

Kardiologie 2024 · 18:365–388

<https://doi.org/10.1007/s12181-024-00702-y>

Angenommen: 16. Juli 2024

Online publiziert: 30. August 2024

© Deutsche Gesellschaft für Kardiologie - Herz- und Kreislaufforschung e.V. Published by Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature - all rights reserved 2024



Manual zur Notfallechokardiographie aus Sicht des Kardiologen, Akut- und Notfallmediziners – Update 2024

Andreas Hagendorff¹ · Andreas Helfen² · Jana Boer^{3,9} · Tobias Graf⁴ · Christian Jung⁵ · Fabian Knebel⁶ · Elena Romero-Dorta⁷ · Roland R. Brandt⁸¹ Klinik und Poliklinik für Kardiologie, Universitätsklinikum Leipzig AöR, Leipzig, Deutschland; ² Abteilung für Kardiologie, Katholische St. Paulus Gesellschaft, St.-Marien-Hospital Lünen, Lünen, Deutschland;³ Kardiologische Praxis Dr. Jana Boer, Erfurt, Deutschland; ⁴ Herzzentrum Universität Lübeck,Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Lübeck, Deutschland; ⁵ Klinik für Kardiologie, Pulmologie und Angiologie des Universitätsklinikums Düsseldorf, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Düsseldorf,Deutschland; ⁶ Klinik Für Innere Medizin II, Kardiologie, Sana Klinikum Lichtenberg, Berlin, Deutschland;⁷ Abteilung für Kardiologie, Angiologie und Intensivmedizin, Universität Berlin, Deutsches HerzzentrumCharité Berlin, Campus Mitte, Berlin, Deutschland; ⁸ Abteilung für Kardiologie, Kerckhoff Klinik GmbH,Bad Nauheim, Deutschland; ⁹ Kommission für Klinische Kardiovaskuläre Medizin, Deutsche Gesellschaft

für Kardiologie, Düsseldorf, Deutschland

Zusammenfassung

Im Notfall ist eine schnelle echokardiographische Diagnostik zur Detektion oder zum Ausschluss kardialer Erkrankungen und der damit verbundenen Möglichkeit zur schnellen Therapieeinleitung von zentraler Bedeutung. Im kardiovaskulären Notfall sind nicht nur echokardiographische Befunde, sondern auch sonographische Befunde von Lunge sowie großen Gefäßen zu erheben. In Ergänzung zu den bestehenden Empfehlungen zur Notfallechokardiographie von 2013 ist dieses Update weniger als eine Neuauflage der bisherigen Inhalte als eine Fokussierung auf aktuelle Aspekte. Die echokardiographische Darstellung der wesentlichen kardialen Strukturen und ihrer Funktion bildet weiterhin die Grundlage der Notfallechokardiographie. Diese kardialen Strukturen sollten in repräsentativen Bildsequenzen dokumentiert werden, die aufgrund der Ausnahmesituation jedoch nicht standardisiert erfolgen müssen. Einsatzbereiche der Echokardiographie beim Perikarderguss einschließlich Perikardpunktion, bei Contusio cordis sowie bei Herzersatzsystemen werden wegen ihrer zunehmenden Bedeutung eingehend diskutiert. Ein besonderer Fokus wurde auf Hygienemaßnahmen und den Einsatz moderner echokardiographischer Methoden in der Notfallsituation gelegt. Weiterhin bereichern portable Ultraschallgeräte grundsätzlich die echokardiographische Notfalldiagnostik, auch wenn diese im Hinblick auf Dokumentations- und Speichermodalitäten limitiert sind. Letztlich muss auch in der Notfallechokardiographie eine Befundung erfolgen, die neben der Beschreibung der kardialen Gegebenheiten auch Informationen zu Untersucher und Geräteausstattung, Zeit und Ort sowie Basisdaten zum Patienten beinhalten sollte. Um generell die Notfallechokardiographie zu verbessern, muss Zeit für eine fundierte Ausbildung gewährt werden.

Schlüsselwörter

Akute und chronische Herzinsuffizienz · Kardiomyopathie · Herzklappenerkrankungen · Perikardkrankungen · Lungenembolie

Der Verlag veröffentlicht die Beiträge in der von den Autorinnen und Autoren gewählten Genderform. Bei der Verwendung des generischen Maskulinums als geschlechtsneutrale Form sind alle Geschlechter impliziert.



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

Einleitung

Die Echokardiographie ist primär wegen ihrer ubiquitären Verfügbarkeit durch mobile Ultraschallgeräte als bettseitige Diagnostik bei hämodynamisch instabilen und/oder beatmeten Patienten und damit als wesentlicher diagnostischer Pfeiler der Notfall- und Intensivmedizin etabliert. Sie ermöglicht damit die schnelle Einschätzung kardiovaskulärer Akutsituationen durch Klärung der kardialen Morphologie und Funktion sowie der Detektion von Pathologien der großen thorakalen Gefäße.

Das Ziel dieser Neuauflage des Dokumentes von 2013 [1] ist die Aktualisierung einer nationalen Empfehlung für die effiziente zielgerichtete Echokardiographie in Notfalleinheiten.

Die Durchführung der Notfallechokardiographie durch kardiologische Fachärzte beinhaltet Anforderungen an die Ultraschallgerätetechnik, an Fortbildung und Training der Durchführenden sowie deren fachspezifische Expertise. Die Sonographie des Herzens durch Nichtkardiologen findet zunehmend Anwendung in Notfallszenarien. Die Anforderungen an die Untersucherqualifikation – speziell in Bezug auf die technischen Fertigkeiten, die Expertise und die notwendigen Trainingseinheiten – werden sowohl in internationalen Empfehlungen zur Notfallechokardiographie der europäischen Fachgesellschaft EACVI (European Association of Cardiovascular Imaging) [2, 3] als auch in nationalen Standards zur Notfallechokardiographie beschrieben [1].

Die Ultraschallgeräte in der Notfallmedizin sollten über alle verfügbaren Ultraschalltechnologien der Echokardiographie verfügen. Spezielle Settings für die Kontrastechokardiographie sowie moderne Anwendungen – insbesondere die 3-D-Echokardiographie – sind aufgrund der verbesserten diagnostischen Möglichkeiten wünschenswert.

Tragbare Kleingeräte erfüllen zum Teil diese Minimalanforderungen nicht und sollten daher im Falle der Verfügbarkeit sog. High-End-Geräten nicht vorgezogen werden [4]. „Pocket-Size-Imaging-Devices“ sind im Notfall zwar schnell einsetzbar, eignen sich jedoch aufgrund der technischen Limitationen nur zum

sog. „Echo-Scannen“ und nicht für eine umfassende Notfallechokardiographie. Zudem führen die Handheld-Devices häufig zu Problemen der Datenspeicherung [2], da zumindest in Krankenhäusern und Praxen nach der Muster-Berufsordnung für die in Deutschland tätigen Ärzte die Sicherung von DICOM-Bilddaten (Digital Imaging and Communication in Medicine) von mindestens 10 Jahren nach Behandlungsende auch aus portablen Devices und deren Zuordnung zu einer elektronischen Patientenakte vorgeschrieben ist. Wie auch bei anderen sonographischen Verfahren fehlt bei portablen Geräten jedoch oft durch die Einbindung in ein geschlossenes Netzwerk [5].

Die Anforderungen an die Bilddokumentation nach Standards unterliegen einer anhaltenden Diskussion, die in den verschiedenen Notfallprotokollen zum Ausdruck kommen. Im Wesentlichen entsprechen sie einer standardisierten transthorakalen Echokardiographie (TTE) nach internationalem und nationalem Dokumentationsstandard [6], die aufgrund der schnellen Durchführung in Einzelaspekten verkürzt, aber auch durch einige Sequenzen zur Thorax- und Gefäßsonographie ergänzt wird [7–10]. Daher werden im Gegensatz zu einer ausführlichen standardisierten Echokardiographie in einem Funktionslabor im Notfall kürzere und mehr fokussierte Untersuchungs- und Dokumentationsabläufe bevorzugt, die zu einer sicheren Diagnose bzw. einem sicheren Diagnoseausschluss führen – mit der Folge einer schnellen und sofortigen Konsequenz zur zielgerechten Therapieeinleitung. Die Herausforderungen der Notfallechokardiographie betreffen somit ein spezielles und strukturiertes Training, welches in Verbindung mit pathophysiologischen Kenntnissen und medizinischem Wissen die Grundlage für die richtige Diagnosestellung und die richtigen Therapieentscheidungen darstellt. Es ist davon auszugehen, dass gerade im Notfall technische Fortschritte – auch auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz – zu Verbesserungen und zur Vereinfachung der Arbeitsabläufe führen können.

Rationale für ein Update Notfallechokardiographie

Trotz der zahlreichen Vorgaben zur Notfallechokardiographie und Notfallechokardiographie in der Literatur sowie auch Möglichkeiten der nationalen und internationalen Zertifizierungen [11–13] (u.a. über die DGK – Deutsche Gesellschaft für Kardiologie, DEGUM – Deutsche Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin, EACVI) bestehen viele offene Fragen bei Ärzten der Notfall- und Intensivmedizin zur praktischen Umsetzung der Echokardiographie im Notfall und des Erlangens einer ausreichenden Qualifikation. Viele junge Ärzte stellen eben trotz umfangreicher – und damit eben oft verwirrender – Literatur häufig die Frage: Worauf muss man denn besonders achten, wenn man im Notfall das Herz beurteilen muss? Eine Rationale für das Update bleibt somit die Strukturierung einer schnellen und fokussierten Echokardiographie in der Weise, dass alle wichtigen kardialen Strukturen – speziell bei unbekannter Grunderkrankung – in der Dokumentation beinhaltet sind. Wie in den Empfehlungen von 2013 [1] gehören dazu – speziell in der unvorbereiteten Untersuchungssituation ohne zielführende Vorinformationen – mindestens

1. das vordere Mitralsegel in einer langen Achse (AML – „anterior mitral leaflet“),
2. das interatriale Septum (IAS – „interatrial septum“),
3. die Aortenklappe (AV – „aortic valve“) und die fibröse aorticomitrale Übergangszone in 2 Ebenen,
4. die Aortenwurzel und die proximale tubuläre Aorta ascendens (TAA – „tubular ascending aorta“),
5. der Aortenbogen,
6. der fokussierte rechtsventrikuläre Einflusstrakt,
7. die Einmündung der unteren Hohlvene ins rechte Atrium und
8. der Perikardraum – speziell der Bereich vor dem rechten Atrium.

Zusätzlich sollten repräsentativ alle linksventrikulären (LV) Segmente zur globalen und regionalen Beurteilung der LV-Funktion, repräsentative Doppler-echokardiographische Sequenzen bei Herzklappenerkrankungen und repräsentative extrakardiale Dokumentationen von Lunge, Pleu-

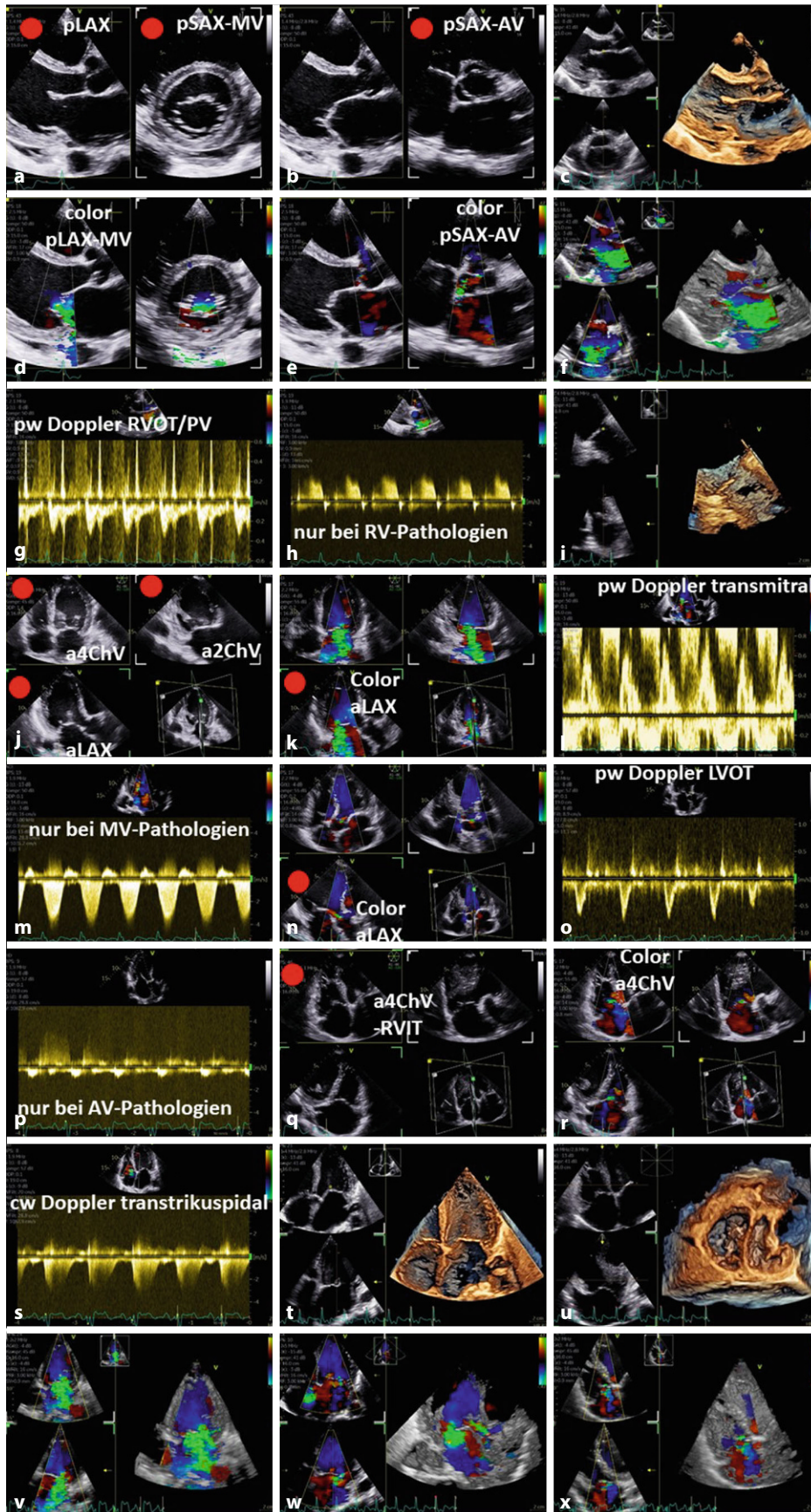


Abb. 1 ◀ Struktur des Untersuchungsablaufes zur Dokumentation der parasternalen und apikalen Schnittebenen einschließlich der optionalen (nicht notwendigen) multiplanen und multidimensionalen Echokardiographie. Die mit roten Punkten markierten Dokumentationen sind als notwendige Dokumentationssequenzen zu verstehen. Die in den Biplanen und triplanen Bildern markierten Ebenen können jeweils auch monoplan dokumentiert werden. a Biplane parasternale Darstellung MV („mitral valve“); b biplane parasternale Darstellung AV („aortic valve“); c 3-D-Datensatz parasternal; d farbkodierte biplane parasternale Darstellung MV; e farbkodierte biplane parasternale Darstellung AV; f farbcodierter 3-D-Datensatz parasternal; g pulsed-wave (pw)-Doppler Spektrum RVOT („right ventricular outflow tract“); h continuous wave (cw)-Doppler Spektrum RVOT; i kurze Achse RVOT (Azimuth-Ebene einer 3-D-Darstellung Pulmonalklappe); j triplane apikale Darstellung des linken Ventrikels (LV); k farbkodierte triplane apikale Darstellung des LV; l pw-Doppler Spektrum transmitral; m cw-Doppler Spektrum transmitral; n farbkodierte triplane apikale Darstellung der AV; o pw-Doppler Spektrum LVOT („left ventricular outflow tract“); p cw-Doppler Spektrum durch die AV; q triplane apikale Darstellung des rechten Ventrikels (RV); r farbkodierte triplane apikale Darstellung des RV; s cw-Doppler Spektrum transtrikuspidal; t 3-D-Datensatz des LV; u 3-D-Datensatz des RV; v farbkodierter 3-D-Datensatz der MV; w farbkodierter 3-D-Datensatz der AV; x farbkodierter 3-D-Datensatz der Trikuspidalklappe (TV)

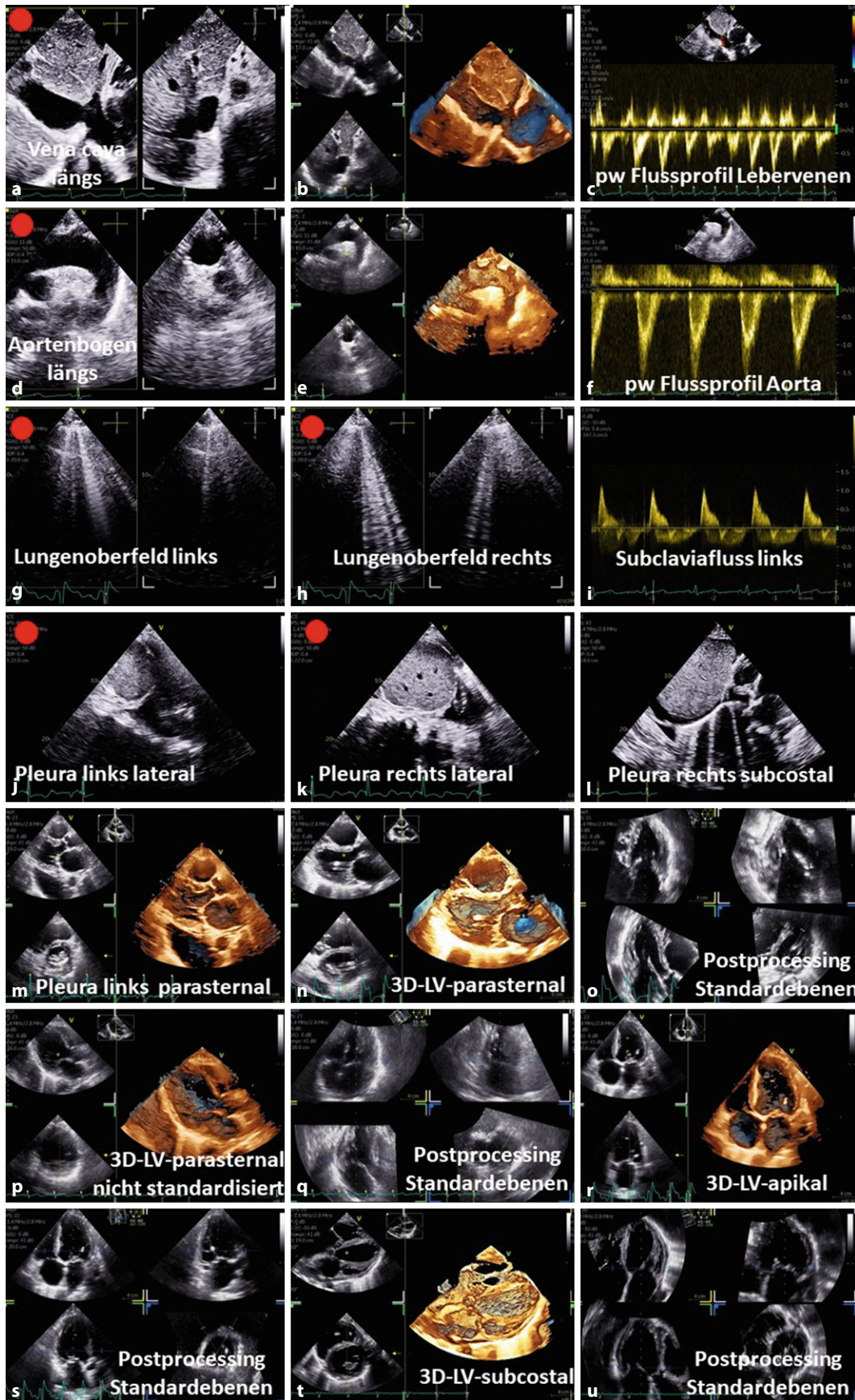


Abb. 2 ◀ Struktur des Untersuchungsablaufes zur Dokumentation der parasternalen und apikalen Schnittebenen einschließlich der optionalen (nicht notwendigen) multiplanen und multidimensionalen Echokardiographie. Die mit roten Punkten markierten Dokumentationen sind als notwendige Dokumentationssequenzen zu verstehen. Die in den biplanen und triplanen Bildern markierten Ebenen können jeweils auch monoplan dokumentiert werden. **a** Biplane subkostale Darstellung der V. cava inferior; **b** subkostale 3-D-Darstellung der V. cava inferior; **c** pulsed-wave (pw)-Doppler Spektrum der Lebervenen; **d** biplane suprasternale Darstellung des Aortenbogens; **e** suprasternale 3-D-Darstellung des Aortenbogens; **f** pw-Doppler Spektrum der Aorta descendens; **g** Lungensuprasternale Darstellung des Aortenbogens; **h** Lungensuprasternale Darstellung des Aortenbogens; **i** pw-Doppler Spektrum der A. subclavia links; **j** Pleuraultraschall links lateral; **k** Pleuraultraschall rechts lateral; **l** Pleuraultraschall rechts Fernfeld; **m** Pleuraultraschall links Fernfeld im 3-D-Datensatz; **n** 3-D-Datensatz parasternal des linken Ventrikels (LV); **o** triplane Rekonstruktion der Standardebenen aus dem parasternalen 3-D-Datensatz; **p** 3-D-Datensatz parasternal des LV aus atypischer Schallebene; **q** triplane Rekonstruktion der Standardebenen aus dem atypischen parasternalen 3-D-Datensatz; **r** 3-D-Datensatz apikal des LV; **s** triplane Rekonstruktion der Standardebenen aus dem apikalen 3-D-Datensatz; **t** 3-D-Datensatz subkostal des LV; **u** triplane Rekonstruktion der Standardebenen aus dem subkostalen 3-D-Datensatz

raum und unterer Hohlvene bei Herzinsuffizienzsymptomen dargestellt werden.

Nach Möglichkeit sollte auch im Notfall bei einer möglichst standardisierten Dokumentation nach nationalen und internationalen Empfehlungen eine 1-Kanal-EKG-Ableitung erfolgen [2, 6], da eine Zuordnung zum Herzzyklus unter anderem beim Deformations-Imaging zur Auswertung standardisierter Schnitt Ebenen erforderlich ist, bei 3-D-Akquisitionen zur Multi-beat-Akquisition notwendig ist und bei Arrhythmien kardiale Bewegungsabläufe und Turbulenzen des Blutflusses zeitlich zugeordnet werden können.

Neben der TTE ist die transösophageale Echokardiographie (TEE) in der Notfallechokardiographie nahezu ubiquitär etabliert [14]. Die TEE wird nicht nur zur Klärung kardiovaskulärer Diagnosen in lebensbedrohlichen Zuständen bei fehlender transthorakaler Schallbarkeit sowie unter Reanimationsbedingungen im Umfeld Notfall eingesetzt, sondern auch im Rahmen der Detektion endokarditisch bedingter Läsionen und Raumforderungen sowie zur Klärung einer Aortendissektion [15]. Eine weitere etablierte Technik ist die Kontrastechokardiographie, die in der Notfall- und Intensivmedizin zur Thromben- und Tumordiagnostik sowie bei der Klärung von Aortendissektionen und Shunts eingesetzt wird [16, 17].

Die multiplane und multidimensionale Echokardiographie eignet sich im Notfall besonders zur Beschleunigung der Dokumentationsabläufe durch Akquisition von biplanen und triplanen Sequenzen (s. **Abb. 1**). Dies hat zudem eine erhebliche Verbesserung der standardisierten Bildakquisition zur Folge als auch die bessere Beurteilung von unklaren Strukturen in der jeweils perpendikulären Ebene, sodass wahre Strukturen von Schnittbildartefakten unterschieden werden können [18, 19]. Gerade bei eingeschränkten Schallbedingungen in den Standardschallfenstern, was im Notfall nahezu die Regel ist, kann eine multidimensionale Darstellung der kardialen Strukturen mit der Möglichkeit der schnellen standardisierten Schnittbildanalyse in der Nachbearbeitung am Ultraschallgerät vor Ort oft die Lösung zur qualitativen und auch quantitativen Analyse des Herzens sein. So können z. B. bei nur subkostalem Schallfenster die

standardisierten apikalen Ebenen in nachträglichen Schnittbildern schnell erstellt werden, um sicher Wandbewegungsstörungen zu detektieren (s. **Abb. 2**).

Ähnliche Vorteile bietet auch das Deformations-Imaging, um auch im Notfall pathologische Befunde der Herzmuskulatur schnell und objektiv zu detektieren [20].

Im Folgenden werden die wichtigsten Bildsequenzen anhand von Abbildungen dargestellt, wobei speziell die multiplane (biplan, triplan) Dokumentation zu einer signifikanten Zeiteinsparung bei der Bildakquisition führen kann. Allerdings müssen dann im Notfall die Voraussetzungen zur direkten schnellen Analyse der 3-D-Daten bestehen, was sowohl die Geräteausstattung als auch die Expertise des Untersuchers betrifft.

Die **Abb. 3** listet die notwendigen echokardiographischen Sequenzen zur Beurteilung der möglichen kardiovaskulären Erkrankungen einschließlich der Begründung für deren Dokumentation im Notfall auf. Die **Abb. 1 und 2** zeigen die jeweilige repräsentative Dokumentation.

Der „ABCD-Ansatz“ in der Notfallechokardiographie ist von zentraler Bedeutung [21]. „Awareness“ (A) bezieht sich auf die Aufmerksamkeit und Sorgfaltspflicht im Notfall. „Be suspicious“ (B) soll an die Kritikfähigkeit des Untersuchers erinnern, sodass man jede mögliche Ursache eines Befundes hinterfragt und neben der ersten Erklärung auch relevante Differenzialdiagnosen berücksichtigt. „Comprehensiveness“ (C) soll an das Ziel der umfassenden Dokumentation erinnern. „Double R = record and review“ belegt die Notwendigkeit der Dokumentationspflicht und die gewissenhafte Kontrolle und Supervision der erhobenen Befunde aus echokardiographischen Bilddaten. Die schnelle nachträgliche Überprüfung und Auswertung von Bilddokumentationen durch den Supervisor ist speziell in einem Notfallteam eine Voraussetzung für ein gutes Patientenmanagement.

Die wesentliche zusätzliche Rationale dieses Updates ist jedoch, spezielle Aspekte im Zusammenhang mit der Notfallechokardiographie zu erörtern. Dies betrifft den Einsatz moderner Methoden der Echokardiographie im Notfall und spezielle Einsatz-

bereiche der Echokardiographie der Intensiv- und Notfallmedizin.

Hygienemaßnahmen in der Notfallechokardiographie

Die Abläufe in der Notfall- und Intensivmedizin stellen im Hinblick auf den Infektionsschutz für Patienten und Mitarbeiter eine große Herausforderung dar. Da primär über den Handkontakt des Personals am häufigsten Krankheitserreger übertragen werden, sollte eine hygienische Händedesinfektion vor und nach direktem Kontakt mit dem Patienten und/oder der direkten Patientenumgebung erfolgen. Hierzu zählen die Liege oder das Bett sowie Monitore und Medizingeräte. Ringe und Uhren sollten von in der Notfall- und Intensivmedizin tätigem Personal nicht getragen werden. Das Tragen von medizinischen Einmalhandschuhen dient dem Schutz vor Kontamination und zur indirekten Unterbrechung von Infektionsketten. Da bei Patienten in der Notfallechokardiographie in der Regel nicht bekannt ist, ob eine Besiedlung mit Methicillin-resistentem *Staphylococcus aureus* (MRSA) oder anderen multiresistenten Erregern (MRE) vorliegt, empfiehlt sich grundsätzlich das Tragen von medizinischen Einmalhandschuhen.

Die Reinigung und Desinfektion von Sonden und Ultraschallgeräten wird entsprechend der Spaulding-Klassifizierung [22] in 3 Kategorien im Hinblick auf ihr Potenzial zur Übertragung von Pathogenen eingeteilt: Falls Ultraschallsonden in Kontakt mit sauberer, intakter Haut kommen, ist eine Low-level-Desinfektion (LLD) ausreichend, welche die meisten Bakterien, einige Viren und Pilze abtötet, aber nicht notwendigerweise wirksam ist z. B. bei Mykobakterien und Sporenbildnern. Ist die Haut kontaminiert, z. B. bei einer Besiedlung mit MRSA oder MRE, sollte die Sonde mit einer Einmalhülle geschützt werden. Grundsätzlich sollen TTE-Sonden nach jeder Untersuchung mit einem weichen Tuch gereinigt werden, um alle Reste des Kontaktgels zu entfernen.

Eine LLD des Ultraschallkopfes, des Sondenkabels, des EKG-Kabels, der Handgriffe und des Tastaturboards des Ultraschallgerätes ist nach jeder Untersuchung vorzunehmen. Bei Kontamination der Sonde oder des Gerätes mit Blut oder Körper-

Bildsequenz (Mindestanforderungen sind mit einem roten Punkt markiert)	Vereinfachung der Dokumentation durch multidiplane/multidimensionale Echokardiographie	Optionale 3D-Dokumentation - allerdings nur bei guter 3D-Akquise	Begründung für die Notwendigkeit der Sequenz	Sequenz	Kombination	Beurteilung	Beurteilung
2D-parasternal lange Achse MV/AV	Kombination biplan möglich	Beurteilung aller Strukturen in einem Datensatz möglich	Beurteilung MV – speziell AML Zieldokumentation für das vordere Mitralsegel	2D-apikaler RVIT aus der langen Achse LV	Kombination triplan möglich	Beurteilung aller RV-Segmente sowie von TV und PV auch von nicht-standardisierten Schallfenstern möglich – RV-Volumetrie zur Bestimmung RVS _{tot}	Beurteilung anteriore RV-Wand
2D-parasternal kurze Achse MV				2D-apikaler RVIT und RVOT aus 2-Kammer-Blick LV			Beurteilung inferiore RV-Wand
2D-parasternal lange Achse MV/AV	Kombination biplan möglich	Beurteilung aller Strukturen in einem bzw. zwei auf die Klappen gezielten Datensätzen möglich – Beurteilung MS/MR und AS/AR	Beurteilung AV/AS – Zieldokumentation für die Aortenklappe, Aortenwurzel und die fibröse aortomitrale Übergangszone	2D-fokussierter apikaler RVIT	Kombination triplan möglich	Qualitative Beurteilung TS/TR wie auch in der Schnittbildanalyse des Color 2D-fokussierten apikalen RVIT	Beurteilung freie RV-Wand und TAPSE – Zieldokumentation für den rechten Ventrikel bei Rechts Herzbelastung
2D-parasternal kurze Achse AV				Color 2D-apikaler RVIT aus der langen Achse LV			Beurteilung TS/TR
Color 2D-parasternal lange Achse MV	Kombination biplan möglich	Beurteilung aller Strukturen in einem bzw. zwei auf die Klappen gezielten Datensätzen möglich – Beurteilung MS/MR und AS/AR	Qualitative Beurteilung MR	Color 2D-apikaler RVIT und RVOT aus 2-Kammer-Blick LV	Kombination triplan möglich	Qualitative Beurteilung sPAP/sRVP	Beurteilung Volumenstatus – Zieldokumentation für die untere Hohlvene und das rechte Atrium
Color 2D-parasternal kurze Achse MV				Color 2D-fokussierter apikaler RVIT			Beurteilung sPAP/sRVP
Color 2D-parasternal lange Achse AV	Kombination biplan möglich	Beurteilung der Dimensionen von RVOT, PF und Truncus pulmonalis möglich	Beurteilung RVOT oder PV zur HZV-Bestimmung – speziell bei Vitien des linken Herzens	cw-Doppler Spektrum TV	Kombination biplan möglich	Beurteilung aller Venen in einem Datensatz möglich	Beurteilung Volumenstatus – Zieldokumentation für die untere Hohlvene und das rechte Atrium
Color 2D-parasternal kurze Achse AV				Vena cava inferior längs			Beurteilung Volumenstatus - TR
2D-parasternal kurze Achse PV	Kombination biplan möglich	Beurteilung der Dimensionen von RVOT, PF und Truncus pulmonalis möglich	Beurteilung RVOT oder PV zur HZV-Bestimmung – speziell bei Vitien des linken Herzens	Vena cava inferior quer	Kombination biplan möglich	Beurteilung der einsehbaren thorakalen Aorta in einem Datensatz möglich	Beurteilung Aortendissektion - Zieldokumentation für die tubuläre Aorta ascendens und den Aortenbogen
2D-parasternal lange Achse PV				pw-Doppler Spektrum RVOT/PV			Beurteilung Aortendissektion - Zieldokumentation für die tubuläre Aorta ascendens und den Aortenbogen
pw-Doppler Spektrum RVOT/PV	Differenzierung zwischen hypo- und hyperdynamem Schock	Beurteilung aller LV-Segmente sowie von MV und AV auch von nicht-standardisierten Schallfenstern möglich – LV-Volumetrie zur Bestimmung LVS _{tot}	Berechnung HZV – Abschätzung RV-Funktion/Shunt	Aortenbogen längs	Kombination biplan möglich	Beurteilung der einsehbaren thorakalen Aorta in einem Datensatz möglich	Beurteilung Volumenstatus - TR
pw-Doppler Spektrum RVOT/PV				Aortenbogen quer			Beurteilung Aortendissektion - Zieldokumentation für die tubuläre Aorta ascendens und den Aortenbogen
cw-Doppler Spektrum RVOT/PV	Differenzierung zwischen hypo- und hyperdynamem Schock	Beurteilung aller LV-Segmente sowie von MV und AV auch von nicht-standardisierten Schallfenstern möglich – LV-Volumetrie zur Bestimmung LVS _{tot}	Abschätzung RV-Drücke, Beurteilung PS, PR	pw-Doppler Spektrum Aorta descendens	Kombination biplan möglich	Beurteilung der einsehbaren thorakalen Aorta in einem Datensatz möglich	Beurteilung Volumenstatus - TR
2D-apikale lange Achse LV				Beurteilung LV posterior - anteroseptal			Beurteilung Aortendissektion - Zieldokumentation für die tubuläre Aorta ascendens und den Aortenbogen
2D-apikaler 2-Kammer-Blick LV	Kombination triplan möglich	Beurteilung aller LV-Segmente sowie von MV und AV auch von nicht-standardisierten Schallfenstern möglich – LV-Volumetrie zur Bestimmung LVS _{tot}	Beurteilung LV inferior – anterior - Beurteilung LVS _{tot} durch biplane Planimetrie – Zieldokumentation für das interatriale Septum	Lungenoberfeld links medioclaviculär	Kombination biplan möglich	Beurteilung der einsehbaren thorakalen Aorta in einem Datensatz möglich	Beurteilung Aortendissektion - Zieldokumentation für die tubuläre Aorta ascendens und den Aortenbogen
2D-apikaler 4-Kammer-Blick LV				Lungenoberfeld rechts medioclaviculär			Beurteilung Lungenstauung etc.
2D-apikale lange Achse LV	Kombination triplan möglich	Beurteilung aller LV-Segmente sowie von MV und AV auch von nicht-standardisierten Schallfenstern möglich – LV-Volumetrie zur Bestimmung LVS _{tot}	Beurteilung LV inferior – anterolateral - Beurteilung LVS _{tot} durch biplane Planimetrie – Zieldokumentation für das interatriale Septum sowie den Perikardraum vor dem rechten Atrium	pw-Doppler Spektrum Arteria subclavia links	Kombination biplan möglich	Beurteilung der einsehbaren thorakalen Aorta in einem Datensatz möglich	Beurteilung Aortendissektion - Zieldokumentation für die tubuläre Aorta ascendens und den Aortenbogen
2D-apikaler 4-Kammer-Blick LV				Pleuraraum links lateral			Beurteilung Aortendissektion - Zieldokumentation für die tubuläre Aorta ascendens und den Aortenbogen
Color 2D-apikale lange Achse LV	Kombination triplan möglich	Qualitative Beurteilung MS/MR und AS/AR wie auch in der Schnittbildanalyse der Color 2D-apikalen langen Achse des LV	Beurteilung MS/MR Beurteilung AS/AR	Pleuraraum rechts lateral	Kombination biplan möglich	Beurteilung der einsehbaren thorakalen Aorta in einem Datensatz möglich	Beurteilung Aortendissektion - Zieldokumentation für die tubuläre Aorta ascendens und den Aortenbogen
Color 2D-apikaler 2-Kammer-Blick LV				Fernfeld parasternal links			Beurteilung Pleura
Color 2D-apikaler 4-Kammer-Blick LV	Kombination triplan möglich	Qualitative Beurteilung MS/MR und AS/AR wie auch in der Schnittbildanalyse der Color 2D-apikalen langen Achse des LV	Beurteilung MS/MR Beurteilung AS/AR	Fernfeld substotal rechts	Kombination biplan möglich	Beurteilung der einsehbaren thorakalen Aorta in einem Datensatz möglich	Beurteilung Pleura
pw-Doppler Spektrum transmitral				3D-Datensatz parasternal			Beurteilung Pleuraraum
cw-Doppler Spektrum MV	Kombination triplan möglich	Qualitative Beurteilung MS/MR und AS/AR wie auch in der Schnittbildanalyse der Color 2D-apikalen langen Achse des LV	Beurteilung diastolische Funktion Beurteilung MS/MR	3D-Datensatz parasternal atypisch	Kombination biplan möglich	Beurteilung der einsehbaren thorakalen Aorta in einem Datensatz möglich	Beurteilung Pleuraraum
pw-Doppler Spektrum LVOT				3D-Datensatz apikal			Beurteilung Pleuraraum
pw-Doppler Spektrum LVOT	Kombination triplan möglich	Qualitative Beurteilung MS/MR und AS/AR wie auch in der Schnittbildanalyse der Color 2D-apikalen langen Achse des LV	Berechnung HZV	3D-Datensatz subcostal	Kombination biplan möglich	Beurteilung der einsehbaren thorakalen Aorta in einem Datensatz möglich	Beurteilung Pleuraraum
pw-Doppler Spektrum LVOT				3D-Datensatz subcostal			Beurteilung Pleuraraum

Abb. 3 ▲ Anzustrebende echokardiographische und Doppler-echokardiographische Sequenzen im Szenario einer Notfall-echokardiographie

flüssigkeiten sollte das Desinfektionsmittel auch wirksam sein gegen Hepatitis B und C, „human immunodeficiency virus“ und Mykobakterien. TEE-Sonden mit Überzug sollen im Anschluss an die Untersuchung eine High-level-Desinfektion erhalten, die auch Sporen abtötet [23].

Ultraschallkontaktgel stellt die dritte mögliche Infektionsquelle im Notfall dar. Verfügbare nichtsterile Gele in Flaschen sollten nicht wieder gefüllt werden. Ein Kontakt der Flasche mit der Ultraschallsonde oder Personen ist zu vermeiden. Sterile Gele sollten verwendet werden, wenn sterile perkutane Prozeduren unter Ultraschallkontrolle erfolgen und wenn das Gel in Kontakt mit nichtintakter Haut, Schleimhäuten oder frischen Operationswunden kommen kann. Bakteriostatische

Gele sollten bei intakten Schleimhautoberflächen eingesetzt werden.

Notfallechokardiographie bei Herzinsuffizienz

Lungen- und Thoraxsonographie

Die Lungensonographie (LUS) spielt eine zunehmend wichtige additive Rolle zum TTE bei der akutmedizinischen Abklärung der Dyspnoe [24]. Die LUS ermöglicht die bettseitige und nichtinvasive differenzialdiagnostische Abgrenzung von Pneumothorax, Pleuraerguss, Pneumonie, Lungenödem und interstitiellem Syndrom. Im Vergleich zu einer Röntgenuntersuchung zeigte sie beispielsweise eine höhere Sensitivität bei der Erkennung eines Pneumothorax [25].

Zudem ist die LUS mit hoher Sensitivität ein präzises Verfahren zur schnellen Abgrenzung einer akuten Herzinsuffizienz von einer primär pneumologischen Genese bzw. einer Lungenembolie [26]. Die sonographisch zu untersuchenden Strukturen sind die Pleura und der Pleuraspalt, da die gesunde Lunge selbst aufgrund des Luftgehaltes nicht direkt visualisiert werden kann. Die Interpretation basiert auf 2 wichtigen pathologischen Befunden: solide Bilder (Konsolidierungen) und Artefakte (B-Linien) im Vergleich zu normalen Lungenbefunden (A-Linien) [27]. Aktuell existieren verschiedene Leitlinien und Konsensuspapiere zur LUS [24, 28]. Zusammenfassend wird empfohlen, die Lunge anhand eines strukturierten Protokolls zu untersuchen,

wobei die Anlotung-Lokalisationen des ventralen Hemithorax bilateral mithilfe eines Linearschallkopfs (12–3 MHz, ersatzweise ist auch ein Konvexschallkopf) der medioklavikulären Lage am 3. ICR und der vorderen Axillarlinie am 5. ICR entsprechen. Der Schallkopf wird senkrecht zu den Rippen platziert, um die obere und untere Rippe sowie die Brustwand und die Pleuralinie zu visualisieren. Normalerweise bewegen sich die Pleurablätter atemsynchron („Lungengleiten“), und es zeigen sich horizontale, echoreiche Linien unterhalb der Pleuralinie, die als A-Linien bezeichnet werden. Diese stellen Wiederholungsartefakte dar, die immer im gleichen Abstand auftreten (Abstand Brustwand – Pleuralinie = Abstand Pleuralinie – A-Linie). Ein normales Lungenscattergebnis zeigt ein Lungengleiten mit vorherrschenden horizontalen A-Linien und wird als A-Profil bezeichnet. Wenn in einem Interkostalraum und an beiden Untersuchungspunkten der anterolateralen Thoraxwand jeweils ≥ 3 B-Linien (vertikale Linien) nachgewiesen werden, ist dies hochspezifisch (95%) und sensitiv (97%) für eine pulmonale Stauung (B-Profil). Eine weitere wichtige Aufgabe der LUS ist die Unterstützung diagnostischer bzw. therapeutischer Punktionen bei Pleuraergüssen. Darüber hinaus kann die LUS dazu beitragen, ein Pleuraempyem als Verdachtsdiagnose abzugrenzen. Typisch für ein Pleuraempyem sind innerhalb des Ergusses Fibrinfäden bzw. -membranen, vermehrte Binnenechos sowie der Eindruck von Kammerungen.

Echokardiographische Kriterien zur Beurteilung der venösen Kongestion

Neben der LUS erscheint es sinnvoll, bei Beurteilungen von Schockzuständen sowie bei akuter Herzinsuffizienz periphere Ultraschallbefunde der venösen Gefäße mit in die Notfallechokardiographie einzubeziehen. Ein erhöhter zentralvenöser Druck wurde als einer der wesentlichen Faktoren für eine Verschlechterung der Nierenfunktion bei Patienten mit akuter Herzinsuffizienz identifiziert [29]. Der zentralvenöse Druck überträgt sich direkt auf die von einer Kapsel umgebene Niere und erhöht den interstitiellen Druck der Niere mit konsekutiver Abnahme der glome-

kulären Filtrationsrate. Renale Doppler-sonographische Flussindizes korrelieren mit dem klinischen Verlauf einer Herzinsuffizienz unabhängig von der glomerulären Filtrationsrate und anderen konventionellen Prognoseparametern der Herzinsuffizienz. Bei normalem zentralvenösem Druck zeigt sich ein kontinuierlicher venöser Fluss mit einem venösen Impedanzindex (VII) von $0,3 \pm 0,1$. Dieser kalkuliert sich aus der Differenz von maximaler und minimaler renal-venöser Flussgeschwindigkeit, dividiert durch die maximale Flussgeschwindigkeit. Bei intravasculärer Volumenüberladung entwickelt sich ein zunehmend diskontinuierliches venöses Flussprofil mit einem VII von $0,7 \pm 0,2$ infolge der Übertragung der erhöhten rechtsatrialen a- und v-Welle auf die Niere [30]. Die Messung des VII erfolgt durch Ableitung des arteriellen und des venösen Signals einer Interlobärarterie und -vene. Die a- und v-Welle fallen zeitlich mit dem enddiastolischen bzw. endsystolischen Flusssignal der Nierenarterie zusammen. Bei erhöhtem zentralvenösem Druck wird die systolische Flussumkehr vom Signal der Interlobärarterie überlagert und generiert den Eindruck eines diskontinuierlichen venösen Flusssignals, da nur noch die D-Welle dargestellt wird. Der Portalvenenfluss hat sich ebenfalls als Marker für eine venöse Stauung erwiesen. Der portalvenöse Pulsatilitätsindex wird in Analogie zum VII der Niere berechnet. Ein Grenzwert $> 0,3$ gilt als beginnend pathologisch, ein Wert $> 0,5$ als schwergradig pathologisch [31]. Mithilfe beider Parameter kann mittels kurzfristiger Verlaufskontrollen an einem Abfall der Indizes abgeschätzt werden, ob bei einer Stauung intravasales Volumen mobilisiert werden kann. Eine Dilatation der V. cava inferior $\geq 2,1$ cm ist v. a. ein Marker für eine rechtsventrikuläre Dysfunktion und ändert sich wenig bei kurzfristigen Volumenänderungen.

Der Venous EXcess UltraSound (VExUS) Score wurde als Prädiktor für ein akutes Nierenversagen im Rahmen kardiochirurgischer Eingriffe validiert und lässt die Beurteilung des Vorhandenseins und der Ausprägung einer venösen Stauung mittels 3 Abstufungen zu. Auch bei Patienten mit akutem Koronarsyndrom ist der VExUS Score mit einem erhöhten Risiko für ein akutes Nierenversagen assoziiert.

Neben Portalvenenfluss, Nierenvenenfluss und Weite der V. cava inferior wird der Lebervenenfluss mittels pw-Doppler endexpiratorisch oder bei flacher Atmung registriert. Der normale Lebervenenfluss weist in Analogie zum Pulmonalvenenfluss bei Gesunden einen antegraden systolischen (S) und antegraden diastolischen Fluss (D) auf und einen retrograden Fluss nach atrialer Kontraktion. Mit ansteigendem rechtsatrialem Druck wird die S-Welle kleiner als die D-Welle oder sogar retrograd. Die Graduierung erfolgt dann in Abhängigkeit von der Weite der V. cava inferior und dem Vorhandensein von normalen, leicht abnormalen oder hochgradig abnormalen Flussprofilen in Lebervenen, Nierenvenen und Portalvene (s. **Tab. 1 und 2**). Offen ist derzeit, ob der VExUS Score nur ein Indikator für das Auftreten eines akuten Nierenversagens ist oder auch ein Therapieziel darstellen kann.

Beurteilung der Hämodynamik bei Schock und Herzinsuffizienz und Reanimationen

Algorithmen in der fokussierten echokardiographischen Notfalldiagnostik zur Differenzierung von Schockformen und Herzinsuffizienz sind in den letzten Empfehlungen zur Notfallechokardiographie tabellarisch aufgelistet [1].

Der hypovolämische Schock (Volumenmangel) lässt sich echokardiographisch durch einen kleinen und hyperdynamen linken Ventrikel detektieren, was durch ein kleines Geschwindigkeits-Zeit-Integral (VTI – „velocity time integral“) der Doppler-echokardiographisch zu bestimmenden LV- und RV-Vorwärtsflüsse in Verbindung mit einer kleinen schmalen V. cava inferior zu bestätigen ist. Insgesamt liegt bei dieser Befundkonstellation ein reduziertes Herzzeitvolumen (HZV) vor. Der septische bzw. anaphylaktische Schockzustand ist dagegen durch ein hohes HZV bei guter LV-Pumpfunktion und kleinen oder großen hyperdynamen linken Ventrikeln bei ebenfalls schmaler V. cava inferior gekennzeichnet. Der kardiogene Schock kann verschiedene Ursachen haben, geht jedoch mit einem niedrigen HZV einher. Die myokardiale Ischämie geht mit einer reduzierten LV-Pumpfunktion einher, die überwiegend durch regionale Kine-

Tab. 1 Graduierung der venösen Stauung mittels VExUS Score nach [32]	
Keine venöse Stauung	V. cava inferior < 21 mm
Milde venöse Stauung	V. cava inferior \geq 21 mm plus normale oder leichtgradig pathologische Flussprofile
Mäßiggradige venöse Stauung	V. cava inferior \geq 21 mm plus ein hochgradig pathologisches Flussprofil
Hochgradige venöse Stauung	V. cava inferior \geq 21 mm plus 2 oder mehr hochgradig pathologische Flussprofile

Tab. 2 Graduierung der venösen Flussprofile für den VExUS Score [32]			
	Lebervenenfluss	Portalvenenfluss	Nierenvenenfluss
Normal	S > D	Pulsatilitätsindex < 30 %	Kontinuierlich
Leichtgradig abnormal	S < D	Pulsatilitätsindex 30–50 %	Diskontinuierlich, S- und D-Welle vorhanden
Hochgradig abnormal	Systolische Flussumkehr	Pulsatilitätsindex > 50 %	Diskontinuierlich, nur noch D-Welle ableitbar

tikstörungen gekennzeichnet ist, jedoch bei einer kongestiven Verlaufsform einer koronaren Herzerkrankung (KHK) auch mit einer globalen Einschränkung der LV-Pumpfunktion einhergehen kann. Weitere Ursachen für ein niedriges effektives HZV sind Ventildefekte und Shuntvitien oder auch Füllungsbehinderungen durch Perikardtamponade oder Pericarditis constrictiva. Der obstruktive Schock – sehr häufig durch eine relevante Lungenembolie verursacht, seltener jedoch auch durch kardiale Kompression infolge von Tumoren oder Perikardergüssen oder Füllungsbehinderungen des linken Herzens – ist gekennzeichnet durch eine RV- und rechtsatriale (RA) Dilatation und eine Dilatation der V. cava inferior bei fehlendem inspiratorischem Venenkollaps.

Grundsätzlich sollte bei jeder Reanimation zur Dokumentation einer elektromechanischen Kopplung bei Einsetzen der elektrischen Herzaktionen bzw. nach Wiederherstellung des Spontankreislaufes eine TTE erfolgen [14, 33]. Reversible Ursachen, wie z. B. eine Perikardtamponade, das Auftreten akuter Herzklappenfehler, und die Beurteilung der kardialen Funktion (im Rahmen der 4 H's – Hypoxie, Hypovolämie, Hypothermie, Hypo-/Hyperkaliämie – und HITS – Herzbeuteltamponade, Intoxikation, Thrombembolie, Spannungspneumothorax) [34] lassen sich mittels Echokardiographie schnell dokumentieren.

Echokardiographie bei temporären und permanenten Herzersatzsystemen

Temporärer ventrikulärer Support („short-term MCS“=„mechanical circulatory support“) zur akuten Kreislaufunterstützung wird bei kardiogenem Schock und zur hämodynamischen Unterstützung bei interventionellen Eingriffen – einschließlich risikoreicher perkutaner Koronarinterventionen – zunehmend eingesetzt. Derartige Systeme werden perkutan oder chirurgisch implantiert. Diese Systeme dienen zur Reduktion des myokardialen Sauerstoffbedarfs und der simultanen Aufrechterhaltung der systemischen und koronaren Perfusion und damit dem Ziel eines verbesserten Outcomes. Die TTE und TEE sind für die Auswahl des jeweiligen Systems und das Monitoring der Implantation, für die Ursachenklärung bei Fehlfunktionen und die letzte Bewertung der MCS-Funktion nach Implantation von entscheidender Bedeutung [35–37]. Zudem spielt die Echokardiographie bei der Entscheidung zum „Weaning“ (Entwöhnung) sowie der Beurteilung während des „Weanings“ eine zentrale Rolle.

Zu den am häufigsten benutzten Systemen zählen die retrograd arteriell über die Aortenklappe implantierten Pumpen (*Impella* – benannt nach der Gründungsfirma Impella AG – jetzt Abiomed, MA, USA) mit kontinuierlichem axialem Fluss, die periphere venoarterielle (va) extrakor-

porale Membranoxygenierung (ECMO) bei refraktärem kardiogenem Schock und die rein lungenunterstützende venovenöse (vv) ECMO mit kontinuierlichem zentrifugalem Fluss. Die Kombination von stark reduzierter LV-Kontraktilität und die Erhöhung der Nachlast führen zu einer Reduktion des Schlagvolumens und einer verringerten Öffnung der Aortenklappe [27]. Derartige Szenarien begünstigen das Risiko eines zentralen Blutstaus, der durch spontanen Echokontrast (SEC) und bei anhaltend geringem Blutfluss zu Thromben im linken Herzen und/oder an der Aortenklappe führt. Bei der ECMO kann bei der Durchführung einer Kontrastechokardiographie der Abfluss des Kontrastmittels durch die Ansaugkanüle auf der Höhe des rechten Vorhofes bzw. der V. cava limitiert sein, was dann zu einer unzureichenden und damit nicht aussagekräftigen LV-Opazifizierung führen kann.

Die Implantation der *Impella* wird durch eine Echokardiographie zur Sicherstellung der korrekten Position im linken (oder rechten) Ventrikel begleitet. Linksventrikulär ist die Ausrichtung der Pumpe zum LV-Apex von besonderer Bedeutung, um eine Fehlrotation zu vermeiden. Außerdem müssen bei der retrograden Passage einer *Impella* eine relevante Aortenklappenregurgitation und/oder eine Beeinträchtigung der Mitralklappe oder des Mitralklappenhalteapparates ausgeschlossen werden.

Bei der Implantation der ECMO ist das echokardiographische Monitoring der Lage von Ansaug- und Auslasskanüle wichtig, um eine iatrogene Perforation bei zu geringer Distanz zur Vorhof- bzw. Ventrikelwand zu vermeiden (s. [Abb. 4](#)).

Die Echokardiographie bei **permanenten linksventrikulären kardialen Unterstützungssystemen** (LVAD=„left ventricular assist devices“) ist bei der Implantation, der Steuerung adäquater hämodynamischer Einstellungen und der postoperativen Detektion von Komplikationen von Bedeutung [38]. LVADs sind apikal implantierte Zentrifugalpumpen, die das Blut durch die Einflusskanüle aus dem linken Ventrikel ansaugen und über einen „Outflow Graft“ in die thorakale Aorta pumpen. Während die TEE ideal zum Implantationsmonitoring ist, ist die TTE bei der Evaluation und Selektion der

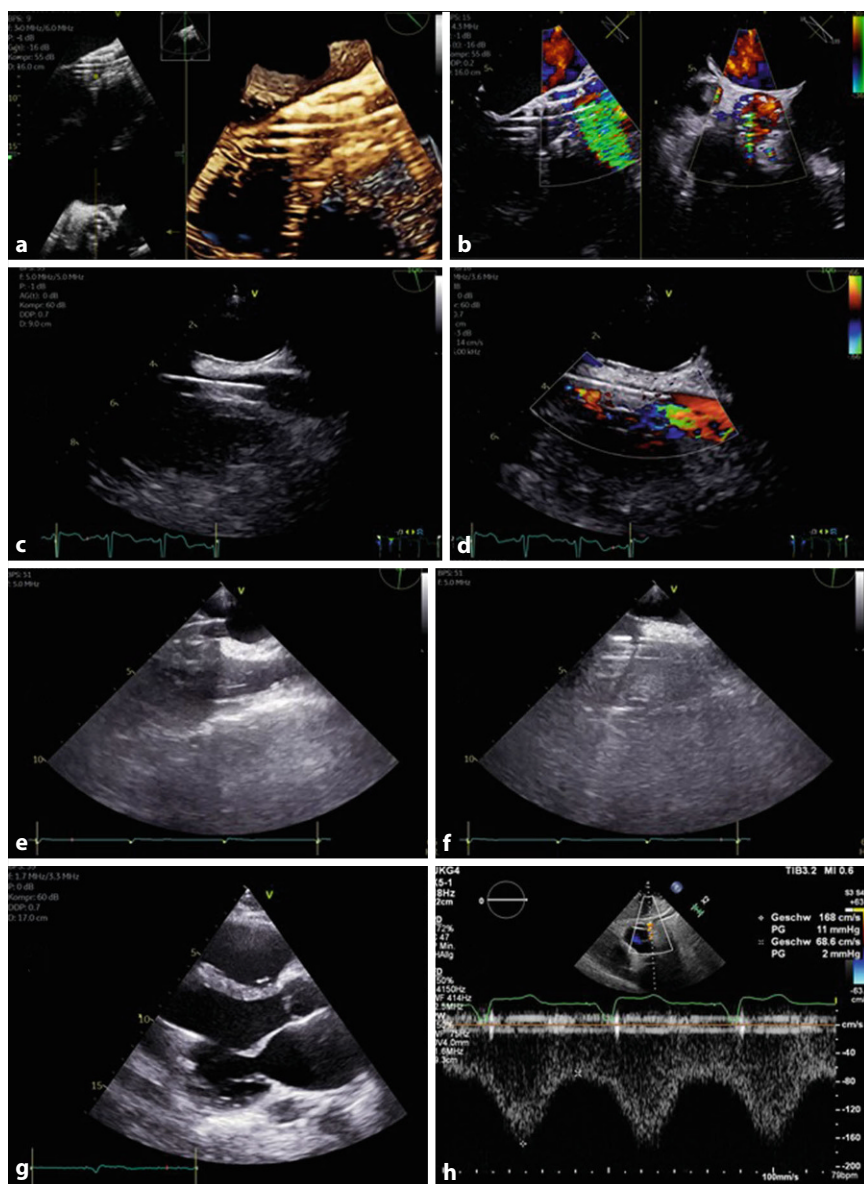


Abb. 4 ▲ Echokardiographie bei Herzersatzsystemen: **a** 3-D-TEE-Darstellung einer Impella durch eine TAVI-Prothese; **b** korrespondierende farbkodierte biplane Dokumentation der Impella im linken Ventrikel; **c** Darstellung einer ECMO-Auslasskanüle in regelrechter Position im rechten Vorhof mittels 2-D-TEE; **d** korrespondierende farbkodierte Darstellung der ECMO-Auslasskanüle; **e** Fehlposition einer ECMO-Auslasskanüle am interatrialen Septum; **f** Neupositionierung der Auslasskanüle in korrekter Lage; **g** 2-D-Darstellung der LVAD-Einlasskanüle in der parasternalen langen Achse; **h** normales Flussprofil der Einlasskanüle eines permanenten LVAD-Systems im pw-Doppler. Zu sehen ist ein normaler kontinuierlicher, laminaer, diskret pulsatiler Fluss bei normalen maximalen Geschwindigkeiten < 2 m/s in einer atypischen Anlotung von subkostal

Patienten sowie in der postoperativen Nachsorge und bei der Entscheidung zu einer eventuellen Entwöhnung unerlässlich.

Die TTE eignet sich am besten bei der Nachsorge von LVAD-Patienten trotz der häufigen Einschränkungen durch die Schallschatten des Devices. Bei der apikalen Lokalisation des Devices ist die 2-D-

Echokardiographie in der Regel von apikal nicht standardisiert durchzuführen, sodass nur „foreshortening views“ des linken und rechten Ventrikels gelingen. Im Gegensatz dazu bietet das parasternale Schallfenster bei LVAD-Patienten häufig eine gute Bildqualität. Die Bestimmung der linearen LV „fractional area change“ (FAC) wird zur konventionellen Beurteilung der globa-

len LV-Funktion empfohlen, da die 2-D-Planimetrie der apikalen Schnittebenen selten möglich ist. Für die Evaluation der rechtsventrikulären Funktion werden RV-FAC und Tei-Index empfohlen. Die 3-D-Echokardiographie ermöglicht bisweilen eine komplette Darstellung beider Ventrikel von nicht standardisierten Anlotungen, sodass in der Nachbearbeitung verlässliche Werte der LV- und RV-Funktion ermittelt werden können.

Zur Kontrolle der Lage der Einflusskanüle und des „Outflow Graft“ sollten normale kontinuierliche Flussprofile, bei nativer LV-Kontraktion leicht pulsatile Flussprofile dokumentiert werden. Die Interpretation der echokardiographischen Befunde ist nur bei Kenntnis des aktuellen Blutdrucks sowie die LVAD-Einstellung des Blutflusses möglich. Bei fehlenden Herzaktionen besteht durchgehend ein nahezu konstanter Mitteldruck bei kontinuierlichem Fluss des LVADs. Bei geringer LV-Funktion kann sich jedoch eine pulsatile Blutdruckkurve aufbauen, wobei eine Öffnung der Aortenklappe zu beobachten ist [39]. Gute Anlotungen zur Dokumentation dieser Doppler-Spektren sind ein möglichst apikaler 2- oder 4-Kammer-Blick für die Einflusskanüle und eine hohe lange Achse der Aorta ascendens auf der Höhe der rechten Pulmonalarterie für den „Outflow Graft“. Eine Deviation der Einflusskanüle zum interventrikulären Septum oder zu LV-Wand nah in anteroposteriorer Orientierung kann zu Strömungsturbulenzen oder erhöhten Flussgeschwindigkeiten > 2 m/s führen, was auf eine Kanülenfehlposition, Ansaugphänomene an Trabekeln oder Obstruktion durch einen Thrombus oder Vegetationen hinweisen kann.

Eine intermittierende Obstruktion der Einflusskanüle oder eine reduzierte LV-Vorlast ist bei niedrigem LVAD-Fluss echokardiographisch durch die Beurteilung des Volumenstatus (LV-Diameter, Weite der V. cava inferior) und eine Beeinträchtigung der rechtsventrikulären Funktion, der Entstehung einer relevanten Trikuspidalklappeninsuffizienz oder der Detektion eines relevanten Perikardergusses bis hin zur Tamponade festzustellen. Ebenfalls sollten perikardiale Blutansammlungen detektiert werden, die die Herzkammern komprimieren können. Eine Abnahme des LVAD-Flusses ist jedoch auch durch

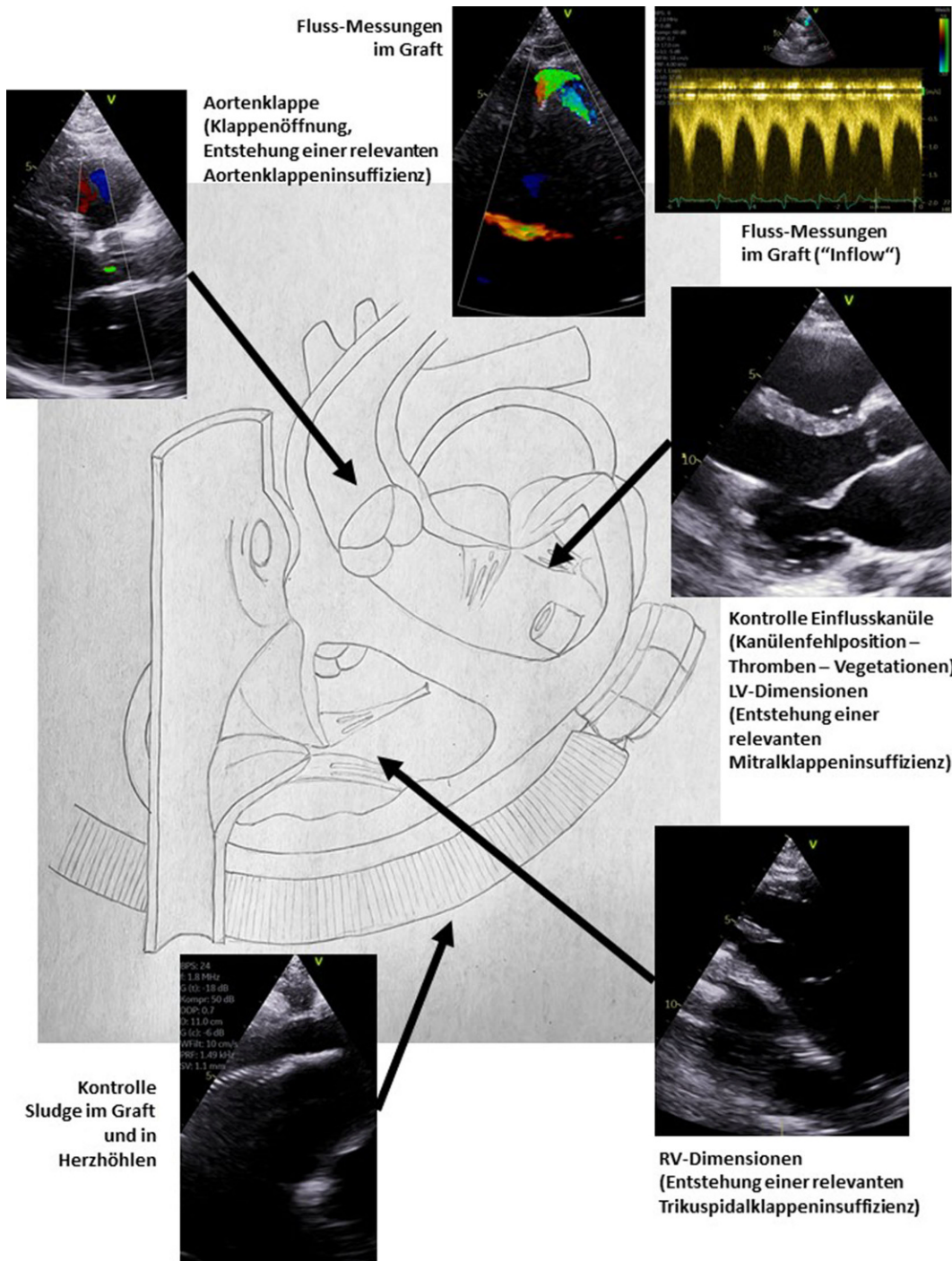


Abb. 5 ◀ Schemazeichnung zur echokardiographischen Kontrolle von LVAD-Systemen („left ventricular assist devices“). Illustration der wichtigen Dokumentationspunkte mit Erklärung im Uhrzeigersinn. *Oben links*: Dokumentation von Aortenklappe mit Klappenöffnung sowie potenzielle Entstehung einer relevanten Aortenklappeninsuffizienz; *oben rechts*: Dokumentation des Outflow Grafts mit Graft-Fluss durch farbkodierte Doppler-Echokardiographie und Spektral-Doppler-Echokardiographie; *rechts*: Dokumentation der Einflusskanüle im linken Ventrikel zur Detektion von Kanülenfehlposition, Thromben und Vegetationen sowie Analyse der linksventrikulären Dimensionen und potenzielle Entstehung einer relevanten Mitralklappeninsuffizienz; *unten rechts*: Dokumentation der rechten Herzhöhlen zur Analyse der rechtsventrikulären Dimensionen und potenzielle Entstehung einer relevanten Trikuspidalklappeninsuffizienz; *unten links*: Kontrolle des Grafts mit Detektion von potenziellem Sludge bei langsamem Fluss

eine Verbesserung der LV-Funktion zu erklären. Ein erhöhter LVAD-Fluss mit Anzeichen eines niedrigen systemischen Herzzeitvolumens kann bei einer Aortenklappeninsuffizienz oder einer Thrombose der Einflusskanüle beobachtet werden. Ursachen dafür können eine progrediente LV-Dilatation, eine schwere funktionelle Mitralklappeninsuffizienz oder eine regelmäßige Öffnung der Aortenklappe als

Folge einer unangemessenen LV-Entlastung sein. Die LVAD-Funktion kann somit nur im Zusammenhang mit der Funktion aller Herzklappen, insbesondere mit der Beurteilung der Aortenklappenöffnung unter Anpassung der LVAD-Drehzahl, sowie mit der RV-Funktion beurteilt werden.

Der sog. „ramp test“ ist hilfreich zur Diagnose von Gerätestörungen. Echokardiographisch wird dabei die Wechselwirkung

zwischen LVAD und Herzfunktion bei einer Änderung der Pumpendrehzahl überprüft. Der „ramp test“ hilft bei der Diagnose einer Funktionsstörung des Devices oder der Ermittlung der optimalen Drehzahl. Die LV-Dimensionen, die Häufigkeit der Aortenklappenöffnung und der Schweregrad der Aorten- und Mitralsuffizienz werden zusammen mit den hämodynamischen Parametern bei unterschiedlichen LVAD-

Tab. 3 Kriterien zur bildmorphologischen Differenzierung einer Vegetation von degenerativen Klappenveränderungen in der Echokardiographie		
	Vegetation	Degeneration
Lokalisation	In Flussrichtung (atrialseits bei Mitral- und Trikuspidalklappe, ventrikelseits bei Aorten- und Pulmonalklappe)	Auf beiden Seiten der Klappe möglich
Mobilität	Hypermobil	Hypomobil oder starr
Echogenität	Echoarm, flau Wenn chronisch, möglicherweise echoreiche Stellen (teilweise kalzifiziert)	Echoreich (häufig verkalkt)

Flüssen gemessen. Eine durchgehend geschlossene Aortenklappe begünstigt die Entstehung einer Aortenklappeninsuffizienz infolge der kontinuierlichen Klappenbelastung. Die Identifizierung einer neu aufgetretenen Aortenklappeninsuffizienz sowie die Analyse ihres Schweregrades sind von entscheidender Bedeutung, um einen „Kurzschluss“ des Blutflusses zwischen Device und Ventrikel zu vermeiden. Die **Abb. 5** zeigt schematisch die wichtigsten Strukturen zur Analyse von LVADs durch die Echokardiographie.

Notfallechokardiographie bei speziellen Krankheitsbildern

Besondere Aspekte der Notfallechokardiographie bei Endokarditis – Vegetation vs. Degeneration – echokardiographische Unterschiede

Die Echokardiographie (TTE und TEE) ist das bildgebende Verfahren der ersten Wahl für die Diagnose einer infektiösen Endokarditis (IE) sowie bei der Detektion von IE-bedingten Komplikationen [15, 40]. Eine TEE sollte immer bei unklaren TTE-Befunden und begründetem Verdacht auf eine IE erfolgen, was ihren häufigen Einsatz in der Notfallechokardiographie erklärt. Bei nativer Klappenendokarditis liegen die diagnostische Sensitivität und Spezifität der TTE zwischen 50 und 90 % bzw. 90 %, während die 2-D-TEE eine Sensitivität von 90–100 % und eine Spezifität von > 90 % aufweist. Bei Verdacht auf Prothesenklappenendokarditis (PVE) ist die Sensitivität von TTE und TEE mit 40–70 % bzw. 85 % geringer. Trotz der geringeren Sensitivität und Spezifität der TTE spielt die TTE eine wichtige Rolle bei der Detektion von speziellen IE-Entitäten wie Abszessformationen im ventralen Aortenring oder im Myokard.

Die multiplanare und multidimensionale Echokardiographie hat die Möglichkeiten zur Beurteilung der Herzstrukturen bei Endokarditis erheblich verbessert.

Die modifizierten Duke-Kriterien wurden kürzlich überarbeitet [41]. Zu den echokardiographischen Hauptmerkmalen gehören (a) eine oszillierende intrakardiale Masse als Charakteristikum für eine Vegetation, (b) die Bildung eines Abszesses, (c) das Vorhandensein einer Klappenperforation, intrakardialen Fistel, eines Klappenaneurysmas oder eines Pseudoaneurysmas und (d) eine neue partielle Klappendehiszenz bei einer Prothese im Vergleich zu früheren Befunden einer Bildgebung.

Eine häufige Herausforderung bei Endokarditis besteht darin zu unterscheiden, ob die Veränderungen an den Herzklappen durch eine Infektion verursacht worden sind oder degenerativer bzw. thrombotischer Genese sind. Dafür kann man sich an bestimmten bildmorphologischen Kriterien orientieren (s. **Tab. 3** und **Abb. 6**). Infektiös bedingte Läsionen befinden sich oft vor den Klappen, d. h. auf atrialer Seite bei der Mitral- und Trikuspidalklappe und auf ventrikulärer Seite bei der Aorten- und Pulmonalklappe. Vegetationen stellen sich oft als flau, echoarme, hypermobile und mehrteilige Strukturen im Vergleich zu häufig echoreichen, verkalkten und wenig mobilen degenerativen Klappenveränderungen dar. Oft liegen jedoch – insbesondere bei älteren Patienten – Mischbilder vor, sodass nicht immer alle Kriterien für die jeweiligen Veränderungen erfüllt sind. Daher müssen die Befunde der Echokardiographie immer unter Berücksichtigung des klinischen Bildes des Patienten und der Wahrscheinlichkeit einer IE interpretiert werden.

Besondere Aspekte der Notfallechokardiographie bei Aortendissektion

Zu den akuten Aortensyndromen zählen die Aortendissektion, das intramurale Wandhämatom und die penetrierenden arteriosklerotischen Ulzera. Findet sich eine erhöhte Prätestwahrscheinlichkeit oder spricht die klinische Situation bereits für eine akute Aortendissektion, erfolgt als Bildgebungsmethode der ersten Wahl diejenige, die am schnellsten zur Verfügung steht und die eine hohe diagnostische Aussagekraft hat. Aufgrund der schwierigen Beurteilung der gesamten thorakalen Aorta ist es üblich, so rasch wie möglich eine Computertomographie durchzuführen, die sowohl das Ausmaß der Erkrankung der Aorta, eine evtl. zusätzlich vorliegende Dissektion von hirnersorgenden Gefäßen und abdominalen Gefäßen als auch weitere Komplikationen zeigen kann. Die Stärke der Notfallechokardiographie liegt in der extrem schnellen Diagnosestellung bei rascher Verfügbarkeit – insbesondere bei Patienten mit Hypotonie oder Schock – sowie in der Reduktion von Fehldiagnosen bei der Abklärung von Differenzialdiagnosen [42]. Bei Verdacht auf eine Aortendissektion sollte eine gezielte Darstellung der Aortenwurzel und der Aorta ascendens im PLAX und PSAX erfolgen sowie in einem linksseitigen PLAX 1 oder 2 Interkostalräume höher. Bei dilatierter Aorta ascendens sollte auch ein rechts-parasternaler Langachsenschnitt im 3. Interkostalraum in Rücken- oder Rechtsseitenlage dargestellt werden. Mittels einer suprasternalen langen Achse können die Weite des Aortenbogens und die proximale Aorta descendens beurteilt werden. Kasuistisch wurde auch eine links interskapuläre Schnittebene „LISA“ zur Darstellung einer dilatierten Aorta descendens beschrieben [43]. In den genannten Schnittebenen sollte nach einer Dissektionsmembran gesucht werden sowie Farbdoppler-echokardiographisch nach einem echten, systolisch-expandierenden Lumen und einem falschen, oft größeren und systolisch-komprimierten Lumen. Weiterhin sollte nach Begleitkomplikationen einer möglichen Dissektion wie Aortenklappeninsuffizienz, hämorrhagischem Perikarderguss, Myokardinfarkten

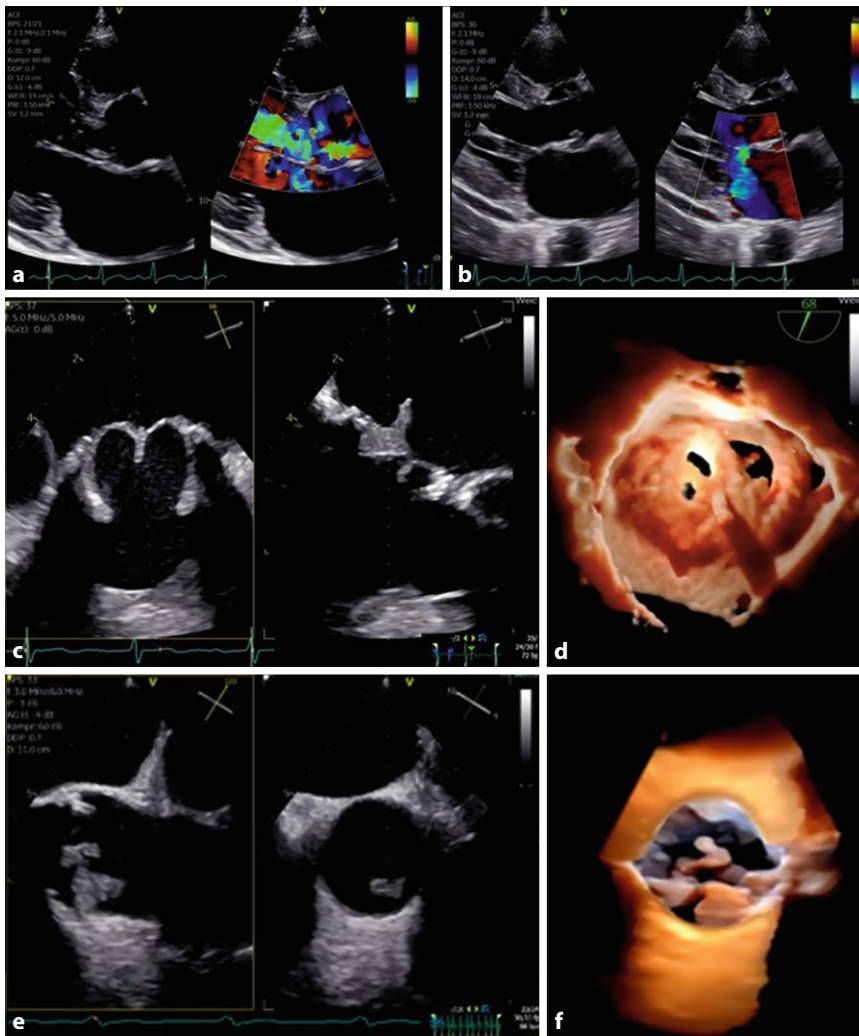


Abb. 6 ▲ Repräsentative Beispiele zu endokarditisch bedingten Läsionen in der Notfalldiagnostik: **a** simultane 2-D-TTE- sowie farbkodierte 2-D-TTE-Darstellung in der parasternalen langen Achse bei einer Doppelklappenendokarditis mit Aorten- und Mitralklappeninsuffizienz während der Diastole; **b** korrespondierende Sequenz während der Systole, bei der eine Perforation durch den systolischen Jet durch das vordere Mitralsegel dokumentiert ist; **c** biplane perpendikuläre 2-D-TEE-Dokumentation einer typisch auf der atrialen Seite lokalisierten, echoarmen, flauen, flottierenden Vegetation einer biologischen Mitralklappenprothese (oberer Teil des Panels); **d** korrespondierende Darstellung der Vegetation durch 3-D-TEE im FlexiLight-Modus mit Blick vom Ventrikel auf die Mitralklappenprothese; **e** biplane perpendikuläre 2-D-TEE-Dokumentation von breitbasigen, hypermobilen, echoarmen Auflagerungen zu beiden Seiten der Klappenebene an einer biologischen Aortenklappenprothese; **f** korrespondierende Darstellung der Vegetation durch 3-D-TEE im FlexiLight-Modus mit Blick von der Aortenwurzel aus auf die Aortenklappenprothese

oder Pleuraergüssen gesucht werden. Im Falle einer dilatierten Aorta oder eines Aneurysmas sollte von subkostal auch die abdominelle Aorta dargestellt werden. Eine TEE erlaubt in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung die Darstellung der thorakalen Aorta mit Ausnahme eines Abschnitts der Aorta ascendens infolge Schallschatten durch die Trachea. Die Aortenklappe sowie die Dissektionsmembran lassen sich gut darstellen sowie nicht sel-

ten auch die Ein- und Austrittsstelle der Dissektion. Reverberationen vom rechten Vorhof können einer Dissektionsmembran in der Aortenwurzel ähneln. Eine TEE im Rahmen der Diagnosesicherung ist speziell in den Fällen sinnvoll, in denen eine CT-Untersuchung oder eine MRT-Untersuchung kontraindiziert oder nicht durchführbar erscheinen und eine TTE-Untersuchung nicht aussagekräftig genug ist.

Besondere Aspekte der Notfallechokardiographie bei Lungenembolie

Die echokardiographische Beurteilung des rechten Herzens bei Schock oder Herzinsuffizienz ist Bestandteil jeder Notfalluntersuchung [21]. Es geht primär um die schnelle visuelle Beurteilung der Größe und Funktion des rechten Ventrikels, wobei auch eine differenzierte Beurteilung der RV-Funktion und der Hämodynamik im kleinen Kreislauf möglich ist. Die häufigste und dominierende Fragestellung an die Echokardiographie bezüglich des rechten Herzens ist die rechtsventrikuläre Funktion bei akuter Lungenarterienembolie. Fragen nach Shuntvitien oder chronisch obstruktiver Lungenerkrankung mit rechtsventrikulärer Beteiligung spielen in der Notfallechokardiographie eine untergeordnete Rolle. Im Notfall empfiehlt es sich, aufgrund der Rückenlage der Patienten*innen oft mit einer subkostalen Anlotung zu beginnen und unter Inspiration des Patienten einen subkostalen 4-Kammer-Blick einzustellen. Imponiert der rechte Ventrikel größer als der linke, besteht der Verdacht auf eine Druck- oder Volumenbelastung des rechten Herzens. In der subkostalen Schallebene müssen dann die V. cava inferior und der Einstrom in den rechten Vorhof dargestellt werden. Ist die V. cava inferior dilatiert und nicht atemkolaptisch, ist von einem erhöhten zentralen Venendruck (ZVD) auszugehen. Bei RV-Dilatation muss von subkostal Farbdopplerechokardiographisch das interatriale Septum analysiert werden, um einen relevanten interatrialen Shunt auszuschließen.

Im Folgenden sollte in einigen wenigen pragmatischen Schritten die Funktionsanalyse des rechten Herzens bei Verdacht auf Lungenembolie beschrieben werden:

1. Apikaler 4-Kammer-Blick fokussiert auf den rechtsventrikulären Einflussstrahl mit der Klärung, ob ein sog. McConnell-Zeichen vorliegt. Hierunter versteht man die Akinesie der freien lateralen Wand des rechten Ventrikels bei normaler oder hyperkinetischer Wandbewegung der RV-Spitze. Bei ausgeprägt hypertrophiertem rechtem Ventrikel muss differenzialdiagnostisch an eine chronische Druckbelastung anderer Ätiologien gedacht werden.

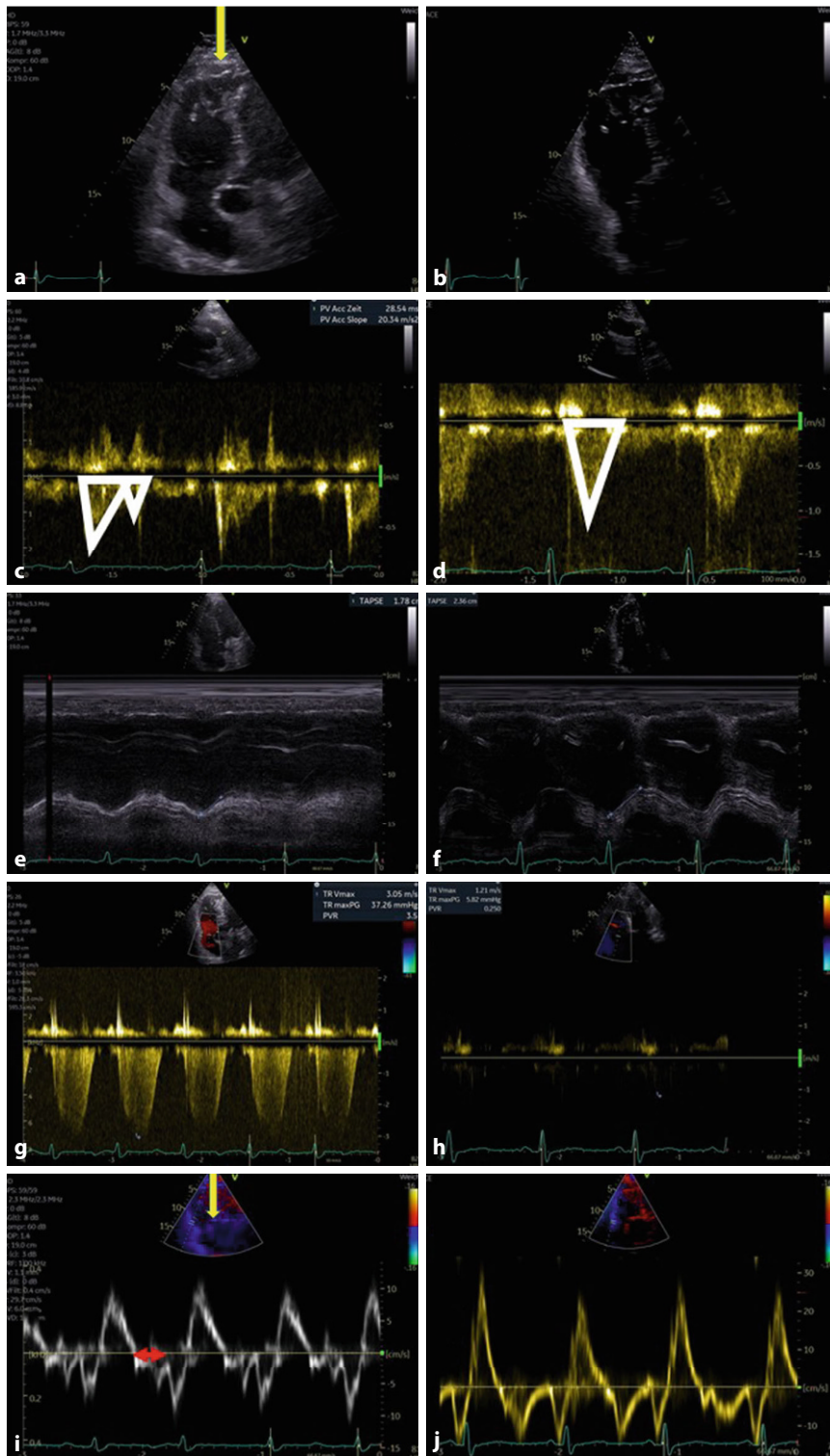


Abb. 7 ◀ Echokardiographische Dokumentationsbeispiele zur Diagnose und zum Therapie-monitoring bei akuter Lungenembolie: **a** Dokumentation des „McConnell“-Zeichens im fokussierten 4-Kammer-Blick des rechtsventrikulären Einflusstraktes (RVIT); **b** Dokumentation des pw-Doppler-Spektrums der Flussgeschwindigkeiten im rechtsventrikulären Ausflusstrakt (RVOT) mit Nachweis eines sog. „notchings“ (biphasisches systolisches Pulmonalis-Flussprofil); **c** Dokumentation der grenzwertigen TAPSE („tricuspid annular plane systolic excursion“) um 17 mm; **d** Dokumentation des pathologisch erhöhten systolischen Pulmonalis-Drucks plus geschätztem zentralem Venendruck über die Trikuspidalklappenregurgitation; **e** Dokumentation einer reduzierten systolischen Gewebegeschwindigkeit (RV-S') sowie einer verlängerten isometrischen Relaxationszeit des rechten Ventrikels (IVRT-RV); **f–j** korrespondierende Dokumentationen der 5 Parameter nach erfolgreicher Therapie mit Normalisierung der basalmittigen RV-Kontraktilität (**f**), Normalisierung des systolischen Pulmonalis-Flussprofils (**g**), Zunahme der TAPSE in Normbereiche (**h**), fehlende Trikuspidalklappenregurgitation (**i**) und Normalisierung von RV-S' und IVRT-RV (**j**)

2. Geringe bis ausgeprägte Reduktion der TAPSE < 17 mm („tricuspid annular plane systolic excursion“). Die longitudinale rechtsventrikuläre Funktion ist ein Kompensationsmechanismus bei akuter Widerstandserhöhung, der allerdings nur bei fehlender oder nicht

relevanter Trikuspidalklappeninsuffizienz aussagekräftig ist. Ursachen für eine hochgradig reduzierte TAPSE sind die fulminante Lungenarterienembolie mit kardiogenem Schock oder ein voroperiertes Herz nach Kardiotomie.

3. Zu den optionalen Analysemethoden gehört der Gewebedoppler der freien RV-Wand im 4-Kammer-Blick. Eine Abnahme der systolischen Gewebegeschwindigkeit < 10 cm/s (RV-S') ist hinweisend auf eine RV-Dysfunktion. Im Rahmen einer akuten

Lungenarterienembolie ist oft auch eine isometrische Relaxationszeit des rechten Ventrikels (IVRT-RV) zu bestimmen, die in der Regel beim gesunden Herzen nicht zu dokumentieren ist (s. **Abb. 7**).

4. Zur Beurteilung der RV-Hämodynamik sollte ein pw-Doppler Spektrum der Blutflussgeschwindigkeiten im RVOT (right ventricular outflow tract) oder im Truncus pulmonalis durchgeführt werden. Dies ist im Notfall in der Regel von subkostal durchführbar. Folgende Parameter können dann erhoben werden: das HZV über das effektive RV-Schlagvolumen ($RVS_{V_{eff}}$) im Falle einer kompetenten Pulmonalklappe, die Pulmonalis-Akzelerationszeit (PV-AT < 100 ms hinweisend auf pulmonal vaskuläre Widerstandserhöhung) sowie ein „notching“ des RVOT-VTI, welches typischerweise bei akuter pulmonaler Widerstandserhöhung auftritt und daher dokumentiert werden sollte (s. **Abb. 7**).
5. Die semiquantitative Abschätzung des systolischen Pulmonalldrucks über die maximale Geschwindigkeit des Regurgitationsjets über der Trikuspidalklappe (V_{maxTR}) kann bei bestehenden Druckunterschieden zwischen rechtem Atrium und rechtem Ventrikel erfolgen. Daher ist diese Methode bei hochgradiger Trikuspidalklappeninsuffizienz infolge des Druckangleichs zwischen rechtem Atrium und rechtem Ventrikel nicht zuverlässig.

Diese 5 echokardiographischen Dokumentationen sowie die daraus resultierenden konsekutiven Messungen sollten bei jedem Patienten im kardiogenen Schock angestrebt werden, da sie relativ schnell und einfach durchführbar sind. Zusätzliche Messungen zur Abschätzung des mittleren und diastolischen Pulmonalldruckes (mPAP, dPAP) über die im cw-Doppler dokumentierten Flussgeschwindigkeiten der Pulmonalis-Regurgitation sind für den akuten Notfall nicht ausreichend sicher beurteilbar und sollten nur von erfahrenen Untersuchern durchgeführt werden. Die Entscheidung über die Durchführung einer systemischen Lyse oder einer interventionellen Therapie der Lungenarterienembolie hängt neben der

echokardiographischen Interpretation der Befunde von der jeweiligen Klinik des/der Patienten*in ab. In der Regel wird bei Lungenembolieverdacht und Zeitreserve zusätzlich eine Computertomographie durchgeführt. Eine Dokumentation der RV-Morphologie und RV-Funktion ist deshalb zwingend erforderlich, um speziell den kurzfristigen Verlauf der RV-Hämodynamik unter Therapie (z. B. Lyse oder interventionellem Verfahren) zu beurteilen, zumal diese relativ einfachen Parameter auch auf der Intensivstation unter eingeschränkten Untersuchungsbedingungen (z. B. Rückenlage, Beatmung) in der Regel gut zu akquirieren sind.

Besondere Aspekte der Notfallechokardiographie bei Thoraxtrauma

Die Contusio cordis (CC) beschreibt eine Komplikation nach stumpfem Thoraxtrauma. Hierbei führen primär abrupte Dezelektionskräfte zu einer myokardialen Kompression zwischen Sternum und Wirbelsäule mit potenziell konsekutiver myokardialer Schädigung [44]. Die klinische Präsentation hierbei ist heterogen. Während ein Großteil der Patienten asymptomatisch bleibt, präsentieren sich andere mit thorakalen Schmerzen, Dyspnoe, Arrhythmien oder Zeichen der akuten Herzinsuffizienz. Das initiale diagnostische Work-up für Patienten mit vermuteter CC beinhaltet die EKG-Dokumentation zur Evaluation von Arrhythmien oder Leitungsstörungen sowie die Bestimmung kardialer Biomarker. Die transthorakale Notfall-echokardiographie stellt das primäre bildgebende Verfahren zur Evaluation struktureller oder funktioneller Veränderungen nach CC dar und sollte insbesondere bei hämodynamischer Instabilität zum Einsatz kommen. Einblutungen in die Herzwände – insbesondere in die freie RV-Wand ventral – lassen sich mittels TTE gut darstellen. Bei unzureichender diagnostischer Qualität wird eine TEE empfohlen [44]. Hierbei wird insbesondere die myokardiale Kontraktilität evaluiert, da die CC mit sowohl global als auch regional eingeschränkter Funktion einhergehen kann. Zudem wird die valvuläre Funktion evaluiert, da Verletzungen am Klappenapparat mögliche Folgen einer CC sind, wie z. B. ein Ab-

riss im Bereich der Klappenhalteapparate der Mitrals- oder Trikuspidalklappe. Die kardiale Tamponade nach myokardialer Verletzung gehört zu den schwerwiegenden Komplikationen mit hoher Letalität nach CC und kann gut echokardiographisch detektiert werden [45]. Einblutungen ins Perikard können echokardiographisch schnell festgestellt werden, wobei zu berücksichtigen ist, dass bereits auch kleine Mengen von Blut im Perikard zu hämodynamisch relevanten Beeinträchtigungen führen können. Aufgrund von zweizeitigen Einblutungen sollten auch seriell TTE-Untersuchungen im Hinblick auf einen Perikarderguss erfolgen.

Notfalldiagnostik bei Komplikationen nichtkardialer chirurgischer Eingriffe

Während bei kardiochirurgischen Eingriffen die Verfügbarkeit einer TEE zum Standard gehört, ist das Management nichtkardialer chirurgischer Eingriffe in der Regel nicht durch eine Echokardiographie begleitet [46]. Die echokardiographische Diagnostik kommt dabei zur Beurteilung plötzlicher Zustandsveränderungen wie bei Tachykardien, Hypotonien, Hypoxien und Bewusstseinsveränderungen als zusätzliche Option zum Tragen. Ein Vorhalten der echokardiographischen Diagnostik ist also bei nicht kardialen chirurgischen Eingriffen als Vorteil für die Patientensicherheit zu betrachten. Da häufig das sterile Feld und die Abdeckung des Patienten eine TTE im operativen Eingriff unmöglich machen, ist auch hier eine TEE zu bevorzugen. Blutung und Volumenmangel lassen sich v. a. durch die Füllung der Herzhöhlen (Vermessung von RV- und LV-Diameter) und der herznahen Venen (atemkollaptische V. cava inferior) im Zusammenhang mit klinischen Befunden und Blutgasanalyse beurteilen.

Ein akuter Myokardinfarkt lässt sich durch charakteristische regionale Kinetikstörungen detektieren und beurteilen. Die Ursache einer akuten Herzinsuffizienz ist ebenfalls durch Klärung des Schockzustandes – z. B. bei akuter Klappenbeeinträchtigung oder bei Takotsubo-Syndrom – oder durch die Beurteilung des rechten Herzens sowie des Perikardraums

mit entsprechenden echokardiographischen Befunden zu klären.

Akute venös-thromboembolische Ereignisse sind oft bei instabilen Patienten im Operationsaal durch eine Beurteilung der Rechtsherzfunktion beurteilbar. Dabei ist primär auf eine Sichtung von Thrombusmaterial in den Pulmonalarterien, im rechten Vorhof oder Ventrikel zu achten. Weiterhin dienen indirekte Zeichen wie RV-Dilatation, Abflachung des Septums („D-Sign“), die Hypokinesie der basalmittigen RV-Wand mit Ausnahme des RV-Apex („McConnell-Zeichen“) zur Diagnosestellung einer akuten Rechtsherzbelastung infolge einer Lungenembolie.

Notfalldiagnostik bei Komplikationen perkutaner Eingriffe

In den letzten Jahren wurden zunehmend Methoden für perkutane Katheterinterventionelle Eingriffe entwickelt. Neben diagnostischen und therapeutischen elektrophysiologischen Eingriffen und klassischen perkutanen Koronarinterventionen (PCI) mit arterieller Gefäßpunktion haben sich in den letzten Jahren die transluminalen nichtkoronaren Interventionen zu einer eigenen Subspezialität entwickelt. Als interventionelle Standardtherapien gelten heute kathetergestützte Aortenklappenimplantationen (TAVI), Atrioventrikular(AV)-Klappenrekonstruktionen sowie Verschlüsse des linken Vorhofohres (LAA), des offenen Foramen ovale (PFO) und bestimmter Vorhof- (ASD) und Ventrikelseptumdefekte (VSD).

Bei diesen komplexen interventionellen Prozeduren spielt die multimodale Bildgebung eine zentrale Rolle bei jedem einzelnen Schritt von der Patientenselektion bis zur Nachsorge. Intraprozedural kommen neben der Fluoroskopie überwiegend echokardiographische Modalitäten zum Einsatz. Zum Ausschluss oder zur Detektion von prozedural bedingten Komplikation wird in Abhängigkeit vom Bewusstseinszustand der Patienten eine TTE oder TEE durchgeführt. Periprozedurale Komplikationen können bei jedem Verfahrensschritt auftreten und umfassen ein weites Spektrum von subtilen Befunden bis hin zu lebensbedrohlichen Komplikationen mit hämodynamischer Instabilität, die zeitnah erkannt und be-

handelt werden müssen. Hierfür ist eine spezielle Ausbildung mit besonderen kognitiven und technischen Fähigkeiten in der Echokardiographie erforderlich [47].

Die Detektion von punktionsfernen Komplikationen an den herznahen großen Gefäßen ist in der Regel eine Domäne der TEE. Eine iatrogene Aortendissektion durch retrograde Sondierung des linken Ventrikels kann durch eine Dissektionsmembran mittels TTE von einem linksparasternalen oder suprasternalen Schallfenster zu erkennen sein. Akzidentelle Luftembolien können im Rahmen von Platzierung, Manipulationen oder Entfernung von Kathetern sowohl venös wie auch arteriell durch die Echokardiographie nachgewiesen werden. Intrakavitäre Luftbläschen („bubbles“) zeigen sich als kleine, helle und schnell bewegende Mikrokavitäten. Thrombenbildungen auf Schleusen, Katheterspitzen oder an kardialen Implantaten („devices“) sind seltene, aber gefährliche Komplikation, die ebenfalls schnell und leicht durch TTE oder TEE detektiert werden können. Weitere echokardiographische Diagnosen betreffen die Migration oder Embolisierung von Implantaten, Perforationen einer freien Vorhof- oder Ventrikelwand oder eine Punktion in die Aortenwurzel im Rahmen einer transeptalen Punktion (TSP).

Zu den prozedurspezifischen, echokardiographisch zu detektierenden Komplikationen bei TAVI gehören die Detektion von paravalvulären Leckagen und valvulären Aortenklappeninsuffizienzen und die Schweregradbestimmung der Ventildefekte bei Herzklappenprothesen. Regurgitationsvolumen im Rahmen einer akuten Aortenklappeninsuffizienz sind in der Regel relevanter als bei einer chronischen Form, da ein hypertrophierter linker Ventrikel sich nicht schnell an eine abrupte Zunahme des enddiastolischen Volumens anpassen kann. Das Auftreten von neuen regionalen Wandbewegungsstörungen korrespondierend zu einem Koronarversorgungsgebiet kann echokardiographisch frühzeitig bei Koronarobstruktionen diagnostiziert werden und ist hinweisend auf eine akute Myokardischämie mit der Notwendigkeit einer sofortigen Therapie. Eine Anulusruptur führt in der Regel zur lebensbedrohlichen hämorrhagischen Perikardtamponade.

Außerdem können Obstruktion des linksventrikulären Ausflusstraktes sowie iatrogene Fisteln (Ventrikelseptumdefekte, Kommunikationen zwischen Aortenwurzel und den rechten Herzhöhlen) detektiert werden. Bei Interventionen an Mitralklappen und Trikuspidalklappen können Verletzungen der Segel oder des Klappenhalteapparates echokardiographisch detektiert werden. Das Auftreten einer iatrogenen Klappenstenose oder eines hämodynamisch relevanten iatrogenen Vorhofseptumdefektes ist im Rahmen einer TSP eher selten, aber Doppler-echokardiographisch schnell und verlässlich beurteilbar.

Notfalldiagnostik bei Perikardergüssen sowie sonographische Vorgehensweise bei Perikardpunktionen

Bei der Diagnostik eines Perikardergusses stellt die Echokardiographie durch ihre flächendeckende Verfügbarkeit sowie schnelle und nichtinvasive Erfassung der Ergussgröße und ihrer hämodynamischen Effekte die Methode der Wahl dar (Klasse I C). Bei guten Schallbedingungen verschaffen die subkostale Schnittebene und der apikale 4-Kammer-Blick einen schnellen Überblick (s. ■ **Abb. 1**). In der parasternalen Achse kann mittels M-Mode die Bestimmung der maximalen enddiastolisch anterior und posterior gemessenen Ergussbreite durchgeführt werden. Zur Abschätzung der hämodynamischen Relevanz eines Perikardergusses werden die typischen Zeichen wie Kompression, diastolischer Kollaps und Tachykardie [6] sowie eine gesteigerte respiratorische Variabilität im transmitralen Doppler-Profil (inspiratorischer Abfall der E-Wellengeschwindigkeit >25%), Zunahme der inspiratorischen trikuspidalen Einstromgeschwindigkeiten >40% und die Stauung der Lebervenen herangezogen.

Eine Perikardtamponade kann akut oder subakut auftreten und ist eine kritische Erkrankung durch eine plötzliche und/oder übermäßige Ansammlung von Flüssigkeit im Perikardraum, die einen pathologisch erhöhten intraperikardialen Druck bedingt. Dadurch wird die diastolische Füllung der Herzkammern durch Verminderung des venösen Rückstroms zum rechten Herz eingeschränkt, was zu

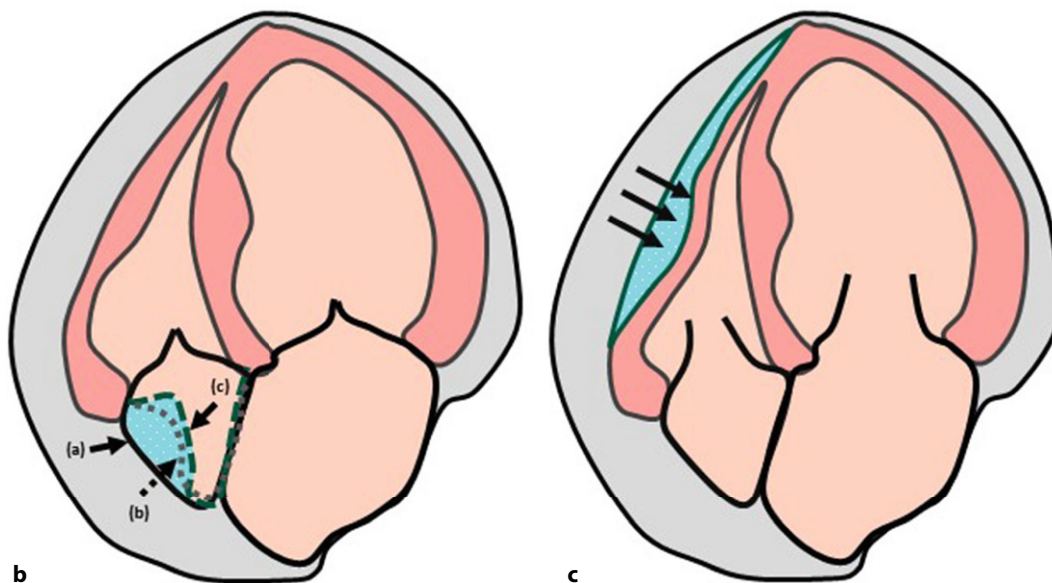
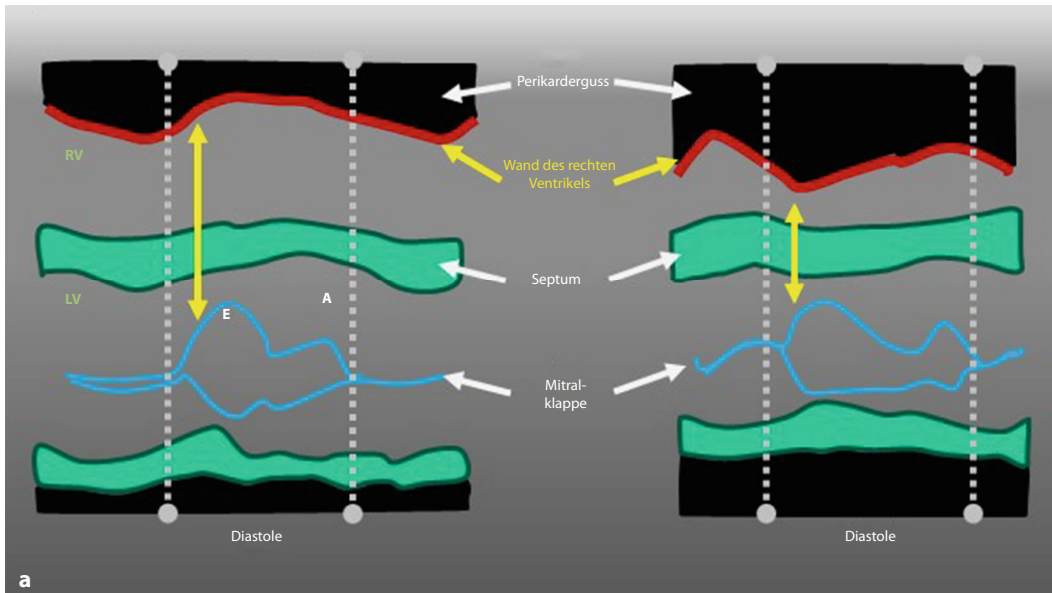


Abb. 8 ▲ Illustration zu echokardiographischen Zeichen einer hämodynamischen Relevanz eines Perikardergusses: **a** Schema eines M-Modus durch den rechten Ventrikel und beide Mitralsegel bei diastolischer Kompression des rechten Ventrikels im Rahmen eines Perikardergusses. *Links*: Perikarderguss (*schwarz*) ohne diastolischen rechtsventrikulären Kollaps. Frühdiastolisch bewegen sich vorderes Mitralsegel und die Wand des rechten Ventrikels auf den Schallkopf zu. *Rechts*: Perikarderguss mit rechtsventrikulärem diastolischem Kollaps: vorderes Segel und RV-Wand bewegen sich frühdiastolisch aufeinander zu (*gelber Pfeil*); **b** Perikarderguss mit beginnender hämodynamischer Relevanz (*a*) mitteldiastolische Kontur des rechten Vorhofs, (*b*) die Kompression des rechten Vorhofs beginnt unmittelbar mit der rechtsatrialen Systole (Beginn p-Welle), die *gepunktete Linie* begrenzt den Vorhof spät-diastolisch zu Beginn der R-Zacke, (*c*) die rechtsatriale Kompression erreicht mittelsystolisch ihr Maximum vor Beginn der T-Welle (*gestrichelte Linie*); **c** Perikarderguss mit zunehmender hämodynamischer Relevanz, mit steigendem intraperikardialen Druck kommt es zur Kompression des rechten Ventrikels in der Diastole

einer Abnahme des Schlagvolumens mit konsekutiver Hypotonie führt. Als diagnostische Sofortmaßnahme dient die schnelle Echokardiographie zum Nachweis des hämodynamisch relevanten Perikardergusses. Die für eine Tamponade erforderliche Menge an Flüssigkeit hängt maßgeblich von der Entstehungsgeschwindigkeit des

Ergusses ab. Aufgrund der nicht linearen Dehnbarkeit des Perikards kann ein akut entstehender Erguss bereits bei geringen Mengen eine Tamponade verursachen, während große Ergüsse, die sich über einen längeren Zeitraum bilden und von einer Dehnung des Perikards begleitet werden, dann oft keine oder nur geringe

Symptome verursachen. Die **Abb. 8** illustriert die echokardiographischen Zeichen der zunehmenden hämodynamischen Relevanz eines Perikardergusses. Das Frühzeichen einer Tamponade entspricht dem systolischen RA-Kollaps, der am besten im fokussierten 4-Kammer-Blick des RVIT (right ventricular inflow tract) zu

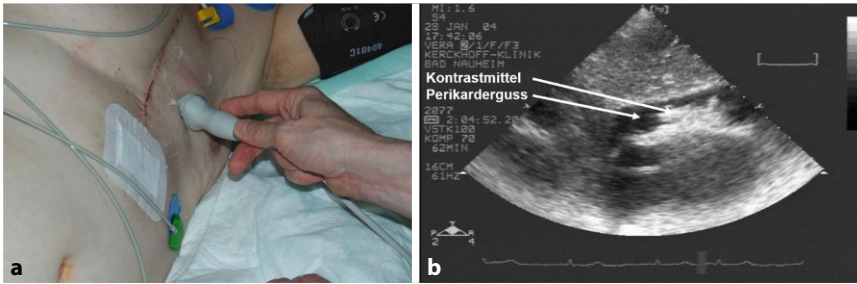


Abb. 9 ▲ Aufsuchen einer paraapikalen Punktionsstelle bei einem Patienten in Linksseitenlage bei der Planung vor der Desinfektion (a) sowie Kontrastierung des Perikardergusses nach Injektion von agitierter Kochsalzlösung (b) zur Lagekontrolle der Perikardiozentesenadel (subkostale Anlotung)

dokumentieren ist. Das Spätzeichen der Tamponade ist dann der diastolische RV-Kollaps, der sowohl im 2-D-Bild eines apikalen oder subkostalen 4-Kammer-Blickes als auch im M-Mode gut darzustellen ist. Zusätzlich ist die V. cava inferior gestaut und zeigt keine Atemvariabilität. Bei geringerer hämodynamischer Relevanz findet sich in der Regel eine gesteigerte und reziproke respiratorische Variabilität der gepulsten (pw) Doppler-Einstromsignale in die rechten und linken Herzhöhlen [48].

Die Behandlung einer lebensbedrohlichen Perikardtamponade unterscheidet sich je nach individueller Pathologie sowohl hinsichtlich der Technik einer perkutanen Perikardpunktion, der möglichen Antagonisierung von verabreichten Antikoagulanzen, der Durchführung einer möglichen Autotransfusion, der Indikationsstellung für eine offene chirurgische Drainage und des weiteren postprozeduralen Managements.

Eine echokardiographisch gesteuerte Perikardpunktion ist prinzipiell eine sichere und einfache Technik. Zunächst erfolgt die Auswahl einer geeigneten Punktionsstelle direkt über der größten Flüssigkeitsansammlung und geringsten Distanz zur Hautoberfläche ohne interponierte vitale Strukturen mit sonographischer Darstellung der optimalen Punktionsrichtung. Eine paraapikale Position im Bereich der linken Thoraxseite bei Linksseitenlage des Patienten ist in der Regel besser geeignet als ein subkostaler Zugang in Rückenlage aufgrund der hohen erforderlichen Eindringtiefe sowie der in Punktionsrichtung liegenden Leberkapsel. Ein Bereich ca. 3–5 cm lateral der Sternallinie sollte wegen des Verlaufes der A. mammaria interna gemieden

werden, deren Lokalisation mit einem Hochfrequenzultraschallkopf zudem dargestellt werden kann. Die Planung der Punktion muss in der gleichen Patientenposition erfolgen, in der anschließend die Punktion erfolgt. Nach Markierung der Punktionsstelle und einer großflächigen Desinfektion wird dieser Bereich steril abgedeckt. Nach ausreichender Lokalanästhesie erfolgt die eigentliche Punktion mit einer Parazentesenadel am Rippenoberrand durch den vorherigen Stichkanal in Seldinger-Technik. Da sich die Nadelspitze echokardiographisch nicht sicher erkennen lässt, kann deren korrekte Lage im Perikardraum indirekt mittels Kontrastechokardiographie durch Injektion einer geringen Menge von agierter physiologischer Kochsalzlösung von einem entfernten Schallfenster aus verifiziert werden (s. ▣ Abb. 9). Bei einer Fehlpunktion erscheint das Kontrastmittel entweder in den rechten Herzhöhlen oder es findet sich keine intrakardiale Kontrastierung wie bei einer Punktion der Pleurahöhle. Bei einer korrekten Lage der Punktionsnadel im Perikardraum wird ein Pigtail-Katheter eingeführt. Die Abnahme des Ergusses kann echokardiographisch von einem punktionsfernen Schallfenster in Echtzeit verfolgt werden. Zu den möglichen echokardiographisch zu detektierenden Komplikationen einer Perikardpunktion gehören ein Pneumothorax, ein Hämatothorax durch akzidentelle Gefäßverletzungen sowie eine akzidentelle Punktion der Herzhöhlen.

Während eine Perikardpunktion bei Perikardtamponade in der Regel die Hämodynamik akut verbessert, ist die Entlastung eines Hämatothorax infolge einer Aor-

tendissektion Typ A mit retrograder Ruptur in den Perikardraum eher unvorteilhaft.

Zusammenfassung

Im Notfall ist eine schnelle Diagnostik zur Detektion der zugrunde liegenden Erkrankungen und der damit verbundenen Möglichkeit zur schnellen Therapieeinleitung von zentraler Bedeutung. Dies gilt besonders für die Notfallechokardiographie im kardiologischen Notfall, da zum einen unter ungünstigen Untersuchungsbedingungen in kürzester Zeit und bisweilen mit nicht den besten Ultraschallgeräten gearbeitet werden muss, und zum anderen oft schwierige und seltene Diagnosen gestellt werden müssen. Diese Konstellation stellt hohe Anforderungen an die Expertise der Untersucher und an das Training der dazu notwendigen praktischen Fertigkeiten [21]. Zudem sind im kardiovaskulären Notfall nicht nur echokardiographische Befunde, sondern auch sonographische Befunde von Lunge sowie großen Gefäßen zu erheben, was in aktuellen Empfehlungen zum Ausdruck kommt [21]. Die Beurteilung der venösen Kongestion spielt zunehmend bei der Klärung von Schockzuständen eine Rolle [9]. In der vorliegenden Arbeit sollte in Ergänzung zu den bestehenden Empfehlungen zur Notfallechokardiographie [1] auf wesentliche wichtige Themen fokussiert werden. **Somit ist dieses Update weniger als eine Neuauflage der bisherigen Inhalte, sondern als eine Fokussierung auf besondere aktuelle Aspekte anzusehen.** Die echokardiographische Darstellung der wesentlichen kardialen Strukturen und ihrer Funktion – die Mitralklappe, das interatriale Septum, die Aortenklappe, die Aortenwurzel, die proximale tubuläre Aorta ascendens und der Aortenbogen, der rechte Ventrikel, die Einmündung der unteren Hohlvene ins rechte Atrium und der Perikardraum – bildet weiterhin die Grundlage der Notfallechokardiographie, um kardiale Diagnosen zu sichern und wichtige Diagnosen nicht zu übersehen. Damit sollte eine Notfallechokardiographie diese kardialen Strukturen in repräsentativen Bildsequenzen erfassen, die aufgrund der Ausnahmesituation jedoch nicht standardisiert erfolgen müssen. Die wesentlichen Erkrankungen von kardialen Notfallsitua-

tionen – Herzinfarkt, Herzinsuffizienz und Schock, Endokarditis und akute Herzklappenfehler, Lungenembolie, Aortendissektion, Perikardtamponade und Thoraxtrauma – müssen daher auch bei vorheriger Unkenntnis der Diagnose durch einen strukturierten Ablauf der Notfallechokardiographie mit hoher Treffsicherheit detektiert werden können.

Ein besonderer Fokus wurde auf Hygienemaßnahmen im Notfall und moderne Methoden gelegt. Die 3-D-Echokardiographie hilft durch Nachbearbeitungsmöglichkeit von gerade im Notfall nicht standardisiert akquirierten Datensätzen zur besseren Analyse von kardialer Morphologie und Funktion. Ebenso ermöglicht das Deformations-Imaging eine Objektivierung regionaler Kinetikstörungen, wodurch die Detektion von Infarkten vereinfacht wird. Somit sollten nach Möglichkeit moderne Techniken neben der TEE und Kontrastechokardiographie im Notfall zur Verfügung stehen. Weiterhin stellen portable Ultraschallgeräte grundsätzlich eine Bereicherung der echokardiographischen Notfalldiagnostik dar, auch wenn diese im Hinblick auf Dokumentations- und Speichermodalitäten limitiert sind. Spezielle Untersuchungsmodalitäten der Notfallechokardiographie wie der Lungenscans und die Sonographie der venösen Gefäße, aber auch Einsatzbereiche der Echokardiographie beim Perikarderguss und Perikardpunktion, bei Contusio cordis sowie bei temporären und permanenten Herzersatzsystemen nehmen aufgrund ihrer zunehmenden Bedeutung einen zentralen Raum in diesem Manuskript ein.

Letztlich muss auch in der Notfallechokardiographie eine Befundung erfolgen, die neben der Beschreibung der kardialen Gegebenheiten auch Informationen zu Untersucher und Geräteausstattung, Zeit und Ort sowie Basisdaten zum Patienten beinhalten sollte [6]. Um generell die Notfallechokardiographie zu verbessern, muss Zeit für eine fundierte Ausbildung gewährt werden.

Korrespondenzadresse



Prof. Dr. Andreas Hagendorff

Klinik und Poliklinik für Kardiologie,
Universitätsklinikum Leipzig AöR
Liebigstr. 20, 04103 Leipzig, Deutschland
andreas.hagendorff@medizin.uni-leipzig.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

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

Für diesen Beitrag wurden von den Autor/-innen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

- Hagendorff A, Tiemann K, Simonis G et al (2014) Empfehlungen zur Notfallechokardiographie. *Kardiologie* 8:45–64. <https://doi.org/10.1007/s12181-013-0531-2>
- 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. <https://doi.org/10.1093/ejehocardi/jen174>
- Tanner FC, Brooks N, Fox KF et al (2020) ESC Core Curriculum for the Cardiologist. *Eur Heart J* 41:3605–3692. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa641>
- Galusko V, Bodger O, Ionescu A (2018) A systematic review of pocket-sized imaging devices: small and mighty? *Echo Res Pract* 5:113–138. <https://doi.org/10.1530/ERP-18-0030>
- (Muster-)Berufsordnung für die in Deutschland tätigen Ärztinnen und Ärzte – MBO-Ä 1997 –*) in der Fassung des Beschlusses des 124. Deutschen Ärztetages vom 5. Mai 2021 in Berlin, Deutsches Ärzteblatt | Jg. 118 | Heft 23 | 11. Juni 2021, https://doi.org/10.3238/arztebl.2021.mbo_daet2021
- Hagendorff A, Fehske W, Flachskampf FA et al (2020) Manual zur Indikation und Durchführung der Echokardiographie – Update 2020 der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie. *Kardiologie* 14:396–431. <https://doi.org/10.1007/s12181-020-00402-3>
- Rocca E, Zanza C, Longhitano Y et al (2023) Lung Ultrasound in Critical Care and Emergency Medi-

- cine: *Clinical Review. Adv Respir Med* 91:203–223. <https://doi.org/10.3390/arm91030017>
- Beaubien-Souligny W, Rola P, Haycock K et al (2020) Quantifying systemic congestion with Point-Of-Care ultrasound: development of the venous excess ultrasound grading system. *Ultrasound J* 12:16. <https://doi.org/10.1186/s13089-020-00163-w>
- Rola P, Miralles-Aguilar F, Argaiz E et al (2021) Clinical applications of the venous excess ultrasound (VExUS) score: conceptual review and case series. *Ultrasound J* 13:32. <https://doi.org/10.1186/s13089-021-00232-8>
- Torres-Arrese M, Mata-Martinez A, Luordo-Tedesco D et al (2023) Usefulness of Systemic Venous Ultrasound Protocols in the Prognosis of Heart Failure Patients: Results from a Prospective Multicentric Study. *JCM* 12:1281. <https://doi.org/10.3390/jcm12041281>
- Popescu BA, Stefanidis A, Nihoyannopoulos P et al (2014) Updated standards and processes for accreditation of echocardiographic laboratories from The European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart Journal—cardiovascular Imaging* 15:717–727. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu039>
- Buerke M, Janssens U, Prondzinsky R et al (2021) Curriculum Kardiovaskuläre Intensiv- und Notfallmedizin (K-IN): Arbeitsgruppe und Task Force Kardiovaskuläre Intensiv- und Notfallmedizin der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung e.V., Düsseldorf (DGK). *Kardiologie* 15:585–594. <https://doi.org/10.1007/s12181-021-00505-5>
- John S, Riessen R, Karagiannidis C et al (2021) Curriculum Internistische Intensivmedizin. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 116:1–45. <https://doi.org/10.1007/s00063-020-00765-1>
- Parker BK, Salerno A, Euerle BD (2019) The Use of Transesophageal Echocardiography During Cardiac Arrest Resuscitation: A Literature Review. *J Ultrasound Med* 38:1141–1151. <https://doi.org/10.1002/jum.14794>
- Habib G, Lancellotti P, Antunes MJ et al (2015) 2015 ESC Guidelines for the management of infective endocarditis: The Task Force for the Management of Infective Endocarditis of the European Society of Cardiology (ESC). Endorsed by: European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS), the European Association of Nuclear Medicine (EANM). *Eur Heart J* 36:3075–3128. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv319>
- 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. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehp505>
- Wei K (2010) Utility contrast echocardiography in the emergency department. *JACC Cardiovasc Imaging* 3:197–203. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2009.09.019>
- Lang RM, Badano LP, Tsang W et al (2012) EAE/ASE Recommendations for Image Acquisition and Display Using Three-Dimensional Echocardiography. *Eur Heart Journal—cardiovascular Imaging* 13:1–46. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jer316>
- Faletra FF, Agricola E, Flachskampf FA et al (2023) Three-dimensional transoesophageal echocardiography: how to use and when to use—a clinical consensus statement from the European Association of Cardiovascular Imaging of the European Society of Cardiology. *Eur Heart Journal—cardiovascular Imaging* 24:e119–e197. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jead090>

20. Voigt J-U, Cvijic M (2019) 2- and 3-Dimensional Myocardial Strain in Cardiac Health and Disease. *JACC Cardiovasc Imaging* 12:1849–1863. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2019.01.044>
21. Neskovic AN, Hagendorff A, Lancellotti P et al (2013) Emergency echocardiography: the European Association of Cardiovascular Imaging recommendations. *Eur Heart Journal—cardiovascular Imaging* 14:1–11. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jes193>
22. Kremer T, Rowan NJ, McDonnell G (2023) A proposed cleaning classification system for reusable medical devices to complement the Spaulding classification. *J Hosp Infect.* <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2023.11.018> (S0195670123003936)
23. -Guideline for Ultrasound Transducer Cleaning and Disinfection. *Ann Emerg Med* 72:e45–e47. <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2018.07.035>
24. Demi L, Wolfram F, Klersy C et al (2023) New International Guidelines and Consensus on the Use of Lung Ultrasound. *J Ultrasound Med* 42:309–344. <https://doi.org/10.1002/jum.16088>
25. Zhang M, Liu Z-H, Yang J-X et al (2006) Rapid detection of pneumothorax by ultrasonography in patients with multiple trauma. *Crit Care* 10:R112. <https://doi.org/10.1186/cc5004>
26. Chiu L, Jairam MP, Chow Retal (2022) Meta-Analysis of Point-of-Care Lung Ultrasonography Versus Chest Radiography in Adults With Symptoms of Acute Decompensated Heart Failure. *Am J Cardiol* 174:89–95. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2022.03.022>
27. Tavazzi G, Spiegel R, Rola P et al (2023) Multiorgan evaluation of perfusion and congestion using ultrasound in patients with shock. *Eur Heart Journal: Acute Cardiovasc Care* 12:344–352. <https://doi.org/10.1093/ehjacc/zuad025>
28. Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M et al (2012) International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med* 38:577–591. <https://doi.org/10.1007/s00134-012-2513-4>
29. Scagliola R, Brunelli C (2022) Venous Congestion and Systemic Hypoperfusion in Cardiorenal Syndrome: Two Sides of the Same Coin. *Rev Cardiovasc Med* 23:111. <https://doi.org/10.31083/j.rcm2303111>
30. Nijst P, Martens P, Dupont M et al (2017) Intrarenal Flow Alterations During Transition From Euvolemia to Intravascular Volume Expansion in Heart Failure Patients. *JACC Heart Fail* 5:672–681. <https://doi.org/10.1016/j.jchf.2017.05.006>
31. Argaiz ER, Rola P, Gamba G (2021) Dynamic Changes in Portal Vein Flow during Decongestion in Patients with Heart Failure and Cardio-Renal Syndrome: A POCUS Case Series. *Cardiorenal Med* 11:59–66. <https://doi.org/10.1159/000511714>
32. Soliman-Aboumarie H, Denault AY (2023) How to assess systemic venous congestion with point of care ultrasound. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 24:177–180. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeac239>
33. Zhang Z (2017) Echocardiography for patients undergoing extracorporeal cardiopulmonary resuscitation: a primer for intensive care physicians. *J Intensive Care* 5:15. <https://doi.org/10.1186/s40560-017-0211-6>
34. Durila M (2018) Reversible causes of cardiac arrest 4 “Ts” and 4 “Hs” can be easily diagnosed and remembered following general ABC rule, Motol University Hospital approach. *Resuscitation* 126:e7. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.03.013>

Manual on emergency echocardiography from the perspective of cardiologists, acute and emergency physicians—Update 2024

In emergency cases rapid echocardiographic diagnostics are of central importance to detect or rule out cardiac disease and the associated possibility of rapid initiation of treatment. In cardiovascular emergencies not only echocardiographic findings but also sonographic findings of the lungs and large vessels should be obtained. In addition to the existing recommendations on emergency echocardiography from 2013, this update is less a new edition of the previous content than a focus on current aspects. Echocardiographic imaging of the essential cardiac structures and their function continue to form the basis of emergency echocardiography. These cardiac structures should be captured in representative image sequences which, however, do not have to be standardized due to the exceptional situation. Areas of application of echocardiography in pericardial effusion including pericardial puncture, contusio cordis and cardiac replacement systems are discussed in detail due to their increasing importance, with a particular focus on hygiene measures and the use of modern echocardiographic methods in emergency situations. Furthermore, portable ultrasound devices fundamentally enrich echocardiographic emergency diagnostics, even if they are limited in terms of documentation and storage modalities. Ultimately, emergency echocardiography also requires a report that should include a description of the cardiac conditions as well as information on the examiner and equipment, time and location and basic data on the patient. In order to improve emergency echocardiography in general, time must be allowed for thorough training.

Keywords

Acute and chronic heart failure · Cardiomyopathy · Valvular heart disease · Pericardial disease · Pulmonary embolism

35. Ahn HJ, Lee JW, Joo KH et al (2018) Point-of-Care Ultrasound-Guided Percutaneous Cannulation of Extracorporeal Membrane Oxygenation: Make it Simple. *J Emerg Med* 54:507–513. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2017.12.013>
36. Flower L, Olusanya O, Madhivathanan PR (2021) The use of critical care echocardiography in peri-arrest and cardiac arrest scenarios: Pros, cons and what the future holds. *J Intensive Care Soc* 22:230–240. <https://doi.org/10.1177/1751143720936998>
37. Douflé G, Roscoe A, Billia F, Fan E (2015) Echocardiography for adult patients supported with extracorporeal membrane oxygenation. *Crit Care* 19:326. <https://doi.org/10.1186/s13054-015-1042-2>
38. Sciacaluga C, Soliman-Aboumarie H, Sisti N et al (2022) Echocardiography for left ventricular assist device implantation and evaluation: an indispensable tool. *Heart Fail Rev* 27:891–902. <https://doi.org/10.1007/s10741-021-10073-1>
39. Mehra MR, Naka Y, Uriel N et al (2017) A Fully Magnetically Levitated Circulatory Pump for Advanced Heart Failure. *N Engl J Med* 376:440–450. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1610426>
40. Delgado V, Ajmone Marsan N, De Waha S et al (2023) 2023 ESC Guidelines for the management of endocarditis. *Eur Heart J* 44:3948–4042. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehad193>
41. Fowler VG, Durack DT, Selton-Suty C et al (2023) The 2023 Duke-International Society for Cardiovascular Infectious Diseases Criteria for Infective Endocarditis: Updating the Modified Duke Criteria. *Clin Infect Dis* 77:518–526. <https://doi.org/10.1093/cid/ciad271>
42. Pare JR, Liu R, Moore CL et al (2016) Emergency physician focused cardiac ultrasound improves diagnosis of ascending aortic dissection. *Am J Emerg Med* 34:486–492. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2015.12.005>
43. Felix ADS, Melo MDTD, Monteiro TS et al (2022) A New Kid on the Block in POCUS: “LISA. *Int J Cardiovasc Sci.* <https://doi.org/10.36660/ijcs.20210285>
44. Kyriazidis IP, Jakob DA, Vargas JAH et al (2023) Accuracy of diagnostic tests in cardiac injury after blunt chest trauma: a systematic review and meta-analysis. *World J Emerg Surg* 18:36. <https://doi.org/10.1186/s13017-023-00504-9>
45. Nair L, Winkle B, Senanayake E (2023) Managing blunt cardiac injury. *J Cardiothorac Surg* 18:71. <https://doi.org/10.1186/s13019-023-02146-z>
46. Halvorsen S, Mehilli J, Cassese S et al (2022) 2022 ESC Guidelines on cardiovascular assessment and management of patients undergoing non-cardiac surgery. *Eur Heart J* 43:3826–3924. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehac270>
47. Rudolph V, Von Bardeleben RS, Hagendorff A et al (2022) Sachkunde Interventionelle Echokardiographie. *Kardiologie* 16:391–400. <https://doi.org/10.1007/s12181-022-00567-z>
48. Tsang TSM, Oh JK, Seward JB (1999) Diagnosis and management of cardiac tamponade in the era of echocardiography. *Clin Cardiol* 22:446–452. <https://doi.org/10.1002/clc.4960220703>

Hinweis des Verlags. Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.