr* 6:11–14
27. Torbicki A, Perrier A, Konstantinides S et al (2008) Guidelines on the diagnosis and management of acute pulmonary embolism. *Eur Heart J* 29:2276–2315
28. Galie N, Hoesper MM, Humbert M et al (2009) Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension. *Eur Heart J* 30:2493–2537
29. Hoesper MM, Ghofrani HA, Gorenflo M et al (2010) Diagnostik und Therapie der pulmonalen Hypertonie. *Kardiologie* 4:189–207
30. Milan A, Magnino C, Veglio F (2010) State of the art review: echocardiographic indexes for the non-invasive evaluation of pulmonary hemodynamics. *J Am Soc Echocardiogr* 23:225–239
31. Rudski LG, Lai WW, Afilalo J et al (2010) Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 23:685–713
32. Horowitz M, Schultz C, Stinson E (1974) Sensitivity and specificity of echocardiographic diagnosis of pericardial effusion. *Circulation* 50:239–247
33. Pepi M, Muratori M (2006) Echocardiography in the diagnosis and management of pericardial disease. *J Cardiovasc Med* 7:533–544
34. Baumgartner H, Hung J, Bermejo J et al (2009) Echocardiographic assessment of valve stenosis: EAE/ASE recommendations for clinical practice. *Eur J Echocardiogr* 10:1–25
35. Lancellotti P, Tribouilloy C, Hagendorff A et al (2010) European Association of Echocardiography recommendations for the assessment of valvular regurgitation. Part 1: aortic and pulmonary regurgitation (native valve disease). *Eur J Echocardiogr* 11:223–244
36. Lancellotti P, Moura L, Pierard LA et al (2010) European Association of Echocardiography recommendations for the assessment of valvular regurgitation. Part 2: mitral and tricuspid regurgitation (native valve disease). *Eur J Echocardiogr* 11:307–332
37. Vahanian A, Alfieri O, Andreotti F et al (2012) Guidelines on the management of valvular heart disease. *Eur Heart J* 33:2451–2496
38. Evangelista A, Gonzalez-Alujad MT (2004) Echocardiography in infective endocarditis. *Heart* 90:614–617
39. Habib G, Hoen B, Tornos P et al (2009) Guidelines on the prevention, diagnosis, and treatment of infective endocarditis. *Eur Heart J* 30:2369–2413
40. Evangelista A, Garcia del Castillo H, Gonzales-Alujas T et al (1996) Diagnosis of ascending aortic dissection by transesophageal echocardiography: utility of M-mode in recognizing artifacts. *J Am Coll Cardiol* 27:102–107
41. Keren A, Kim CB, Hu BS et al (1996) Accuracy of biplane and multiplane transesophageal echocardiography in diagnosis of typical acute aortic dissection and intramural hematoma. *J Am Coll Cardiol* 28:627–636
42. Shiga T, Wajima Z, Apfel CC et al (2006) Diagnostic accuracy of transesophageal echocardiography, helical computed tomography, and magnetic resonance imaging for suspected thoracic aortic dissection. *Arch Intern Med* 166:1350–1356
43. Evangelista A, Avegliano G, Aguilar R et al (2010) Impact of contrast-enhanced echocardiography on the diagnostic algorithm of acute aortic dissection. *Eur Heart J* 31:472–479
44. Griffe MJ, Merkel M, Wei KS (2010) The role of echocardiography in hemodynamic assessment of septic shock. *Crit Care Clin* 26:365–382
45. Gilman G, Nelson TA, Hansen WH et al (2007) Diastolic function: a sonographer's approach to the essential echocardiographic measurements of left ventricular diastolic function. *J Am Soc Echocardiogr* 20:199–209
46. Kirkpatrick JN, Vannan MA, Narula J et al (2007) Echocardiography in heart failure. *J Am Coll Cardiol* 50:381–396
47. Paulus WJ, Tschöpe C, Sanderson JE et al (2007) How to diagnose diastolic heart failure: a consensus statement on the diagnosis of heart failure with normal left ventricular ejection fraction by the Heart Failure and Echocardiography Associations of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 28:2539–2550
48. Lang R, Bierig M, Devereux R et al (2006) Recommendations for chamber quantification. *Eur J Echocardiogr* 7:79–108
49. Nagueh SF, Appleton CP, Gillebert TC et al (2009) Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 10:165–193
50. Mathew J, Glas K, Troianos C et al (2006) American Society of Echocardiography/Society of Cardiovascular Anesthesiologists recommendations and guidelines for continuous quality improvement in perioperative echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 19:1303–1313
51. Feneck R, Kneeshaw J, Fox K et al (2010) Recommendations for reporting perioperative transoesophageal echo studies. *Eur J Echocardiogr* 11:387–393
52. Flachskampf FA, Badano L, Daniel WG et al (2010) Recommendations for transoesophageal echocardiography: update 2010. *Eur J Echocardiogr* 11:557–576
53. Pepi M, Evangelista A, Nihoyannopoulos P, Flachskampf FA et al (2010) EAE recommendations for echocardiography use in the diagnosis and management of cardiac sources of embolism. *Eur J Echocardiogr* 11:461–476
54. Reilly JP, Tunick PA, Timmermans RJ et al (2000) Contrast echocardiography clarifies uninterpretable wall motion in intensive care unit patients. *J Am Coll Cardiol* 35:485–490
55. Soliman OIJ, Geleijnse ML, Meijboom FJ et al (2007) The use of contrast echocardiography for the detection of cardiac shunts. *Eur J Echocardiogr* 8:502–512
56. Senior R, Becher H, Monaghan M et al (2009) Contrast echocardiography: evidence-based recommendations by European Association of Echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 10:194–212
57. Evangelista A, Flachskampf FA, Erbel R et al (2010) Echocardiography in aortic diseases: EAE recommendations for clinical practice. *Eur J Echocardiogr* 11:645–658
58. Wei K (2010) Utility contrast echocardiography in the emergency department. *JACC Cardiovasc Imaging* 2:197–203
59. Jorch G, Kluge S, König F et al (2010) Empfehlungen zur Struktur und Ausstattung von Intensivstationen. http://www.divi-org.de/fileadmin/pdfs/struktur/Langversion_2
60. Vereinbarung von Qualitätssicherungsmaßnahmen nach § 135 Abs. 2 SGB V zur Ultraschalldiagnostik (Ultraschall-Vereinbarung) vom 31.10.2008 in der Fassung vom 18.12.2012. <http://daris.kbv.de/daris/doccontent.d11?LibraryName=EXTDARIS^DMSSLAWE&SystemType=2&LogonId=cc5d6072edd8b76891a2a4c2a6e47a20&DocId=003757904&Page=1>
61. Galiuto L, Badano L, Fox K et al (Hrsg) (2011) The EAE Textbook of Echocardiography, 1. Aufl. Oxford University Press, New York
62. The European Society of Cardiology Core Curriculum for the general cardiologist. <http://www.es-cardio.org/education/coresyllabus/Pages/core-curriculum.aspx>
63. The European Association of Echocardiography Certification in Echocardiography. <http://www.es-cardio.org/communities/EAE/accreditation/Pages/welcome.aspx> (Zugegriffen: 17. Juni 2012)
64. Stellungnahme der DEGUM: Medizinisches Assistenzpersonal in der Ultraschalldiagnostik. [http://www.degum.de/Im_Detail.133.0.html?&no_cache=1&tx_ttnews\[tt_news\]=313&cHash=18147141c6b00677236e285f15352524](http://www.degum.de/Im_Detail.133.0.html?&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=313&cHash=18147141c6b00677236e285f15352524)
65. (Muster-)Berufsordnung für die in Deutschland tätigen Ärztinnen und Ärzte – MBO-Ä 1997 – in der Fassung der Beschlüsse des 114. Deutschen Ärztetages 2011 in Kiel. http://www.bundesaeztekammer.de/downloads/MBO_08_201111.pdf