

# Journal für Kardiologie

Austrian Journal of Cardiology

Österreichische Zeitschrift für Herz-Kreislaferkrankungen

## Echokardiographie: Stellenwert und Anwendungen in der Kardiologie

Bergler-Klein J, Glaser F

Bartko P, Binder T

*Journal für Kardiologie - Austrian*

*Journal of Cardiology 2013; 20*

*(3-4), 86-103*

Homepage:

[www.kup.at/kardiologie](http://www.kup.at/kardiologie)

Online-Datenbank  
mit Autoren-  
und Stichwortsuche



Offizielles  
Partnerjournal der ÖKG



Member of the ESC-Editor's Club



Offizielles Organ des  
Österreichischen Herzfonds



**ACVC**  
Association for  
Acute CardioVascular Care

In Kooperation  
mit der ACVC

Indexed in ESCI  
part of Web of Science

Indexed in EMBASE

**Datenschutz:**

Ihre Daten unterliegen dem Datenschutzgesetz und werden nicht an Dritte weitergegeben. Die Daten werden vom Verlag ausschließlich für den Versand der PDF-Files des Journals für Kardiologie und eventueller weiterer Informationen das Journal betreffend genutzt.

**Lieferung:**

Die Lieferung umfasst die jeweils aktuelle Ausgabe des Journals für Kardiologie. Sie werden per E-Mail informiert, durch Klick auf den gesendeten Link erhalten Sie die komplette Ausgabe als PDF (Umfang ca. 5–10 MB). Außerhalb dieses Angebots ist keine Lieferung möglich.

**Abbestellen:**

Das Gratis-Online-Abonnement kann jederzeit per Mausklick wieder abbestellt werden. In jeder Benachrichtigung finden Sie die Information, wie das Abo abbestellt werden kann.

Das e-Journal

**Journal für Kardiologie**

- ✓ steht als PDF-Datei (ca. 5–10 MB) stets internetunabhängig zur Verfügung
- ✓ kann bei geringem Platzaufwand gespeichert werden
- ✓ ist jederzeit abrufbar
- ✓ bietet einen direkten, ortsunabhängigen Zugriff
- ✓ ist funktionsfähig auf Tablets, iPads und den meisten marktüblichen e-Book-Readern
- ✓ ist leicht im Volltext durchsuchbar
- ✓ umfasst neben Texten und Bildern ggf. auch eingebettete Videosequenzen.

# Echokardiographie: Stellenwert und Anwendungen in der Kardiologie

A11234  
Softlink

J. Bergler-Klein<sup>1</sup>, F. Glaser<sup>2</sup>, P. Bartko<sup>1</sup>, T. Binder<sup>1</sup>

**Kurzfassung:** In der modernen Kardiologie ist die Echokardiographie heute nicht mehr wegzudenken und nimmt eine Schlüsselrolle in Diagnostik, Screening und Behandlung von akuten und chronischen kardiovaskulären Erkrankungen ein. Als nicht-invasive Untersuchung ist sie jederzeit durchführbar, erfordert allerdings eine exakte Ausbildung, Erfahrung und entsprechende Gerätestruktur, um hochqualitative Befunde zu erbringen. Zusätzlich ermöglicht die zunehmende Mobilität der Echokardiographie-Geräte eine rasche Diagnosehilfe direkt am Krankenbett, und ist auch bei Notfällen, auf Intensivstationen oder im Herzkatheterlabor bei Eingriffen schnell einsetzbar.

Die häufigsten klinischen Indikationen zur Echokardiographie sind Verdacht auf Herzinsuffizienz bei unklarer Dyspnoe, Frage nach Ventrikel-funktion, unklares Herzgeräusch, Verdacht auf Infarkt – akut oder abgelaufen mit Wandbewegungsstörungen, Verdacht auf Endokarditis, kardiogene Embolie oder Perikarderguss, sowie Ver-

laufsbeobachtung bei bekanntem Vitium oder Klappenprothese.

Die Echokardiographie kommt bei allen bildgebenden Fragestellungen mit Ausnahme der morphologischen Darstellung von Kranzgefäßen zur Anwendung und ist daher die bildgebende Methode mit dem breitesten klinischen Anwendungsgebiet.

**Schlüsselwörter:** Echokardiographie, Kardiologie

**Abstract: Echocardiography: Clinical Applications and Relevance in Cardiology.** In modern cardiology, echocardiography is an essential tool for diagnosis, screening and treatment of acute and chronic cardiovascular diseases. Because of its non-invasive nature, this examination method can be carried out at any time, but requires exact training, experience and

appropriate laboratory infrastructure. Additionally, the increased mobility of echocardiographic systems allows for direct and quick bedside diagnosis and is also rapidly available in the intensive care unit, emergency departments, and the catheterization lab during interventions.

The most common clinical indications for echocardiography are suspected heart failure in patients presenting with unexplained dyspnea, assessment of ventricular function, cardiac murmurs, suspected acute or remote myocardial infarction with regional wall motion abnormalities, suspected endocarditis, cardiogenic embolism, pericardial effusion as well as monitoring of known valve disease or valve prosthesis.

Echocardiography is used for all imaging tasks with the exception of morphological imaging of coronary vessels and therefore is the imaging modality with the broadest range of application.

**J Kardiol 2013; 20 (3–4): 86–103.**

**Key words:** echocardiography, cardiology

## ■ Physikalische Grundlagen der Echokardiographie

Das Prinzip der Echokardiographie besteht in der Analyse reflektierter Schallwellen. Mittels eines Schallkopfes (Transducer) aus piezoelektrischen Kristallen werden durch elektrische Impulse gepulste Schallwellenpakete über die Zeiteinheit erzeugt (Pulsrepetitionsfrequenz). Die übliche Ultraschallfrequenz der Erwachsenen-2D-Echokardiographie liegt bei 2,5 MHz, in der transösophagealen Echokardiographie bei 5 MHz, intravaskulärer Ultraschall bei 20–45 MHz. Je höher die Frequenz, desto höher die Schallabschwächung durch Umwandlung in Wärme und desto niedriger die Eindringtiefe, bei jedoch höherer Auflösung.

Das älteste Echoverfahren ist der M-Mode (Motion), wobei „eindimensional“ ein einziger Schallstrahl mit hoher Pulsrepetitionsfrequenz und hoher zeitlicher Auflösung erzeugt wird. Heute werden für das übliche zweidimensionale Verfahren vor allem Phased-Array-Schallwandler mit 128–256 Einzelkristallen verwendet. Hierdurch wird ein sektorförmiger, tomographischer Bildausschnitt des Herzens erzeugt. In der Echokardiographie können die Herzkammern rasch und einfach in ihrer Größe und Funktion vermessen werden [1].

Dopplerfrequenzverschiebung (Doppler-Effekt) wird für die Messung von Blutflussgeschwindigkeiten z. B. zur Beurteilung von Herzklappenfunktion ausgenutzt. Mittels kontinuierlichem Doppler („continuous wave“, CW) wird ein linearer Ultraschallstrahl gezielt durch das Herz gelegt (Frequenz 1,8–2 MHz). Entlang des Strahls werden alle Geschwindigkeiten registriert, eine genaue Lokalisation der gemessenen Flussgeschwindigkeiten ist jedoch nicht möglich. Der CW-Doppler wird für die Erfassung hoher Geschwindigkeiten (klassisches Beispiel Aortenstenose-Jet) verwendet. Der gepulste Doppler („pulsed wave“, PW) ermöglicht die räumliche Zuordnung der gemessenen Geschwindigkeit in einem bestimmten Bereich („sample volume“), wobei eine begrenzte obere Grenzgeschwindigkeit besteht (Nyquist-Geschwindigkeit, Aliasing). Diese nimmt mit zunehmender Tiefe ab (z. B. ab 8 cm Eindringtiefe, Geschwindigkeit > 2 m/s nicht mehr eindeutig messbar).

Über die modifizierte Bernoulli-Gleichung kann mittels der gemessenen Dopplergeschwindigkeit der Druckgradient über einer Stenose oder über einen Shunt mit hoher Genauigkeit berechnet werden.

Der Farbdoppler stellt prinzipiell ein gepulstes Dopplerverfahren dar, wobei simultan zahlreiche kleine Messzellen über das 2D-Bild gelegt werden, und die räumliche Verteilung der Geschwindigkeiten in Echtzeit in Farbtönen dargestellt wird. Hohe Geschwindigkeiten führen ebenso zum Aliasing-Phänomen, turbulente schnelle Strömungen zum Mosaikmuster (z. B. bei Klappenstenosen). Die Bildrate des Farbdopplers liegt niedriger als die des 2D-Bildes und ist umgekehrt proportional zur Breite des Farbsektors, der Eindringtiefe und der Auflösung.

Eingelangt und angenommen am 14. Dezember 2012.

Aus der <sup>1</sup>Abteilung für Kardiologie, Universitätsklinik für Innere Medizin II, Wien und der <sup>2</sup>Abteilung für Innere Medizin, Landeskrankenhaus Krems

**Korrespondenzadresse:** Univ.-Prof. Dr. Jutta Bergler-Klein, Abteilung für Kardiologie, Universitätsklinik für Innere Medizin II, Medizinische Universität Wien, A-1090 Wien, Währinger Gürtel 18–20; E-Mail: jutta.bergler-klein@meduniwien.ac.at

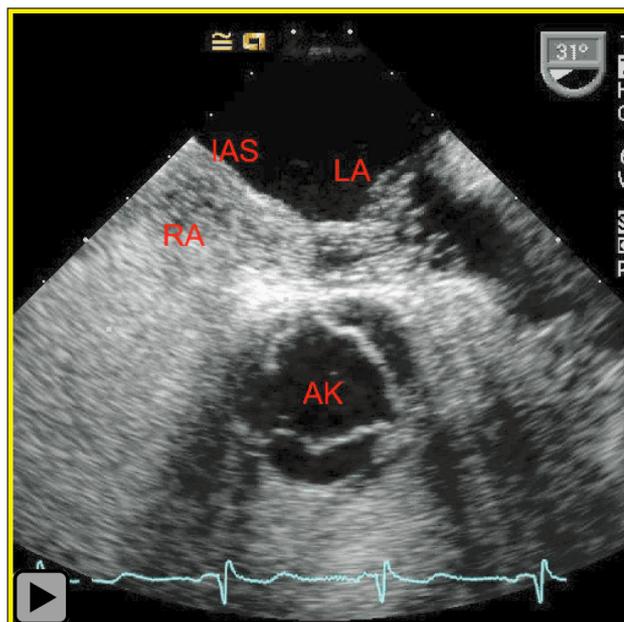
Eine neuere Technik stellt der Tissue-Doppler (Gewebe-Doppler) dar, welcher regionale Geschwindigkeiten der myokardialen Strukturen bezogen auf den Schallkopf misst (etwa 0–15 cm/s). Hierbei ist eine Darstellung als spektraler Doppler oder als Farbdoppler möglich. Aus der Gewebsverformung lassen sich prozentuale Elongation und Verkürzung des Myokards herleiten, z. B. in longitudinaler Richtung. Eine neue technische Analyseverfahren aus den 2D-Myokardreflexionsmustern, „Speckle tracking“, kann dopplerunabhängig, somit auch winkelnunabhängig, die Deformation des Myokards: „Strain“, und über die Zeit: „Strain Rate“, als Maß der Ventrikelfunktion erfassen (s. Abschnitt unten).

Neue Verfahren zur plastischeren Darstellung sind die 3D-Rekonstruktion (aus 2D-Bildern in Schnittebenen zu einem Datensatz gewonnen) und die Echtzeit-3D-Echokardiographie (kegelförmiges Volumen in Echtzeit mittels Matrix-Array-Schallkopf). Hierdurch ergeben sich neue Einblicke in der Darstellung (z. B. Mitralklappe aus der Perspektive des linken Vorhofs aus der direkten „chirurgischen Sicht“). Die neue 3D-Echokardiographie ermöglicht v. a. genaue Volumen- und Massenbestimmungen von kardialen Strukturen (z. B. Volumina des linken Ventrikels mit Ejektionsfraktion) [2]. Bildqualität und Kostenintensität der Geräte erlauben derzeit noch nicht den breiten klinischen Alltagseinsatz. Die Methodik wird jedoch zunehmend bei speziellen Fragestellungen, insbesondere bei invasiven Techniken – z. B. herzkatheterinterventionelle Verfahren, oder vor Herzklappenrekonstruktionen angewendet [3].

## ■ Die echokardiographische Untersuchung

Die „Standarduntersuchung“ ist die transthorakale Echokardiographie unter Ausnutzung verschiedener „Schallfenster“, die eine exakte und standardisierte tomographische Darstellung der einzelnen Herzabschnitte in „Echtzeit“, sowie mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung erlauben. Neben dieser anatomischen Information wird unter Ausnutzung der verschiedenen Doppler- und Gewebedopplermodalitäten auch eine funktionelle und hämodynamische Evaluierung durchgeführt. So wird bei einfachen Fragestellungen ein Standardbefund erhoben, der über Struktur, Dimension und Funktion der Ventrikel, Atrien, Klappen, der ascendierenden Aorta, den systolischen Pulmonalarteriendruck sowie über den links- und rechtsventrikulären Füllungsdruck informiert. Bei mehr als 95 % der Patienten liegt eine ausreichend gute „Schallbarkeit“ vor, bei einigen Patienten ist aufgrund schlechter Lagerbarkeit, Verbänden, Emphysemüberlagerung etc. die transthorakale Untersuchung in ausreichender Qualität nicht durchführbar. Die Echokardiographie ist untersucher- und erfahrungsabhängig, es handelt sich um eine dynamische Untersuchung, wobei exakte Schallkopfführung und Anpassung der Geräteparameter die technische Qualität bestimmen, weiters die laufende Interpretation der gewonnenen Parameter eine Erweiterung des standardisierten Untersuchungsablaufes erfordert.

Aufgrund der fehlenden Invasivität und Strahlenbelastung, der breiten Verfügbarkeit und vertretbaren Kosten eignet sich die transthorakale Echokardiographie besonders für serielle Untersuchungen. Auch die transösophageale Echokardiogra-

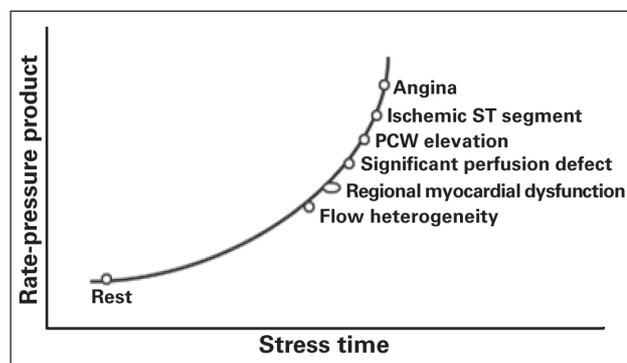


**Abbildung 1:** TEE-Nachweis eines offenen Foramen ovale durch Übertritt von nicht-lungengängigem Kontrastmittel (Albumin) vom rechten in den linken Vorhof. IAS: Interatriales Septum; RA: Rechter Vorhof, LA: Linker Vorhof; AK: Aortenklappe.

phie (mit Einbeziehung des transgastrischen Schallfensters) darf noch als nicht-invasive Untersuchung gelten. Sie erlaubt aufgrund der Nähe des Ösophagus zu Aorta ascendens, Aortenklappe, linkem Vorhof und Mitralklappe eine Darstellung dieser Strukturen mit unübertroffener Auflösung, sodass sie beispielsweise bei der Fragestellung „Endokarditis“ eine Alleinstellung aufweist.

Bei der Stressechokardiographie wird pharmakologische oder (seltener) physische Belastung eingesetzt, um zusätzliche Informationen bezüglich KHK oder der Wirksamkeit von Vitien zu gewinnen (s. unten).

Die „Kontrastechokardiographie“ wird bei einer Reihe von speziellen Fragestellungen eingesetzt: Die Gabe von nicht-lungengängigem Echokontrast (am einfachsten agitierte Kochsalzlösung) dient der Darstellung von Shunts (Abb. 1), die Verwendung von lungengängigen Echokontrastmitteln verbessert die Darstellbarkeit bei schlecht schallbaren Patienten, erlaubt bessere Abgrenzung von Raumforderungen, defi-



**Abbildung 2:** Auftreten von Wandbewegungsstörungen im Echo innerhalb von Sekunden bei Koronarverschluss oder bei Belastung noch vor EKG-Veränderungen oder Angina-pectoris-Beschwerden. Nachdruck aus [Beller GA. Am J Cardiol 1988; 61: 22F–28] mit Genehmigung von Elsevier.

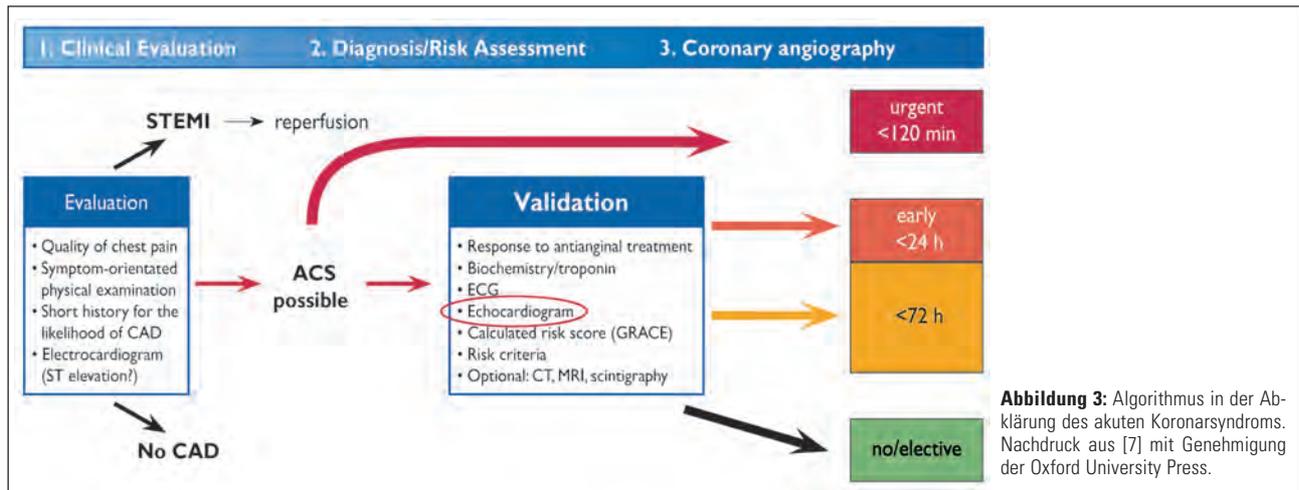


Abbildung 3: Algorithmus in der Abklärung des akuten Koronarsyndroms. Nachdruck aus [7] mit Genehmigung der Oxford University Press.

nirt unklare Flüssigkeitsansammlungen bei fehlender Kontrastierung als „extravasal“ und hilft bei der Unterscheidung wahres/falsches Lumen bei Aortendissektion [4].

Zum Standard eines modernen Echolabors gehört neben ausgebildeten Untersuchern und optimaler Geräteausrüstung zumindest eine hierfür qualifizierte Assistenzperson, sowie die digitale Archivierung der Untersuchungsdaten mit der Möglichkeit der späteren Analyse und des Vergleichs serieller Untersuchungen.

Während die klassische Echokardiographie eine „Echtzeit“-Untersuchung bleibt, erfordern die komplexeren Analysen von Straindaten, 3D-Datensätzen sowie Asynchroniemessungen zunehmend die „Offline“-Analyse.

### ■ Stellenwert der Echokardiographie bei Koronargefäßerkrankungen

„Regionale Wandbewegungsstörungen“ im Echo sind ein Ausdruck von Ischämie oder Infarktfolgen. Wandbewegungsstörungen können bereits Sekunden ( $19 \pm 8$  sec) nach Verschluss eines Koronargefäßes nachgewiesen werden und treten noch vor EKG-Veränderungen oder Plasma-Troponin-Erhöhung auf, ähnlich auch bei der Belastung [5] (Abb. 2). Ab einer Ischämie von  $> 20$  % Wanddicke oder Koronarstenosierung ab 80–85 % treten Wandbewegungsstörungen im Echo auf. Typischerweise ist jeder kardiale Wandabschnitt einem Koronarsegment zuordenbar [6].

Die Ruhe-Echokardiographie eignet sich nicht als Suchtest zum Screening für eine koronare Herzerkrankung, da die Koronargefäße nicht direkt im Verlauf darstellbar sind und selbst bei schwerer Dreifäßerkrankung in Ruhe ein normales Echo vorliegen kann. Mittels Stress-Echokardiographie kann durch pharmakologische (Dobutamin i. v.) oder physische Belastung sowohl eine Ischämie-, als auch eine Vitalitätsdiagnostik erfolgen: Eine Besserung der Kontraktilität in akinetischen Arealen gilt als Vitalitätsnachweis, neue Wandbewegungsstörungen unter Belastung als Ischämienachweis. Diese Untersuchung erfordert sowohl Ausbildung als auch Erfahrung und ist zeitaufwendig, jedoch kann in geübten Händen nicht-invasiv und insbesondere ohne Strahl-

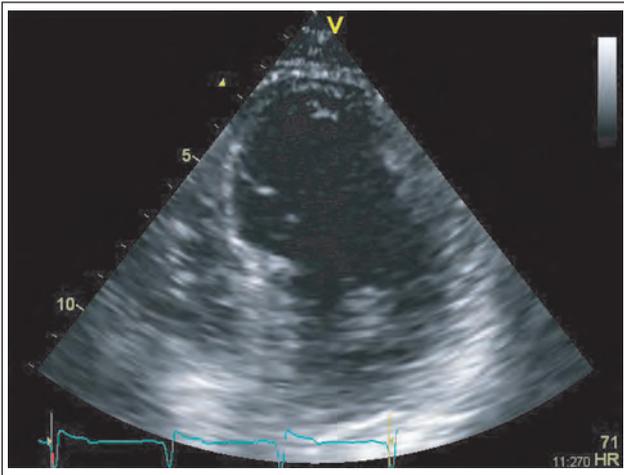
lenbelastung eine hohe diagnostische Aussagekraft erzielt werden [6].

### ■ Akute Thoraxschmerzen: Stellenwert bei akutem Koronarsyndrom, Aortendissektion, Pulmonalembolie

Bei akutem Koronarsyndrom nimmt die Echokardiographie eine Klasse-I-Indikation in den neuen Europäischen Guidelines ein (Abb. 3) [7]. Diese Reihung unterstreicht die rasche Verfügbarkeit am Krankenbett, sowie die Wertigkeit in der Differentialdiagnostik des akuten Thoraxschmerzes, auch zur raschen Unterscheidung zu anderen lebensbedrohlichen kardiovaskulären Entitäten, insbesondere der akuten Aortendissektion oder Pulmonalembolie (Tab. 1). Bei akutem Myokardinfarkt (ST-Hebungsinfarkt, STEMI) ist die Echokardiographie vor allem nützlich, um rasch Komplikationen des Infarktes zu erkennen, welche einer akuten chirurgischen Intervention zugeführt werden müssen (z. B. Papillarmuskelabriss mit akuter Mitralinsuffizienz, Ventrikelruptur, Septumruptur) [8]. Prognostisch und klinisch besonders bedeutsam ist die Erfassung der globalen Linksventrikelfunktion bis hin zur schweren Herzinsuffizienz, sowie Erkennung von Rechtsventrikelfunktionsminderung mit reduzierter Rechtsventrikelfunktion oder hämodynamisch wirksamem Perikarderguss, Ventrikelthrombus-Aneurysmen etc. (Abb. 4).

Tabelle 1: Wertigkeit der Echokardiographie in der Differentialdiagnostik des akuten Thoraxschmerzes – Was kann das Echo beitragen?

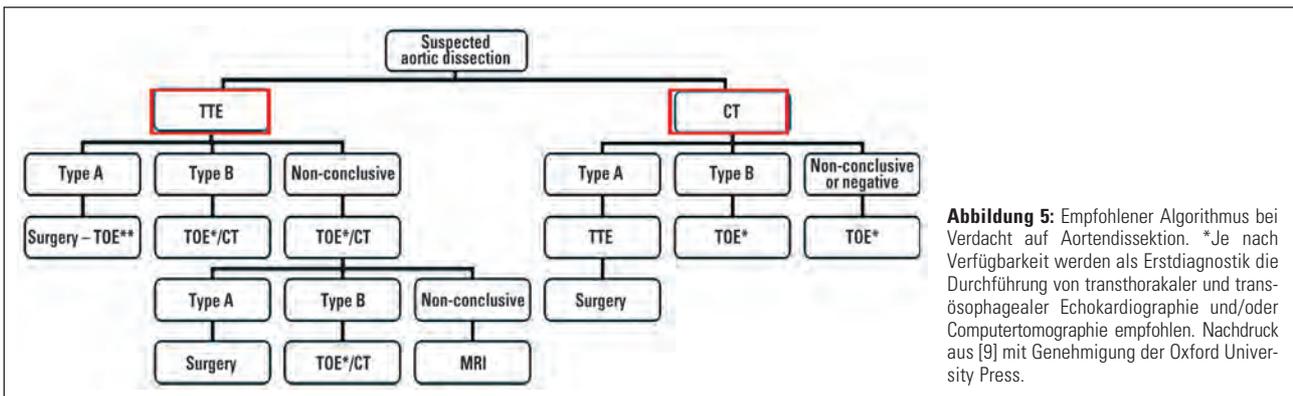
- KHK: ACS, Infarkt
- Pulmonalembolie
- Aortendissektion, Ao. Aneurysma
- Vitium, AS, Endokarditis, HOCM, ...
- Hypertensive Krise
- Links- und Rechtsventrikelfunktion
- Dilat./Ischäm. CMP
- Perikarditis, Myokarditis, Perikarderguss, Pleuraerguss
- Tako-Tsubo
- Pulmonale Hypertonie
- Akute Lungenerkrankung
- Tumoren
- Trauma
- Muskel-/Skelettschmerzen



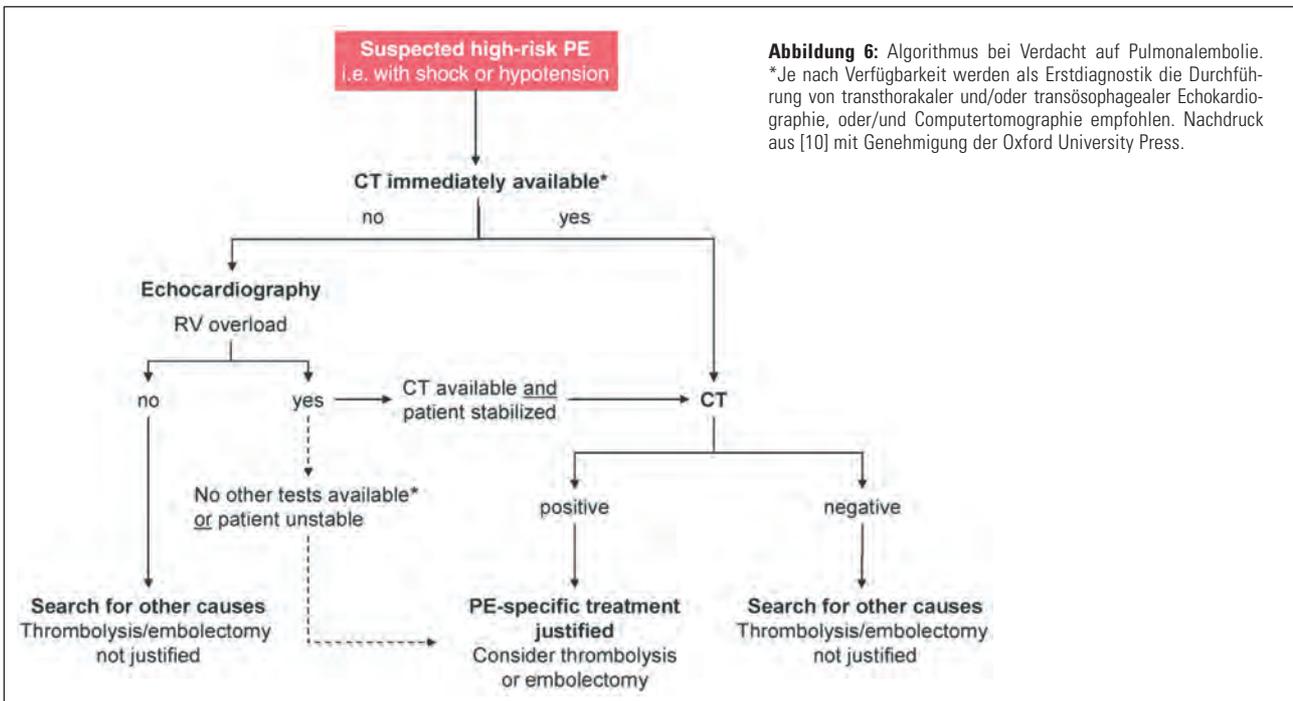
**Abbildung 4:** Ausgedehnte Akinésie im Apex nach Vorderwandinfarkt mit verdünnter Myokardwand und Bildung eines Ventrikelthrombus. Apikaler Vierkammerblick.

Bei Reanimation oder in der Differentialdiagnostik bei kardiogenem Schock liefert die Echokardiographie rasch Informationen direkt am Krankenbett und ist in den aktuellen Guidelines daher an erster Stelle genannt. Bei Verdacht auf Aortendissektion (Abb. 5) oder Pulmonalembolie werden dann Computertomographie (CT) oder transösophageales Echo (TEE) je nach Verfügbarkeit direkt angeschlossen [9, 10].

Bei Ausschluss von Lungenembolie sind die mittelmäßige Sensitivität und Spezifität der Echokardiographie-Zeichen zu berücksichtigen (Abb. 6), insbesondere bei Fehlen von Hypotonie oder Schockzeichen (Sensitivität 60–70 % für Niedrigrisiko-Lungenembolie, bessere Spezifität bei mittlerer bis hoher klinischer Wahrscheinlichkeit, Spezifität bei vergrößertem rechten Ventrikel 90 %). Daher sind bei klinischem Verdacht andere Imaging-Methoden anzuschließen. Ein vergrößerter rechter Ventrikel mit reduzierter Rechtsventrikelfunktion ist ein starker Prognose-Parameter und weist auf hohes klinisches Risiko auch als Kriterium für stationäre Aufnahme hin. Bei gleichzeitiger Hypotonie oder Schock besteht Indika-



**Abbildung 5:** Empfohlener Algorithmus bei Verdacht auf Aortendissektion. \*Je nach Verfügbarkeit werden als Erstdiagnostik die Durchführung von transthorakaler und transösophagealer Echokardiographie und/oder Computertomographie empfohlen. Nachdruck aus [9] mit Genehmigung der Oxford University Press.



**Abbildung 6:** Algorithmus bei Verdacht auf Pulmonalembolie. \*Je nach Verfügbarkeit werden als Erstdiagnostik die Durchführung von transthorakaler und/oder transösophagealer Echokardiographie, oder/und Computertomographie empfohlen. Nachdruck aus [10] mit Genehmigung der Oxford University Press.

**Tabelle 2:** Typische Echozeichen bei Pulmonalembolie. Mod. nach [Mookadam F, Cardiol Rev 2010; 18: 29–37].

- Direkt:** Hohe Spezifität, niedrige Sensitivität
- Thrombusnachweis im rechten Herzen (RA, RV, paradoxe Embolie „in transit“ im offenen Foramen ovale, Thrombus in Pulmonalarterie)
- Indirekt:** Mäßige Spezifität, Sensitivität ca. 40 %
- RV-Dilatation (RV/LV-Durchmesser > 1)
  - RV-Dysfunktion (Spezif. 90 % bei hoher klinischer Wahrscheinlichkeit)
  - „McConnell sign“: Akinesie/Hypokinesie der mittleren freien Wand bei normokinetischen RV-Apex
  - „D-sign“: Verdrängung des IVS nach links, D-Form des LV-Querschnitts
  - Dilatation der Vena cava inf. ohne inspiratorischen Kollaps
  - „60/60 sign“: Pulmonalfluss-Akzelerationszeit < 60 ms, PAP < 60 mmHg

**Tabelle 3:** Risikoeinteilung bei Lungenembolie in Abhängigkeit der Rechtsventrikelgröße und -funktion, sowie erhöhten Biomarkern (Troponin, BNP). Nachdruck aus [10] mit Genehmigung der Oxford University Press.

PE-related early MORTALITY RISK	CLINICAL (shock or hypotension)	RISK MARKERS			Potential treatment implications
		RV dysfunction	Myocardial injury		
HIGH >15%	+	(+)	(+)	Thrombolysis or embolectomy	
NON HIGH 3–15%	–	+	+	Hospital admission	
		–	+		
Low <1%	–	–	–	Early discharge or home treatment	

PE: pulmonary embolism (Lungenembolie); RV: rechter Ventrikel

**Tabelle 4:** Sensitivität und Spezifität der Echokardiographie bei akuter Aortendissektion. Nachdruck aus [Evangelista A, Eur Heart J 2010; 31: 472–9] mit Genehmigung der Oxford University Press.

Ascending aorta dissection	TEE	Contrast TTE	TOE	Contrast TOE
<b>Type A</b>				
Sensitivity (%)	82.2* (69.9–94.5)	93.3 (84.9–100)	95.6 (88.4–100)	95.6 (88.4–100)
Specificity (%)	89.2* (81.9–96.5)	97.6 (93.7–100)	96.4 (91.8–100)	100 (99.4–100)
PPV (%)	80.4 (67.9–93.0)	95.5 (88.2–100)	93.5 (85.3–100)	100 (98.8–100)
NPV (%)	90.2 (83.2–97.3)	96.4 (91.9–100)	97.6 (93.6–100)	97.6 (93.8–100)
<b>Aortic arch dissection</b>				
Sensitivity (%)	79.1* (65.8–92.4)	88.4 (77.6–99.1)	90.7 (80.9–100)	95.4 (87.9–100)
Specificity (%)	88.2 <sup>††</sup> (80.8–95.7)	95.3 (90.2–100)	98.8 (95.9–100)	100 (99.4–100)
PPV (%)	77.3 (63.8–90.8)	90.5 (80.4–100)	97.5 (91.4–100)	100 (98.8–100)
NPV (%)	89.3 (82.1–96.5)	94.2 (88.7–99.7)	95.5 (90.5–100)	97.7 (93.9–100)
<b>Descending aorta dissection</b>				
Sensitivity (%)	56.2 <sup>§</sup> (44.1–68.2)	83.6 <sup>§</sup> (74.4–92.8)	100 (99.3–100)	100 (99.3–100)
Specificity (%)	81.8* (70.7–92.9)	94.5 (86.0–100)	100 (99.1–100)	100 (99.1–100)
PPV (%)	80.4 (68.5–92.3)	95.3 (87.2–100)	100 (99.3–100)	100 (99.3–100)
NPV (%)	58.4 (46.8–70.1)	81.3 (70.7–91.9)	100 (99.1–100)	100 (99.1–100)

TTE: transthoracic echocardiography; TOE: transoesophageal echocardiography.; \*p < 0.05 TTE vs. contrast TTE, TOE, and contrast TOE; <sup>†</sup>p < 0.05 TTE vs. contrast TTE; <sup>††</sup>p < 0.01 TTE vs. TOE and contrast TOE; <sup>§</sup>p < 0.001 TTE vs. contrast TTE, TOE, and contrast TOE after Bonferroni correction for multiple *post hoc* comparison; <sup>§§</sup>p < 0.001 contrast TTE vs. TOE and contrast TOE after Bonferroni correction for multiple *post hoc* comparison.

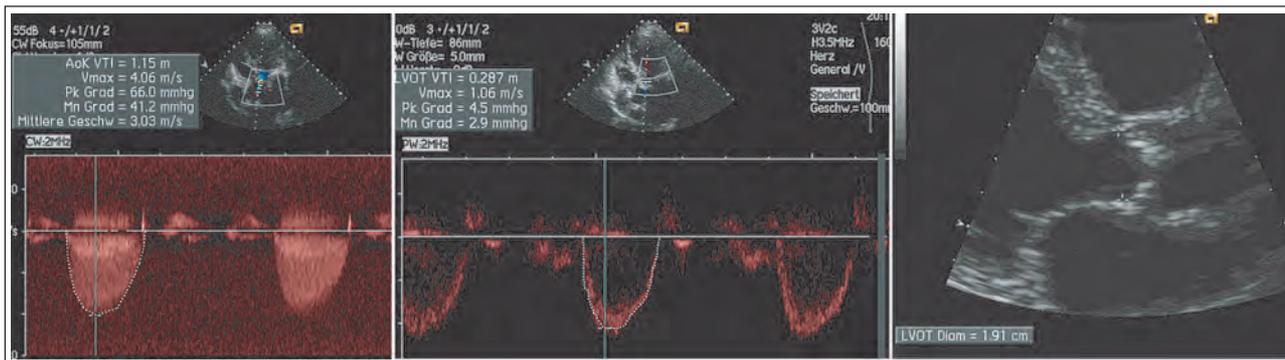
tion zur akuten Thrombolys (Hochrisiko-Lungenembolie) (Abb. 6; Tab. 2, 3) [10].

Bei Verdacht auf akute Aortendissektion besteht bessere Spezifität in der Typ-A-Dissektion mit Beteiligung der Aorta ascendens bzw. thorakaler Abschnitte und kann durch Kontrastmittelgabe erhöht werden (Tab. 4). Weitere Untersuchungen sollen bei klinischem Verdacht stets großzügig abgeschlossen werden [9].

Statistisch gesehen ist die reduzierte Linksventrikelfunktion stärkster Parameter für das Outcome bei Notfall-Patienten mit kardialen Symptomen und mit der Echokardiographie rasch erfassbar. Die Echokardiographie soll in Notfallaufnahmen und „Chest Pain Units“ jederzeit verfügbar sein, um rasche Differentialdiagnostik zu unterstützen.

### ■ Stellenwert der Echokardiographie bei Herzklappenerkrankungen

Die Echokardiographie stellt heute den Goldstandard in Diagnostik und Quantifizierung des Schweregrades von Klappenstenosen und Insuffizienzen, sowie klinischer Verlaufskontrolle insbesondere auch in Hinblick auf Operationsindikationen bei Vitien dar [11–14]. Sie liefert wie keine andere bildgebende Methode über die morphologische Darstellung die Information über die Genese der Klappenerkrankung (degenerativ, Prolapserkrankung, kongenital, [post]-entzündlich etc.) und mittels Doppleruntersuchung eine exakte Quantifizierung von Stenosen, sowie von Insuffizienzen, wo jedoch auch semiquantitative Parameter herangezogen werden müssen. Im gleichen Untersuchungsgang werden die LV-Funktion sowie der systolische Pulmonaldruck bestimmt.



**Abbildung 7:** 73-jährige Patientin: Bestimmung der Aortenklappenöffnung nach der Kontinuitätsgleichung. Diese beruht auf dem Prinzip: Der Fluss im linksventrikulären Ausflusstrakt (LVOT) muss gleich sein wie der Fluss über die Aortenklappe (AK). Die benötigten Variablen sind das Velocity-Time-Integral des LVOT (PW-Doppler) und der Aortenklappe (CW-Doppler), sowie der Durchmesser des LVOT. Die Aortenklappenöffnungsfläche (KÖF) errechnet sich aus der Formel:  $KÖF = (LVOT\ Diameter^2 \times 0,785 \times LVOT\ VTI) / Aortenklappen\ VTI$ . Es liegt mit einer  $V_{max}$  des AK-Jets von 4,06 m/s und einer errechneten KÖF von 0,74  $cm^2$  eine schwere Aortenklappenstenose vor.

**Tabelle 5:** Parameter zur Schweregradbestimmung der Aortenstenose

Schweregrad	„Sklerose“	mild	„moderat“	„schwer“
Maximale Jetgeschwindigkeit (m/sec)	≤ 2,5	2,6–2,9	3,0–4,0	> 4,0
Mittlerer Gradient (mmHg)		< 20	20–40	> 40
Klappenöffnungsfläche ( $cm^2$ )		> 1,5	1,0–1,5	< 1,0
Klappenöffnungsfläche/BSA ( $cm^2/m^2$ )		> 0,85	0,60–0,85	< 0,6
Velocity Ratio ( $V_{max\ LVOT} / V_{max\ AV}$ )		> 0,50	0,25–0,50	< 0,25

Bemerkung zu den Tabellen 5–8: In den Tabellen wird die direkte Übersetzung des in der Literatur verwendeten Begriffes „moderate“ verwendet. Am besten passt allerdings das deutsche Wort „mittelgradig“. Bei den Insuffizienz-Vitien wird „mittelgradig“ noch unterteilt in „leicht- bis mittelgradig“, und „mittelgradig bis schwer“, wobei letzteres bereits einer hämodynamischen Wirksamkeit entspricht. Im Falle der sekundären Mitralsuffizienz bei reduzierter systolischer Funktion ist bereits „leicht- bis mittelgradig“ prognostisch relevant.

Bei exakter Technik besteht bei allen quantitativen Messungen eine gute Übereinstimmung mit Kathedertechniken sowie eine gute Reproduzierbarkeit. Es besteht bei allen Vitien der Konsens, dass nicht ein einzelner Parameter, sondern mehrere Haupt- und Nebenparameter zur Gesamtbeurteilung nötig sind [11].

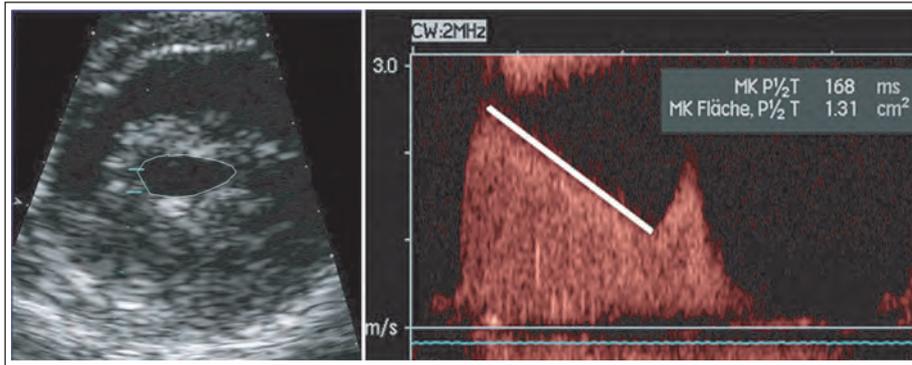
Die wichtigsten Parameter für die Aortenstenose sind die maximale Jetgeschwindigkeit über der Klappe, der mittlere Gradient sowie die Klappenöffnungsfläche, die mittels Kontinuitätsgleichung berechnet wird. Das Echo gibt rasche Auskunft über die Ätiologie (verkalkte degenerative Aortenstenose oder bikuspidale Aortenstenose) [15] (Abb. 7; Tab. 5). Die Abnahme der Linksventrikelfunktion stellt auch bei asymptomatischen Patienten mit schwerer Aortenstenose eine dringliche Operationsindikation dar.

Bei Patienten mit reduzierter Linksventrikelfunktion und relativ niedrigem transvalvulärem Gradienten trotz kleiner Aortenklappenöffnungsfläche („Low-flow-low-gradient-Aortenstenose“) kann die Dobutamin-Stressechokardiographie über Anhebung des Schlagvolumens zwischen „echter“ schwerer und pseudo-schwerer AS unterscheiden [12]. Bei der „paradoxen Low-flow-low-gradient-Aortenstenose“ besteht hingegen noch erhaltene linksventrikuläre Auswurfraction bei kleinumigem dickwandigen Ventrikel mit Hypertrophie, wobei im Echo das niedrige Schlagvolumen und somit der verminderte Fluss über der Klappe nachgewiesen werden kann, wodurch sich niedrige Gradienten trotz schwerer Aortenstenose ergeben [12].

Die wichtigsten im Echo bestimmbar Parameter für die Quantifizierung der Mitralsstenose sind der mittlere Gradient über der Klappe, die Klappenöffnungsfläche mittels Berechnung über die Druckabfallhalbzeit („pressure half time“) und direkt über die 2D-Planimetrie, sowie die Messung des systolischen pulmonal-arteriellen Druckes in Ruhe. In unklaren Fällen können mittlerer Gradient und Pulmonaldruck auch unter Belastung erhoben werden [15] (Abb. 8; Tab. 6). Die Morphologie der Mitralklappe bestimmt die Möglichkeit der Klappensprengung (Valvuloplastie) oder der operativen Rekonstruktion bzw. Klappenersatz.

Bei der Aorteninsuffizienz werden als qualitative Parameter die Morphologie der Klappe, CW- und Farbdopplersignal, Flussumkehr in der deszendierenden Aorta sowie A. femoralis, als semiquantitative Parameter werden die Breite der Vena contracta sowie die Pressure-half-time zur Bestimmung des Schweregrades herangezogen [16]. Die Zunahme der Größe des linken Ventrikels und Abnahme der Linksventrikelfunktion sind wichtige Parameter zur Bestimmung des Operationszeitpunktes (Abb. 9; Tab. 7).

Für die klinische Entscheidungsfindung bei der Mitralsuffizienz ist die Morphologie bzw. die Ursache der Klappenerkrankung von entscheidender Bedeutung: Handelt es sich um eine primäre, meist degenerative Erkrankung wie Prolaps, Flail Leaflet, Sehnenfadenabriss, oder um eine sekundäre, meist auf Basis regionaler oder globaler LV-Dysfunktion? Welcher Teil der Klappe ist erkrankt? Ist im Falle der Opera-



**Abbildung 8:** Bestimmung der Mitralklappenöffnungsfläche bei rheumatischer Mitralklappenstenose bei einem 68-jährigen Patienten: **Links:** Planimetrie (kurze Achse, Mittldiastole: 1,1cm<sup>2</sup>. **Rechts:** Errechnen der Öffnungsfläche nach der empirischen Formel: Öffnungsfläche = 220/Druckabfallhalbwegszeit. Der mittlere Gradient lag bei 9,2 mmHg. Es liegt somit eine „moderate“ bis „schwere“ Mitralklappenstenose vor.

**Tabelle 6:** Parameter zur Schweregradbestimmung der Mitralklappenstenose

Schweregrad	mild	„moderat“	schwer
Klappenöffnungsfläche (cm <sup>2</sup> )	> 1,5	1–1,5	< 1
Mittlerer Gradient (mmHg)	< 5	5–10	> 10
Systol. Pulmonalarterien- druck (mmHg)	< 30	30–50	> 50

Bemerkung: siehe Tabelle 5. Klinische Signifikanz: Mitralklappenstenose ab Klappenfläche < 1,5 cm<sup>2</sup>.

tion die Klappe zu rekonstruieren oder wird eine Prothese nötig sein? Dies zu klären ist eine Domäne der Echokardiographie. Für die Quantifizierung stehen als qualitativer Parameter die Morphologie der Klappe, der Farbdoppler-Jet und das CW-Signal zur Verfügung, als semiquantitative Parameter die Breite der Vena contracta, der Pulmonalfluss und das Verhältnis Mitraleinstrom/Auswurf zur Verfügung, sowie als Quantifizierung die Errechnung von Regurgitationsvolumen und Regurgitationsfläche mittels der PISA- (Proximal Iso-velocity Surface Area-) Methode [17] (Abb. 10; Tab. 8).

Bei der Verlaufskontrolle nach Klappenoperationen, Mitralklappenreparatur oder nach interventionellem Aortenklappenersatz können über Messungen der Klappen-Gradienten Aussagen über Prothesendegeneration, Thromben oder Endokarditis, sowie Insuffizienzen (paravalvulär oder valvulär) gewonnen werden [11]. Meist bestehen nur geringe Einschränkungen der Bildqualität aufgrund der charakteristischen Prothesenechos bei mechanischen Klappenprothesen.

Die Echokardiographie, insbesondere transösophageal, besitzt eine Schlüsselrolle in der Diagnostik der Endokarditis, sowie möglichen Komplikationen, sowohl bei nativen Herzklappenfehlern als auch nach Klappenoperationen oder anderen operativen Eingriffen, Entzündungszuständen und chronischem Fieber [13, 14, 18] (Abb. 11).

### TEE-Monitoring bei neuen invasiven Kathertertechniken: TAVI

Insbesondere TEE stellt bei Transkatheter-Interventionen, bei Eingriffen an den Herzklappen (perkutane Aortenklappenimplantation, TAVI, Mitralklappenclip, Pulmonalklappenimplantation) sowie auch bei perkutanen Katheterverschlüssen von PFO oder Vorhofseptumdefekten (Okkluder) eine sehr gute

Leitmöglichkeit dar [18, 19]. Es können „live“ die Lage und Größe der Devices überprüft, sowie rasch Komplikationen erkannt werden, z. B. paravalvuläre oder valvuläre Insuffizienzen, suboptimale Lage, periinterventionelle Änderungen der Ventrikelfunktion (z. B. bei Verlegung von Koronargefäßen), Behinderung der Funktion anderer Klappen (z. B. der Mitralklappe) etc. Zusätzlich kann die 3D/4D-Echokardiographie spezielle Ansichten liefern und die anatomischen Verhältnisse darstellen.

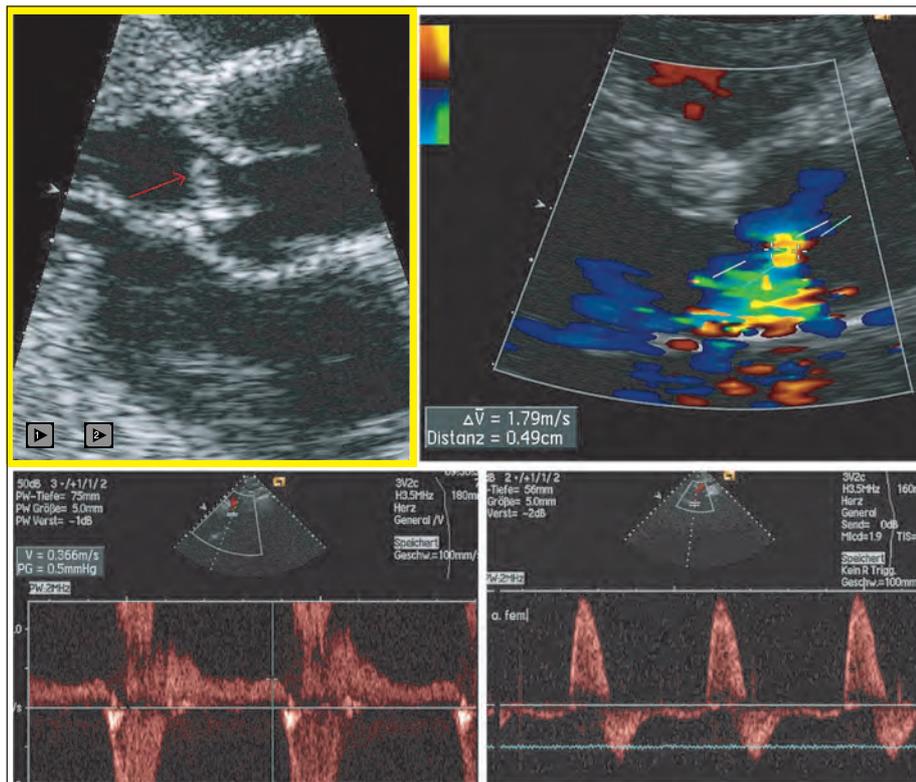
### Stellenwert der Echokardiographie in der Herzinsuffizienz

Zur Diagnose und Klärung der Ätiologie der akuten und chronischen Herzinsuffizienz ist die Echokardiographie die Schlüsseluntersuchung [20]. Im akuten Setting ist die Echokardiographie gemeinsam mit dem „alten“ Thoraxröntgen die einzige empfohlene bildgebende Methode, im chronischen Setting ist der differenzierte Einsatz aller bildgebenden Verfahren vor allem zur Klärung der Ätiologie gefragt [20].

Für serielle Untersuchungen zum Monitoring der linksventrikulären Pumpfunktion, der diastolischen Funktion und der Therapiesteuerung, die bei Herzinsuffizienzpatienten oft jahrelang nötig sind, bleibt die Echokardiographie die Methode der Wahl.

Als Beispiel sei die Tabelle der echokardiographisch gewonnenen Parameter bei der Herzinsuffizienz und deren klinische Aussage angeführt (Tab. 9; Abb. 12).

Der rechte Ventrikel ist der echokardiographischen Untersuchung aufgrund seiner komplexen Struktur, die nicht gut in einer Schnittbildebene erfassbar ist, schwieriger zugänglich als der linke. Neben der rein visuellen Beurteilung von Dimension und Funktion des rechten Herzens wird derzeit als quantitativer Parameter der Pumpfunktion lediglich die „fractional area change“ im modifizierten Vierkammerblick empfohlen, sowie mehrere Surrogatparameter für die Globalfunktion, wovon die TAPSE („tricuspid annular plane systolic excursion“) der gebräuchlichste ist [21]. Zur Beurteilung der Morphologie und Struktur des RV ist daher vielfach ergänzend die Magnetresonanztomographie nötig. Die Messung der Gewebedoppler- und Dopplerparameter zur Erfassung der diastolischen Funktion ist wegen der geringeren Dopplergeschwindigkeiten und deren Atemabhängigkeit weit weniger zuverlässig und etabliert als links.



**Abbildung 9:** Beispiele für die echokardiographische Untersuchung bei Aorteninsuffizienz: Prolaps des akoronaren Segels, Messung der Vena contracta des – in diesem Fall exzentrischen – Aorteninsuffizienzjets. Diastolische Flussumkehr in der Aorta descendens mit enddiastolischer Geschwindigkeit 0,33 m/sec. Holodiastolischer Reflux in der Arteria iliaca.

**Tabelle 7:** Parameter zur Schweregradbestimmung der Aorteninsuffizienz

Schweregrad	mild	„moderat“	„schwer“
<b>Qualitativ</b>			
Aortenklappenmorphologie			sichtbarer Schlussdefekt
Farbdoppler-Jetbreite, CW-Signal			breiter Farbjet, dichtes Signal
Diastolische Flussumkehr in deszendierender Aorta	kurz, frühdiastolisch		holodiastolisch mit enddiastolisch > 20 cm/sec
<b>Semi-quantitativ</b>			
Vena contracta (mm)	< 3		> 6
Druckabfallshalbwegszeit	> 500		< 200
<b>Quantitativ</b>			
Regurgitationsöffnung (ms)	< 10	10–19	20–29
Regurgitationsvolumen (ml)	< 30	30–44	45–59
			≥ 30
			≥ 60

Bemerkung: siehe Tabelle 5. Zusätzliches Kriterium: LV-Größe.

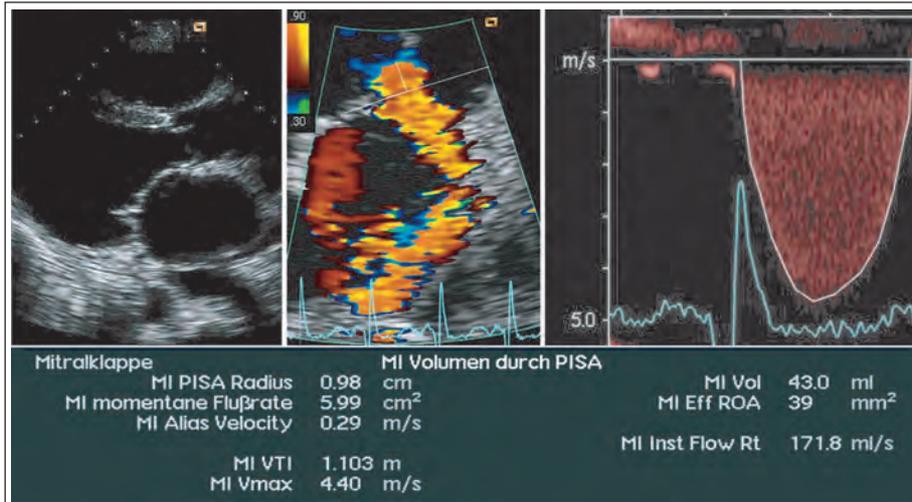
■ **Echokardiographie bei Linkshypertrophie, restriktiver und hypertropher Kardiomyopathie [22]**

Die Echokardiographie ist die initiale Bildgebung der Wahl bei allen Patienten, bei denen sich aus Klinik oder EKG der Verdacht auf Linkshypertrophie bzw. Kardiomyopathie ergibt. Die meisten Veränderungen, die bei Hypertrophie, restriktiver oder hypertropher Kardiomyopathie vorliegen, sind echokardiographisch zu erfassen: Ausmaß und Verteilung der Hypertrophie, systolische und diastolische RV- und LV-Funktion, Vorhofgröße, Pulmonaldruck, dynamische Obstruktion in Ruhe und unter Provokation, spezifische Klappenanomalien (dynamische Mitralinsuffizienz, systolische Vorwärtsbewegung der Mitralsegel-SAM-Phänomen etc). Zur vollständigen Abklärung wird oft ein MSCT (Koronarstatus) und

zur weiteren Gewebecharakterisierung und Erfassung von Fibrosen auch die kardiale MRT benötigt (Abb. 13).

■ **Echokardiographie bei Erkrankungen des pulmonalen Kreislaufs und des Lungenhochdruck**

Die Echokardiographie erlaubt eine klinisch meist ausreichend genaue Erfassung von systolischem Pulmonalarterien- druck sowie Herzzeitvolumen und der wesentlichen hämodynamischen Veränderungen bei Erkrankungen des kleinen Kreislaufs [21]. Sie ist somit die Methode der Wahl zum Screening, zur Diagnose und Verlaufskontrolle bei allen Erkrankungen, die mit pulmonaler Hypertonie (PHT) einhergehen. Weitergehende Untersuchungen sind dann zur Klärung der Ätiologie nötig. Prognostisch bedeutsam können die

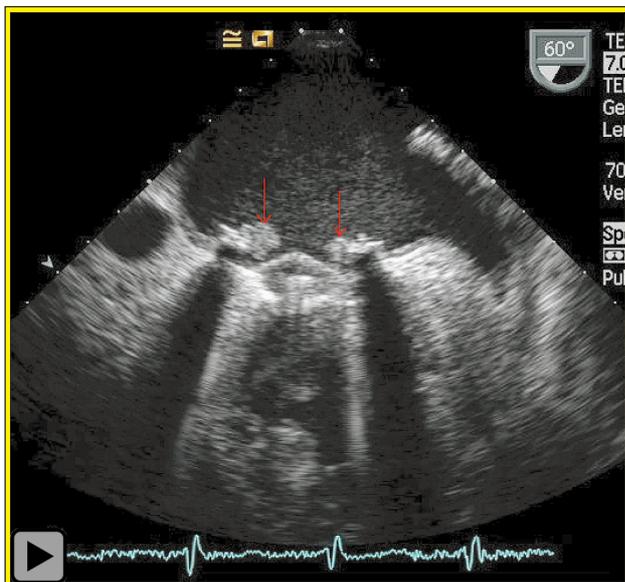


**Abbildung 10:** Chronisch ischämische Mitralinsuffizienz bei einer 70-jährigen Patientin: Restriktives Bewegungsmuster beider Segel mit punktförmiger Segelkoaptation, Quantifizierung mittels PISA: Es errechnet sich eine Regurgitationsöffnung von 39 mm<sup>2</sup> und ein Regurgitationsvolumen von 43 ml.

**Tabelle 8:** Parameter zur Schweregradbestimmung der Mitralinsuffizienz

Schweregrad	mild	„moderat“	„schwer“	
<b>Qualitativ</b>				
Mitralklappenmorphologie			Flail leaflet, sichtbarer Defekt	
Farbdoppler-Jet	klein, zentral		Großer zentraler Jet, oder exzentrischer, wandständiger Jet	
Flow-Konvergenzzone	keine oder minimal		groß	
CW-Signal	schwach, parabol		dicht, triangulär	
<b>Semi-quantitativ</b>				
Vena contracta (mm)	< 3		≥ 7	
Pulmonalvenenfluss			Systolische Flussumkehr	
Verhältnis VTI-Mitralis/VTI-Aorta	<1		> 1,4	
<b>Quantitativ</b>				
Regurgitationsöffnung (mm <sup>2</sup> )	< 20	20–29	30–39	≥ 40
Regurgitationsvolumen (ml)	< 30	30–44	45–59	≥ 60

Bemerkung: siehe Tabelle 5. Zusätzliches Kriterium: Mitraleinfluss, hohe E-Welle > 1,5 cm/s.



**Abbildung 11:** Prothesenendokarditis: Fremdmassen (Vegetationen) am Prothesenring in Mitralposition.

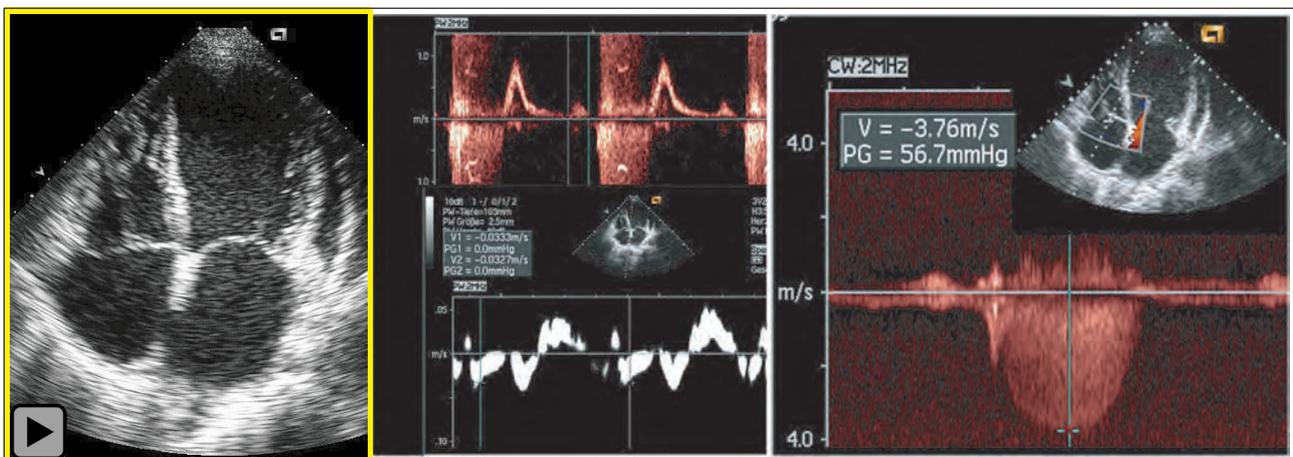
Funktion und Größe des rechten Ventrikels sowie der Schweregrad der Trikuspidalinsuffizienz evaluiert, sowie begleitende Perikardergüsse erfaßt werden (Abb. 14).

### ■ Echokardiographie bei Erkrankungen des Perikards

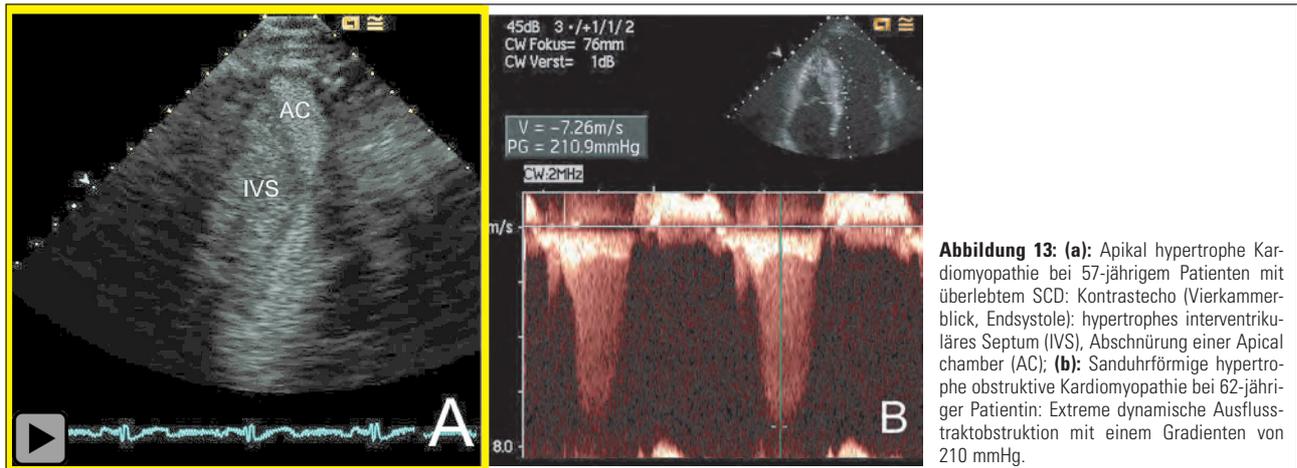
Flüssigkeitsansammlungen (seltener andere Raumforderungen) im Perikardraum und Perikardtamponade sind mittels Echokardiographie hervorragend zu erfassen: Eine Impression der rechten Herzhöhlen ist als Frühzeichen zu verstehen, und tritt auf, sobald der perikardiale Druck den (diastolischen) RV- bzw. RA-Druck erreicht. Mit Zunahme des intraperikardialen Druckes kommt es zur zunehmenden Einstrombehinderung und venösen Stauung, weiters zur ventrikulären Interaktion: Rechtsventrikuläre Füllung und Schlagvolumen sind expiratorisch massiv reduziert, bei Inspiration kommt es im begrenzten Perikardraum zur Zunahme dieser rechtsventrikulären Parameter auf Kosten der linksventrikulären Parameter. Echokardiographisch können diese gegensinnigen atemabhängigen Fluss- und Volumenschwankungen auch im Notfall rasch am Krankenbett erfaßt werden. Mittels Echo

**Tabelle 9:** Ausgewählte echokardiographische Auffälligkeiten bei Herzinsuffizienz. Mod. nach [20].

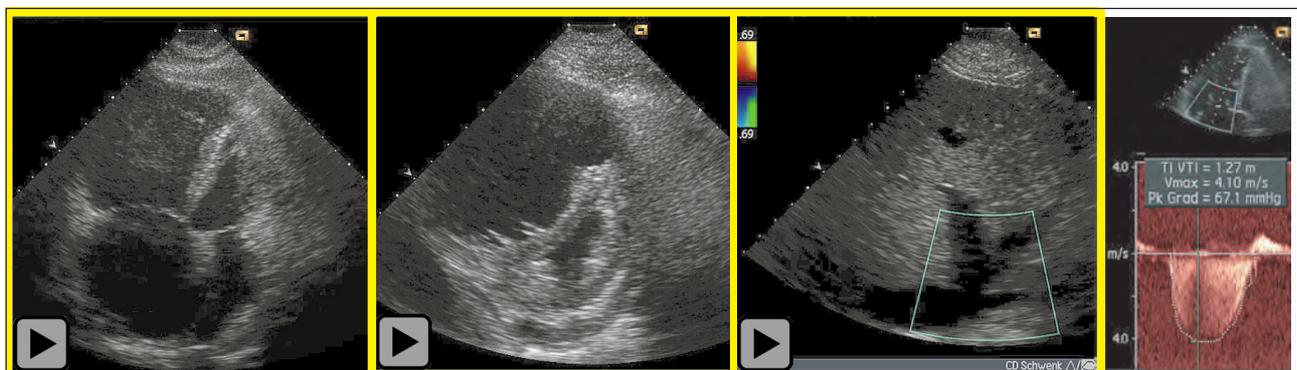
Messung	Abnormalität	Klinische Bedeutung/Ätiologie
<b>Parameter der systolischen Funktion</b>		
LV-Auswurffraktion	Reduziert (< 50 %)	Globale LV-Dysfunktion
Regionale Funktion	Hypo-/A-/Dyskinesie	Myokardischämie/Infarkt, Myokarditis, ...
LV-Enddiastolische Dimension	Erhöht (> 75 ml/m <sup>2</sup> ), lineare Dimensionen; geschlechtsabhängig	
LV-Endsystolische Dimension	Erhöht (> 30 ml/m <sup>2</sup> ), lineare Dimensionen; geschlechtsabhängig	
LV-Ausflustrakt – Flussparameter	Reduzierter Fluss („velocity time integral“ < 15 cm)	Reduziertes LV-Schlagvolumen
<b>Parameter der diastolischen LV-Funktion</b>		
Diastolische Myokardgeschwindigkeit e´	< 9 cm/sec (gemittelt lateraler/septaler Mitralannulus)	Verlangsamte Relaxation
E/e´-Ratio	> 15 < 8 (8–15 Grauzone, weitere Parameter nötig)	Erhöhter LV-Füllungsdruck Normaler LV-Füllungsdruck
E/A-Ratio des Mitraliseinstroms	Grobeinteilung in „relaxationsgestört“ (E/A<1), „normal“ (E/A 1–2), „pseudonormal“ (E/A 1–2 mit erhöhtem Füllungsdruck), „restriktiv“ (E/A > 2) mit erhöhtem Füllungsdruck	
Mitralfluss während Valsalva-Manöver	Wechsel von „pseudonormal“ zu „relaxationsgestört“: erhöhter Füllungsdruck	
A-Wellendauer Mitralis vs. A-Pulmonalvene	Pulmonalvenen-A-Dauer > 30 ms länger als Mitralis A	Erhöhter LV-Füllungsdruck
<b>Andere</b>		
Myokardiale Struktur und Masse	Masse geschlechtsabhängig (erhöht > 95 g/m <sup>2</sup> bei Frauen, > 115 g/m <sup>2</sup> bei Männern)	LV-Hypertrophie (Kardiomyopathie, Aortenstenose, Hypertonie, ...)
<b>Valvuläre Struktur und Funktion</b>		
<b>Nachweis/Ausschluss eines hämodynamisch relevanten Vitiums</b>		
Vorhofgröße	Vergrößert (LA-Volumen Norm < 28 ml/m <sup>2</sup> , ab > 34 ml/m <sup>2</sup> mittelgradig erhöht)	Hinweis für (anhaltend) erhöhten Vorhofdruck, Vorhofflimmern, sekundäre Mitralinsuffizienz
Rechtsventrikuläre systolische Funktion	Visuelle Beurteilung, „fractional area change“, TAPSE < 16 mm	Globale (und regionale) rechtsventrikuläre Funktion
Rechtsventrikulärer Füllungsdruck	Dilatierter V. cava inferior, fehlender inspiratorischer Kollaps	Erhöhter RV-Füllungsdruck
Perikard	Erguss/Tamponade, Zeichen der Pericarditis constrictiva	



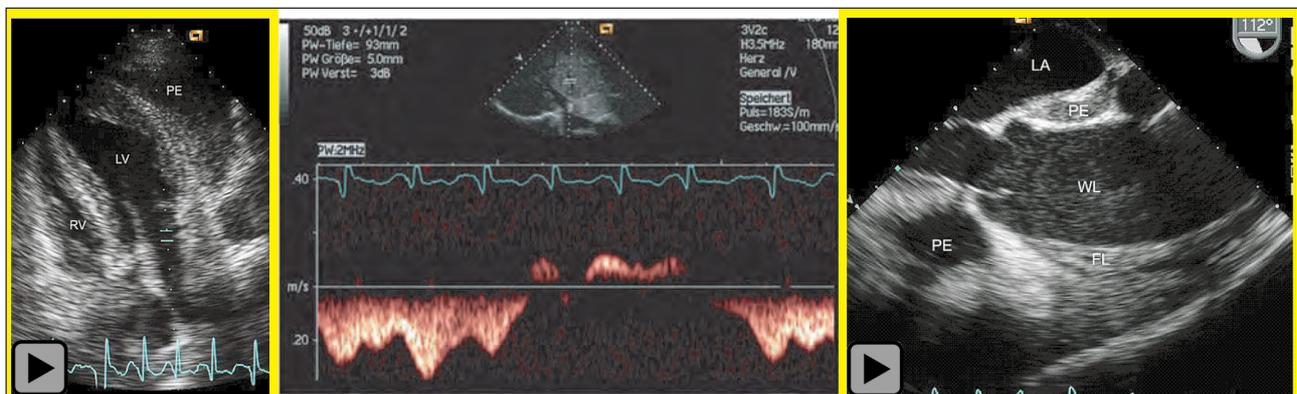
**Abbildung 12:** Herzinsuffizienz: 73-jähriger Patient, Akut-Echokardiogramm bei kardialer Dekompensation 3 Wochen nach Vorderwandinfarkt: Dilatierter, global stark reduziert pumpender linker Ventrikel mit ausgedehnter Vorderwandakinesie, geschätzte Auswurffraktion 30 %. Visuell normale Rechtsventrikelfunktion, kleiner Perikarderguss, restriktives Flussprofil über der Mitralklappe, E/ E´ weit über 20 als Ausdruck eines hohen linksatrialen Druckes. Systolischer Pulmonalarteriendruck ca. 70 mm Hg (Gradient RV/RA + rechtsatrialer Druck bei gestauter Vena cava inferior): In gleicher Weise lässt sich die Hämodynamik auch bei erhaltener Linksventrikelfunktion (diastolische Herzinsuffizienz) erheben.



**Abbildung 13:** (a): Apikal hypertrophe Kardiomyopathie bei 57-jährigem Patienten mit überlebtem SCD: Kontrastecho (Vierkammerblick, Endsystole): hypertrophes interventrikuläres Septum (IVS), Abschnürung einer Apical chamber (AC); (b): Sanduhrförmige hypertrophe obstruktive Kardiomyopathie bei 62-jähriger Patientin: Extreme dynamische Ausflusstraktobstruktion mit einem Gradienten von 210 mmHg.



**Abbildung 14:** Primär pulmonale Hypertonie bei 30-jähriger Patientin: Vierkammerblick, parasternale kurze Achse, jeweils Endsystole: Extreme Dilatation des schlecht kontraktiven rechten Ventrikels, Verdrängung des IVS nach links, massive Venenstauung, Trikuspidalinsuffizienz mit  $V_{max}$  von 4,1 m/sec.: Es errechnet sich ein systolischer Pulmonalarteriendruck von mindestens 80 mmHg!



**Abbildung 15:** Perikardtamponade bei Ascendensdissektion: Perikarderguss (PE), venöse Stauung, Nachweis atemabhängiger Flusschwankungen in der Lebervene, Nachweis der Ascendensdissektion mittels TEE. WL: wahres Lumen; FL: falsches Lumen.

wird bei entsprechender Klinik im Falle einer Tamponade daher die Indikation zur Punktion (Perikardiozentese) gestellt, zusätzlich wird empfohlen, diese echogezielt durchzuführen [23, 24] (Abb. 15).

Bei der Pericarditis constrictiva liegt ebenfalls eine zentralvenöse Stauung vor, Zeichen der ventrikulären Interaktion, weiters eine abnorme inspiratorisch betonte frühdiastolische Septumbewegung. Die Echokardiographie stellt mit dem Nachweis dieser Veränderungen meist die Weichen zur definitiven Diagnose der Erkrankung mittels MSCT und invasiver Hämodynamik.

## ■ Echokardiographie bei kardialen Emboliequellen und Tumoren

Die Echokardiographie – vor allem die transösophageale – ist die Schlüsseluntersuchung zum Nachweis kardialer Emboliequellen bzw. von Pathologien, die mit Embolien assoziiert sind: Entweder durch direkten Nachweis von Thromben (Herzohrthromben bei Patienten mit Vorhofflimmern, ventrikuläre Thromben z. B. nach Infarkten oder bei reduzierter Ventrikelfunktion), oder durch Nachweis von Erkrankungen, die mit einer erhöhten Embolierate assoziiert sind (Mitralstenose, Endokarditis, Kardiomyopathien, komplexe Aorten-

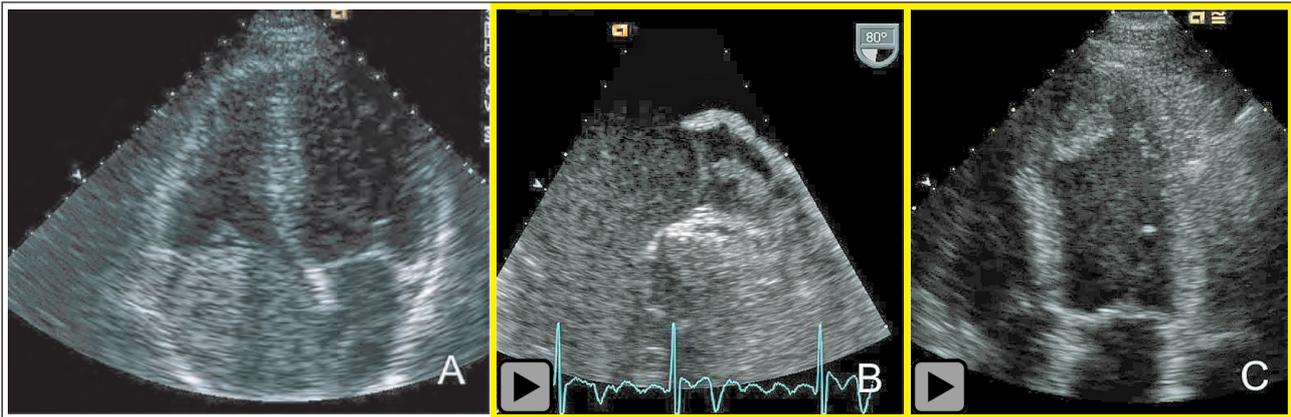


Abbildung 16: (a): Vorhofmyxom; (b): linksatrialer Thrombus; (c): apikaler linksventrikulärer Thrombus nach Vorderwandinfarkt.

plaques, Vorhofmyxom bzw. andere Tumoren etc.). Jeder Patient mit möglicherweise embolischem Schlaganfall sollte daher einer transösophagealen und transthorakalen Echokardiographie unterzogen werden [25]. Eine Reihe potenziell mit erhöhter Schlaganfallsrate einhergehender Auffälligkeiten (vor allem offenes Foramen ovale) werden dabei oft zufällig entdeckt, die Wahrscheinlichkeit des ursächlichen Zusammenhangs mit dem klinischen Ereignis muss gemeinsam mit dem Neurologen abgeschätzt werden.

Ähnlichen Stellenwert hat die Echokardiographie bei kardialen Raumforderungen und Tumoren: auch diese sind mit einer Sensitivität und Spezifität von mehr als 90 % zu erfassen. Außer bei klassischem Vorhofmyxom ist allerdings meist als weitere Bildgebung und Verlaufskontrolle eine MRT erforderlich (Abb. 16).

### ■ Echokardiographie bei Erkrankungen der ascendierenden Aorta und des Aortenbogens

Die Darstellung der Aorta ascendens ist Teil der standardisierten echokardiographischen Untersuchung. MSCT und die transösophageale Echokardiographie sind die beiden bildgebenden Verfahren, die bei akuten und chronischen Aortenerkrankungen hervorragende diagnostische Genauigkeit bieten und verbreitet rasch verfügbar sind [26]. So weist die TTE bei der Dissektion der ascendierenden Aorta in geübten Händen eine Sensitivität von knapp 80 % bei einer Spezifität von 95 % auf. Mit der TEE steigt die Sensitivität auf 98 %, die Trefferquote ist allerdings sehr untersucherabhängig.

Bei chronischen Aszendensaneurysmen ist die Echokardiographie nützlich zur Verlaufskontrolle, sollte jedoch ab Erreichen der Grenzwerte durch MR oder CT ergänzt werden. Vorteil der Echokardiographie ist, dass assoziierte Erkrankungen wie Aortenklappeninsuffizienz, bikuspidale Aortenklappe oder Koarktation miterfasst und quantifiziert werden können.

### ■ Neue Methoden: Strain und Strainrate, Deformationsquantifizierung im Echo

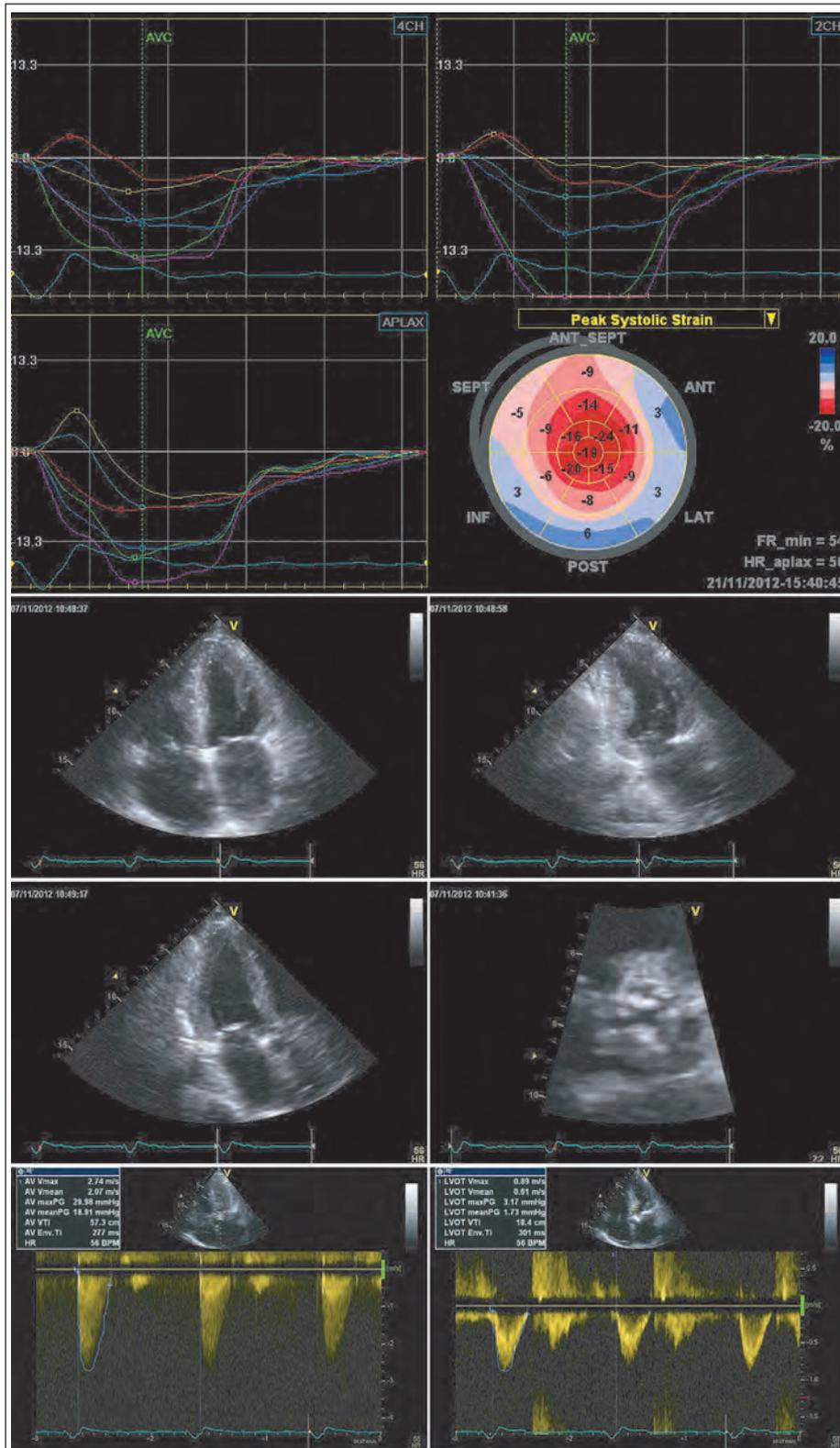
Die Quantifizierung der globalen und regionalen myokardialen Funktion zur Diagnose, Beurteilung von Therapieerfolg

und Risikostratifizierung ist eines der wichtigsten Anwendungsgebiete der Echokardiographie. Die Deformations-Bildgebung wurde entwickelt, um eine objektive Quantifizierung zu gewährleisten [27]. Prinzipiell stehen 2 Verfahren mit unterschiedlichen Limitationen zur Verfügung: der Gewebedoppler (Tissue-Doppler) und das Gray-Scale-Speckle-Tracking. Bisher wurde im klinischen Alltag hauptsächlich die semiquantitative visuelle Beurteilung der Ventrikelfunktion benutzt, bzw. die EF-Bestimmung nach Simpson, welche durch Verkürzung der Ventrikeldarstellung (apikales Fore-shortening) fehleranfällig, sowie von der Endokardabgrenzbarkeit abhängig ist. Die Strain-Analyse gewinnt nun aufgrund wachsender Evidenz immer mehr klinisch an Bedeutung, v. a. die Bestimmung des globalen longitudinalen systolischen Strains [28]. Bei der Anwendung dieser Techniken ist die Kenntnis der technischen Grundlagen hinsichtlich Stärken und Grenzen wichtig [29]. Insgesamt ist die Datenlage zur breiten klinischen Anwendung des Speckle-Trackings noch unklar, eine wichtige Limitation ist die fehlende Standardisierung zwischen den verschiedenen Geräteanbietern, wodurch die erhobenen Werte nur bedingt vergleichbar sind.

#### Strain und Strainrate – Konzept

Strain, das englische Wort für Deformation, beschreibt die Länge im Vergleich zur Ursprungslänge des Gewebes (d. h. Verlängerung, Verkürzung oder Verdickung). Strain (S), oder das Ergebnis an Deformation, ist definiert als Quotient aus Ursprungs-Länge (L) und Änderung der Länge ( $\Delta L$ ) (Formel:  $S = \Delta L/L$ ), und wird in Prozent angegeben. Strain pro Zeiteinheit ergibt die sogenannte Strainrate (Sr), welche in  $s^{-1}$  angegeben wird. Die myokardiale Deformation kann mit 4 möglichen Richtungsvektoren quantifiziert werden – Ausgangspunkt der Messung ist jeweils die Enddiastole: longitudinale Verkürzung, radiale und zirkumferentielle Verdickung und Rotation.

Strain und Strainrate können einerseits mittels Gewebedoppler (Tissue-Doppler), andererseits mittels Speckle-Tracking erhoben werden. Der Gewebedoppler nutzt den Doppler-Frequenz-Shift, um Geschwindigkeiten zu berechnen. Das Speckle-Tracking ist ein Softwarealgorithmus, welcher sich das typische körnige 2D-Bild zu Nutze macht. Die Körner/Flecken (Speckles) sind natürliche akustische Marker, welche über den Herzzyklus verfolgt werden können, somit kann die Deformation quantifiziert werden. Ein Vorteil der Speckle-



**Abbildung 17:** Patient mit paradoxer Low-flow-Aortenstenose (Klappenöffnungsfläche 1 cm<sup>2</sup>, mittlerer Gradient 19 mmHg): Deutlich degenerativ veränderte Klappe, visuell und volumetrisch lediglich grenzwertig bis leicht reduzierte systolische Funktion (EF = 50 %), allerdings deutlich reduzierte longitudinale Funktion (globaler longitudinaler Strain -11.4 %), welche sich auch im reduzierten Schlagvolumen von SVi 33 ml/m<sup>2</sup> widerspiegelt.

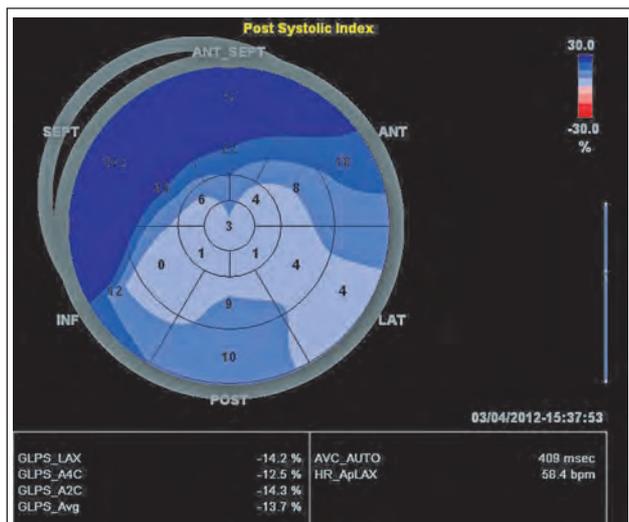
Tracking-Technologie besteht in der Unabhängigkeit vom Schall-Messwinkel.

Die Normalwerte sind abhängig von Geschlecht und Alter [30]; das Speckle-Tracking tendiert zu höheren Werten (Überschätzung), das Tissue-Doppler-Imaging eher zu Unterschätzung der Deformationswerte.

### Strain und Strainrate – Klinische Applikationen

#### Herzklappenerkrankungen: Aortenstenose

Die Abnahme der Linksventrikelfunktion stellt eine absolute Indikation zum Aortenklappenersatz bei hochgradiger asymptomatischer Aortenstenose dar [ESC Valvular Guidelines 2012]. Durch längerbestehende Umbauprozesse, Hypertrophie und Fibrose kann die Ventrikelfunktion bereits abneh-



**Abbildung 18:** Postsystolischer Index, Bull's-Eye-Darstellung. Postsystolische Verkürzung (dunkelblau) nach dem Aortenklappenschluss bei Ischämie.

men, obwohl die LV EF noch „normal“ erscheint, und sich dann postoperativ nicht oder unvollständig erholen. Aus diesem Grund könnte die frühe Aufdeckung von Kontraktilitätsstörungen eine wichtige Rolle in der Prognose der Aortenstenose spielen. Rezente Studien konnten zeigen, dass die Reduktion von Strain und Strainrate hämodynamischen Effekten sowie Symptomen vorangeht, und die Beeinträchtigung der Kontraktilität im Strain mit dem Schweregrad der Aortenstenose und der Prognose vor und nach Aortenklappenersatz korreliert [31–34] (Abb. 17).

#### Mitralinsuffizienz und Aortenklappeninsuffizienz

Die Linksventrikelfunktion bestimmt wesentlich das Outcome bei Herzklappenerkrankungen und die Operationsindikation bei Mitralinsuffizienz oder Aorteninsuffizienz. Die echokardiographische Quantifizierung der EF über volumetrische Messungen unterliegt o. g. Limitationen und ist nicht sensitiv genug, um subtile Änderungen zu detektieren. Der globale LV-Strain könnte helfen aufzudecken, welche Patienten möglicherweise von einer früheren Mitralklappen-Rekonstruktion oder einem Mitralklappen-Ersatz profitieren [35–38]. Ähnlich wurde bei mittel- und höhergradiger Aorteninsuffizienz gezeigt, dass Strain und Strainrate bei noch erhaltener EF bereits reduziert waren und einen frühen Rückgang der Linksventrikelfunktion aufzeigen, sowie das postoperative Ergebnis nach Aortenklappenersatz vorhersagen [39, 40]. Die Quantifizierung der LV-Funktion mittels Strain-Parameter könnte insgesamt das optimale Timing von Klappenoperationen verbessern.

#### Koronare Herzkrankheit (Abb. 18)

Die Beurteilung der regionalen Wandbewegungsstörung ist erfahrungsabhängig mit hoher Untersucher-Inter-/Intravariabilität. Limitierend ist auch die Bildqualität. Mittels regionaler Speckle-Tracking oder Tissue-Doppler-Analyse kann eine Beeinträchtigung und Verspätung der Kontraktilität festgestellt werden [41, 42]. Ein typisches Phänomen zur Detektion von frühen Phasen der Ischämie bzw. myokardialen Stunning ist die postsystolische Verkürzung nach dem Aortenklappenschluss. Bei der chronischen Ischämie steht

vor allem die Abnahme der maximalen Deformation im Vordergrund.

Strain und Strainrate nehmen auch einen immer wichtigeren Stellenwert in der Stressechokardiographie ein. Mittels Tissue-Doppler kann beispielsweise die Evaluierung der Myokardvitalität verbessert werden [43]. Auch die Kombination von Speckle-Tracking und Tissue-Doppler-Imaging im Rahmen der Stressechokardiographie zur Quantifizierung der Vitalität vor Revaskularisation könnte herkömmliche Methoden verbessern [44].

#### ■ Dyssynchronie

Die aktuellen Herzinsuffizienz-Guidelines definieren die Indikation zu CRT (Kardiale Resynchronisationstherapie) nach klinischen (NYHA-Klasse) und elektrokardiographischen Kriterien (QRS-Dauer  $\geq 120$  msec mit Linksschenkelblock, oder QRS  $\geq 150$  msec unabhängig von LSB), echokardiographisch ist vor allem die reduzierte Linksventrikelfunktion (EF  $\leq 35$  %) eine wesentliche Indikation. Bei der CRT ist mit etwa einem Drittel an Nicht-Respondern zu rechnen, was die Notwendigkeit einer besseren Patientenselektion reflektiert. Die echokardiographische Quantifizierung der intraventrikulären Dyssynchronie umfasst insbesondere den Gewebe-Doppler und die Speckle-Tracking-Analyse. Die momentanen Empfehlungen zur Vorhersage der CRT-Response favorisieren die Verwendung des Gewebe-Dopplers zur Quantifizierung der gegenüberliegenden Wandverspätung sowie des radialen sowie zirkumferenziellen und longitudinalen Strains mittels Speckle-Tracking. Auch der sogenannte Yu-Index wird empfohlen [45, 46].

#### ■ Dreidimensionale Echokardiographie

Die dreidimensionale Echokardiographie hat sich in den vergangenen Jahren deutlich weiterentwickelt [2, 3]. Es ist nun sogar möglich, bereits während des Untersuchungsgangs (Live 3D) bewegte dreidimensionale Bilder darzustellen (4D). Möglich wurde dies durch die Entwicklung von Matrix-Array-Schallköpfen, welche einen „pyramidenförmigen“ Schallstrahl erzeugen. Ein Teil der Rechenleistung erfolgt bereits im Schallkopf. In den vergangenen Jahren sind diese Schallköpfe immer kleiner geworden, sodass sie auch im klinischen Alltag praktikabel einsetzbar sind. Vor allem ist es nun auch möglich, transösophageale Sonden mit 3D-Schallköpfen auszurüsten. Gerade die Entwicklung von transösophagealen 3D-Sonden haben der gesamten Methodik neuen Auftrieb gegeben. Die hohe Auflösung der transösophagealen Echokardiographie gepaart mit der Echtzeitdarstellung macht dieses Verfahren ideal für das Monitieren von interventionellen Eingriffen wie zum Beispiel dem Verschluss von Vorhofseptumdefekten (Abb. 19), dem Mitralklappenclipping (MitraClip-Prozedur, Abb. 20) oder dem Herzohrverschluss. Die Rekonstruktion und Vermessung von Herzklappen und ihren Pathologien liefert zusätzliche wichtige Informationen, welche bei der chirurgischen oder interventionellen Planung von Bedeutung sind (Abb. 21).

Die Anwendungsmöglichkeiten der 3D-Technik sind vielfältig und beschränken sich nicht nur auf die räumliche Darstel-

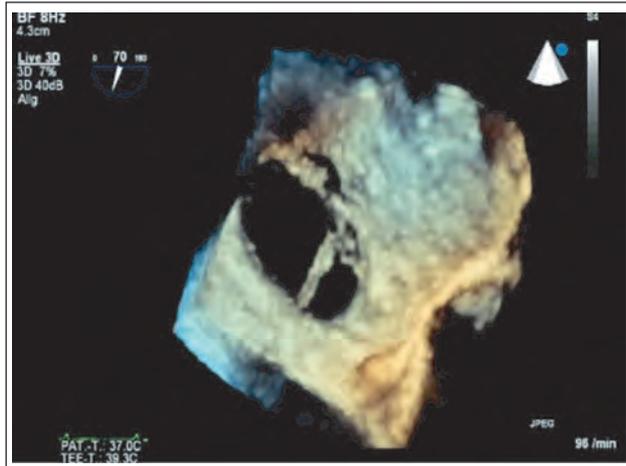


Abbildung 19: Septierter Vorhofseptumdefekt; Ansicht vom rechten Vorhof.

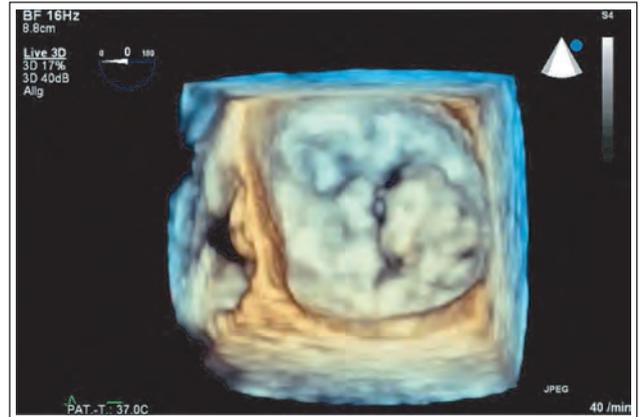


Abbildung 21: Ansicht der Mitralklappe vom linken Vorhof. Es zeigt sich ein Mitralklappenprolaps bei höhergradiger Mitralsuffizienz.

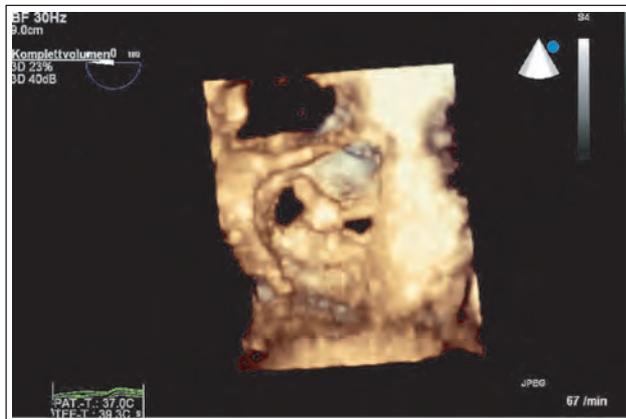


Abbildung 20: Ansicht der Mitralklappe vom linken Ventrikel nach Implantation eines MitraClip. Die Klappe hat nun 2 Öffnungen, in der Mitte ist der Clip erkennbar.

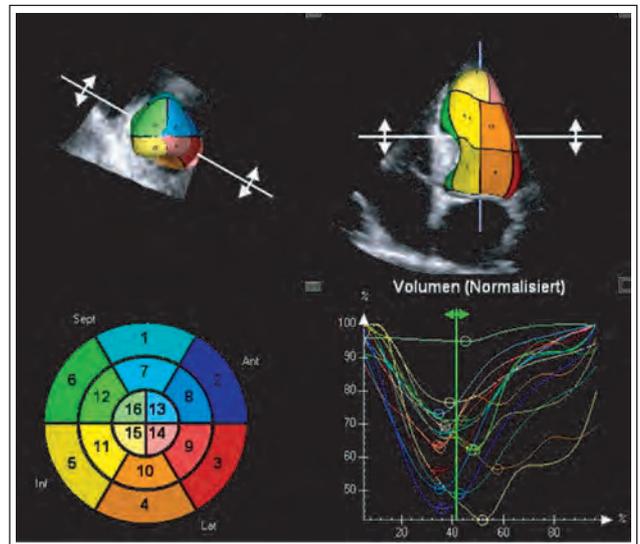


Abbildung 22: Patient nach Vorderwandinfarkt mit apikalen Aneurysma. Neben der 3D-Ventrikeldarstellung werden auch die regionale und die globale Auswurf-fraktion angezeigt.

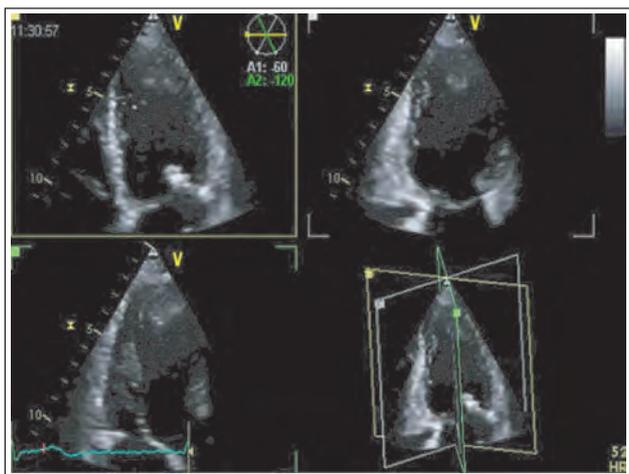
lung kardialer Strukturen [2]. Sie ermöglicht auch eine viel genauere Berechnung von Volumina und Auswurffractionen [47] und sogar die Berechnung von regionalen Auswurffractionen (Abb. 22). Es besteht kein Zweifel, dass die 3D-Echokardiographie hier dem konventionellem 2D-Verfahren überlegen ist. Besonders trifft dies auf den rechten Ventrikel zu, welcher eine komplexe Geometrie aufweist und somit exakter mittels der 3D-Methode erfasst werden kann. Die 3D-Technik ermöglicht es auch, während des Schallens mehrere Schnittebenen simultan darzustellen (multiplane Darstellung). So können beispielsweise alle apikalen Schnitte gleichzeitig und in „real time“ angezeigt werden (Abb. 23). Die Kombination der 3D-Darstellung mit anderen Verfahren wie zum Beispiel dem Gewebedoppler, dem Speckle-Tracking (Strain-Analyse) oder Kontrastmittel eröffnet ganz neue Anwendungsbereiche und wird diesen ebenfalls neue Impulse geben. Zum Beispiel kann die Berechnung des Strains bei VH-Flimmern leichter erfolgen (alle Schnitte werden während des selben Zyklus aufgezeichnet).

Auch an der Berechnung des 3D-Strains wird gearbeitet, um somit neue Erkenntnisse über die Mechanik des Herzens zu liefern. Für die Stressechokardiographie eignet sich eine Darstellung, bei der mehrere parallele Kurzschnittschnitte aus dem Datensatz rekonstruiert werden und simultan zur Darstellung kommen (Abb. 24). So kann ohne Veränderung der

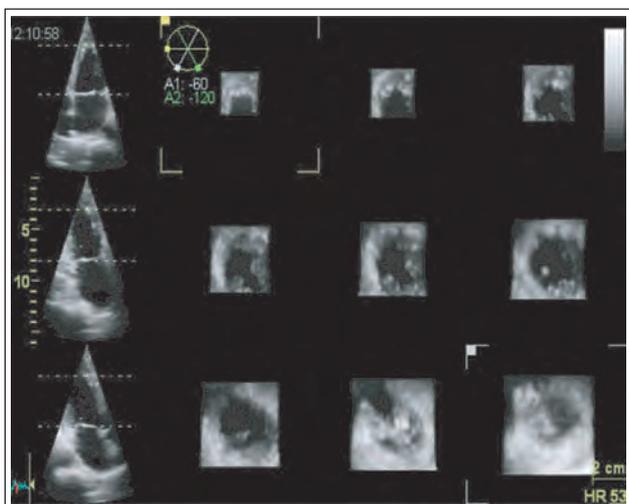
Schallkopfposition während der Untersuchung das ganze Herz während der Belastung beurteilt werden. Etliche Autoren konnten darüber hinaus zeigen, dass die 3D-Technik auch hervorragend für den Nachweis und der Quantifizierung der Dyssynchronie (Kardiale Resynchronisationstherapie) geeignet ist.

### Limitationen

Auch wenn kein Zweifel daran besteht, dass die 3D-Echokardiographie immer besser wird und in gewissen Bereichen bereits Einzug in die klinische Echokardiographie gefunden hat, muss darauf hingewiesen werden, dass ihr derzeitige Einsatz in den meisten Zentren noch relativ beschränkt ist. Dies liegt daran, dass die Geräte teuer und noch nicht überall verfügbar sind. Ein wesentlicher Grund ist aber auch der zeitliche Mehraufwand, welcher mit der 3D-Methode verbunden ist. Aus methodischer Sicht ist die geringere Bildwiederholungsrate (im Vergleich zur konventionellen Echokardiographie) ein Problem. Weiters muss die Datenakquisition für das Aufzeichnen eines gesamten Datensatzes oftmals aus verschiedenen Herzzyklen erfolgen. Dies führt wiederum zu so-



**Abbildung 23:** Simultane Darstellung der apikalen Schnitte mittels der 3D-Echokardiographie.



**Abbildung 24:** Rekonstruktion mehrerer Kurzachsenschnitte aus einem apikal angezeichneten Datensatz („9 slice view“).

genannten „stitching artifacts“ („Nahtstellen“ bei Zusammenfügung der Zyklen).

Zusammenfassend bietet die 3D-Echokardiographie eine Reihe neuer Möglichkeiten, welche nun komplementär zur konventionellen Echokardiographie eingesetzt werden kann. Es bleibt abzuwarten, welchen Stellenwert diese Technik mit der Verbesserung der Analyseverfahren und der einfacheren Handhabung in der Echokardiographie haben wird.

### ■ Stellenwert neuer Pocket-Technologien

Seit jüngster Zeit sind sehr kleine mobile Taschengeräte am Markt, welche in nahezu Größe eines modernen Mobiltelefons angeboten werden, und ähnlich einem Stethoskop direkt bei der Patientenuntersuchung angewendet werden können [48]. Diese können in Echokardiographie-erfahrenen Händen einen Einsatz direkt am Krankenbett auch außerhalb des Krankenhauses oder der Ordination, sowie bei Noteinsätzen oder in der Rettung ermöglichen. Zu bedenken sind jedoch die Limitationen, dass der Bildschirm sehr klein ist und die Schallqualität in Abhängigkeit des Patienten sehr eingeschränkt sein kann. Derzeit

ist die CW- oder PW-Doppleruntersuchung noch nicht möglich, jedoch die Farbdoppler-Untersuchung in bereits akzeptabler Qualität. Die Dokumentation der Aufnahmen bei der Untersuchung ist erst eingeschränkt möglich bzw. erfordert die Anbindung an andere Technologien. Es ist zu bedenken, dass die Pocket-Echokardiographie zurzeit keinesfalls Ersatz für eine weiterführende ausführliche Echountersuchung darstellt, und ebenso eine gezielte Ausbildung erfordert, um Fehlbefunde und klinische Trugschlüsse in der Behandlung der Patienten zu vermeiden!

### ■ Zusammenfassung

Die Echokardiographie ermöglicht eine moderne, nicht-invasive, rasche und gut verfügbare Diagnostik, auch direkt am Krankenbett. Neue Technologien, Strain-Speckle-Tracking sowie die Entwicklung von 3D-/4D-Verfahren, und nicht zuletzt die Mobilität und Größenabnahme der Echogeräte verbessern weiter die kardiale Befundung und Interventionsmöglichkeiten im klinischen Alltag.

### ■ Interessenkonflikt

Die Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

### ■ Fragen zum Text

- 1) Welche der folgenden Aussagen über die echokardiographische Deformationsquantifizierung treffen zu?
  - a) Aufgrund der klaren Evidenz zugunsten von Strain sollte auf herkömmliche Funktionsparameter wie EF, visuelle Beurteilung der Linksventrikelfunktion („eyeballing“) und Berechnung von Schlagvolumen verzichtet werden.
  - b) Die Deformationsquantifizierung mittels Strain hat möglicherweise das Potenzial, noch vor Änderungen konventioneller echokardiographischer Parameter (z. B. EF), subklinische Linksventrikel-Dysfunktionen aufzudecken.
  - c) Ein typisches Phänomen zur Detektion von frühen Phasen der Ischämie bzw. myokardiale Stunnen ist die postsystolische Verkürzung nach dem Aortenklappenschluss.
  - d) Der myokardiale Strain kann ausschließlich mittels Gewebedoppler erhoben werden.
  - e) Der globale LV-Strain könnte helfen aufzudecken, welche Patienten möglicherweise von einer früheren Mitralklappen-Rekonstruktion oder einem Mitralklappen-Ersatz profitieren.
- 2) Welche nicht-invasiven bildgebenden Verfahren sollten für eine Notfallabteilung, die für die Abklärung und Therapie von akutem Thoraxschmerz und Dyspnoe zuständig ist, akut verfügbar sein?
  - a) Magnetresonanztomographie
  - b) Echokardiographie und Multislice-CT (MSCT)
  - c) Nuklearmedizinische Diagnostik
  - d) Magnetresonanztomographie und Echokardiographie
  - e) MSCT und Magnetresonanztomographie

- 3) Welcher Parameter für die Quantifizierung der Mitralinsuffizienz ist nicht mehr empfohlen?
- PISA
  - Vena Contracta
  - Fläche des Farbdoppler-Jets
  - Flow-Konvergenzzone
- 4) 3D-Echokardiographie: Welche Antwort ist falsch?
- Stitching-Artefakte entstehen, wenn Daten aus verschiedenen Herzzyklen zusammengeführt werden.
  - Die transösophageale dreidimensionale Echokardiographie kann während komplexer invasiver Prozeduren nutzbringend eingesetzt werden.
  - Die dreidimensionale Echokardiographie hat bei High-End-Geräten der neueren Generation keine klinisch relevanten Limitierungen bezüglich zeitlicher und räumlicher Auflösung.
  - Die Bestimmung der linksventrikulären Auswurf-fraktion mittels dreidimensionaler Echokardiographie ist der zweidimensionalen Methode überlegen.

**Lösung**

**Literatur:**

1. Lang R, Bierig M, Devereux R, et al. Recommendations for Chamber Quantification. A report from the American Society of Echocardiography's Nomenclature and Standards Committee, the Task Force on Chamber Quantification, and the European Association of Echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2006; 7: 79–108.

2. Lang RM, Badano LP, Tsang W, et al. EAE/ASE recommendations for image acquisition and display using three-dimensional echocardiography. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2012; 13: 1–46.

3. Lang RM, Tsang W, Weinert L, Mor-Avi V, Chandra S. Valvular heart disease. The value of 3-dimensional echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 2011; 58: 1933–44.

4. Senior R, Becher H, Monaghan M, Agati L, Zamorano J, Vanoverschelde JL, Nihoyannopoulos P. Contrast echocardiography: evidence-based recommendations by European Association of Echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2009; 10: 194–212.

5. Hauser AM, Gangadharan V, Ramos RG, Gordon S, Timmis GC. Sequence of mechanical, electrocardiographic and clinical effects of repeated coronary artery occlusion in human beings: echocardiographic observations during coronary angioplasty. *J Am Coll Cardiol* 1985; 5 (2 Pt 1): 193–7.

6. Flachskampf FA, Daniel WG. Cardiac imaging in the patient with chest pain: echocardiography. *Heart* 2010; 96: 1063e–1072e.

7. Hamm CW, Bassand JP, Agewall S, et al. ESC Committee for Practice Guidelines. ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation: The Task Force for the management of acute coronary syndromes (ACS) in patients presenting without persistent ST-segment elevation of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 2011; 32: 2999–3054.

8. Van de Werf F, Bax J, Betriu A, et al; ESC Committee for Practice Guidelines (CPG). Management of acute myocardial infarction

in patients presenting with persistent ST-segment elevation: the Task Force on the Management of ST-Segment Elevation Acute Myocardial Infarction of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 2008; 29: 2909–45.

9. Evangelista A, Flachskampf FA, Erbel R, et al; European Association of Echocardiography. Echocardiography in aortic diseases: EAE recommendations for clinical practice. *Eur J Echocardiogr* 2010; 11: 645–58.

10. Torbicki A, Perrier A, Konstantinides S, et al; ESC Committee for Practice Guidelines. Guidelines on the diagnosis and management of acute pulmonary embolism: the Task Force for the Diagnosis and Management of Acute Pulmonary Embolism of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 2008; 29: 2276–315.

11. Vahanian A, Alfieri O, Andreotti F, et al. Guidelines on the management of valvular heart disease (version 2012): The Joint Task Force on the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur Heart J* 2012; 33: 2451–96.

12. Baumgartner H. Low-Flow, Low-Gradient Aortic Stenosis With Preserved Ejection Fraction: Still a Challenging Condition. *J Am Coll Cardiol* 2012; 60: 1268–70.

13. Habib G, Badano L, Tribouilloy C, et al; European Association of Echocardiography. Recommendations for the practice of echocardiography in infective endocarditis. *Eur J Echocardiogr* 2010; 11: 202–19.

14. Bergler-Klein J. Role of echocardiography in the evaluation of patients with Staphylococcus aureus bacteraemia: time to look at the heart. *Eur J Echocardiogr* 2011; 12: 411–3.

15. Baumgartner H, Hung J, Bermejo J, et al; American Society of Echocardiography; European Association of Echocardiography. Echocardiographic assessment of valve stenosis: EAE/ASE recommendations for clinical practice. *J Am Soc Echocardiogr* 2009; 22: 1–23.

16. Lancellotti P, Tribouilloy C, et al; European Association of Echocardiography. European

Association of Echocardiography recommendations for the assessment of valvular regurgitation. Part 1: Aortic and pulmonary regurgitation (native valve disease). *Eur J Echocardiogr* 2010; 11: 223–44.

17. Lancellotti P, Moura L, Pierard LA, et al; European Association of Echocardiography. European Association of Echocardiography recommendations for the assessment of valvular regurgitation. Part 2: Mitral and tricuspid regurgitation (native valve disease). *Eur J Echocardiogr* 2010; 11: 307–32.

18. Flachskampf FA, Badano L, Daniel WG, et al; European Association of Echocardiography; Echo Committee of the European Association of Cardiothoracic Anaesthesiologists, Roelandt JR, Piérard L. Recommendations for transoesophageal echocardiography: Update 2010. *Eur J Echocardiogr* 2010; 11: 557–76.

19. Zamorano JL, Badano LP, Bruce C, et al. EAE/ASE recommendations for the use of echocardiography in new transcatheter interventions for valvular heart disease. *J Am Soc Echocardiogr* 2011; 24: 937–65.

20. McMurray JJ, Adamopoulos S, Anker SD, et al. ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2012: The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Acute and Chronic Heart Failure 2012 of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 2012; 33: 1787–847.

21. Rudski LG, Lai WW, Afilalo J, et al. Guidelines for the Echocardiographic Assessment of the Right Heart in Adults: A Report from the American Society of Echocardiography Endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2010; 23: 685–713.

22. Nagueh SF, Bierig SM, Budoff MJ, et al; American Society of Echocardiography; American Society of Nuclear Cardiology; Society for Cardiovascular Magnetic Resonance; Society of Cardiovascular Computed Tomography. American Society of Echocardiography clinical recommendations for multimodality cardiovascular imaging of patients with hypertrophic cardiomyopathy: Endorsed by the American Society of Nuclear Cardiology, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, and Society of Cardiovascular Computed Tomography. *J Am Soc Echocardiogr* 2011; 24: 473–98.

23. Maisch B, Seferović PM, Ristić AD; the Task force on the diagnosis and management of pericardial diseases of the European society of cardiology. Guidelines on the diagnosis and management of pericardial diseases executive summary. *Eur Heart J* 2004; 25: 587–610.

24. Little WC, Freeman GL. Pericardial disease. *Circulation* 2006; 113: 1622–32.

25. Pepi M, Evangelista A, Nihoyannopoulos P, et al. Recommendations for echocardiography use in the diagnosis and management of cardiac sources of embolism: European Association of Echocardiography (EAE) (a registered branch of the ESC). *Eur J Echocardiogr* 2010; 11: 461–76.

26. Hiratzka LF, Bakris GL, Beckman JA, et al. 2010 ACCF/AHA/AATS/ACR/ASA/SCA/SCAI/SIR/STS/SVM Guidelines for the diagnosis and management of patients with thoracic aortic disease. A Report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines, American Association for Thoracic Surgery, American College of Radiology, American Stroke Association, Society of Cardiovascular Anesthesiologists, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Interventional Radiology, Society of Thoracic Surgeons, and Society for Vascular Medicine. *J Am Coll Cardiol* 2010; 55: e27–e129.

27. Mor-Avi V, Lang RM, Badano LP, et al. Current and evolving echocardiographic techniques for the quantitative evaluation of cardiac mechanics: ASE/EAE consensus statement on methodology and indications endorsed by the Japanese Society of Echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2011; 12: 167–205.

28. Blessberger H, Binder T. Two dimensional speckle tracking echocardiography: clinical applications. *Heart* 2010; 96: 2032–40.

29. D'Hooge J, Heimdal A, Jamal F, et al. Regional strain and strain rate measurements by cardiac ultrasound: Principles, implementation and limitations. *Eur J Echocardiogr* 2000; 1: 154–70.

30. Dalen H, Thorstensen A, Aase SA, Ingul CB, Torp H, Vatten LJ, Stoylen A. Segmental and global longitudinal strain and strain rate based on echocardiography of 1266 healthy individuals: The HUNT study in Norway. *Eur J Echocardiogr* 2010; 11: 176–83.

31. Poulsen SH, Sogaard P, Nielsen-Kudsk JE, Egeblad H. Recovery of left ventricular systolic longitudinal strain after valve replacement in aortic stenosis and relation to natriuretic peptides. *J Am Soc Echocardiogr* 2007; 20: 877–84.

32. Cramariuc D, Gerds E, Davidsson ES, Segadal L, Matre K. Myocardial deformation in aortic valve stenosis: Relation to left ventricular geometry. *Heart* 2010; 96: 106–12.

33. Yingchoncharoen T, Gibby C, Rodriguez LL, Grimm RA, Marwick TH. Association of myocardial deformation with outcome in asymptomatic aortic stenosis with normal ejection fraction. *Circ Cardiovasc Imaging* 2012; 5: 719–25.

34. Dahl JS, Videbaek L, Poulsen MK, Rudbaek TR, Pelliikka PA, Moller JE. Global strain in severe aortic valve stenosis: Relation to clinical outcome after aortic valve replacement. *Circ Cardiovasc Imaging* 2012; 5: 613–20.

35. Witkowski TG, Thomas JD, Debonnaire PJ, et al. Global longitudinal strain predicts left ventricular dysfunction after mitral valve repair. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2013; 14: 69–76.

36. Ternacle J, Berry M, Alonso E, Kloeckner M, Couetil JP, Rande JL, Gueret P, Monin JL, Lim P. Incremental value of global longitudinal strain for predicting early outcome after cardiac surgery. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2013; 14: 77–84.

37. Bergler-Klein J. Global longitudinal strain for predicting outcome after mitral repair or cardiac surgery: here to stay? *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2013; 14: 12–4.

38. Lancellotti P, Cosyns B, Zacharakis D, et al. Importance of left ventricular longitudinal function and functional reserve in patients with degenerative mitral regurgitation: Assessment by two-dimensional speckle tracking. *J Am Soc Echocardiogr* 2008; 21: 1331–6.

39. Kaneko A, Tanaka H, Onishi T, Ryo K, Matsumoto K, Okita Y, Kawai H, Hirata KI. Subendocardial dysfunction in patients with chronic severe aortic regurgitation and preserved ejection fraction detected with speckle-tracking strain imaging and transmural myocardial strain profile. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2012 [Epub ahead of print].

40. Olsen NT, Sogaard P, Larsson HB, et al. Speckle-tracking echocardiography for predicting outcome in chronic aortic regurgitation during conservative management and after surgery. *JACC Cardiovasc Imaging* 2011; 4: 223–30.

41. Bijns BH, Cikes M, Claus P, Sutherland GR. Velocity and deformation imaging for the assessment of myocardial dysfunction. *Eur J Echocardiogr* 2009; 10: 216–26.

42. Gorcsan J<sup>3rd</sup>, Tanaka H. Echocardiographic assessment of myocardial strain. *J Am Coll Cardiol* 2011; 58: 1401–13.
43. Hoffmann R, Altiok E, Nowak B, et al. Strain rate measurement by doppler echocardiography allows improved assessment of myocardial viability inpatients with depressed left ventricular function. *J Am Coll Cardiol* 2002; 39: 443–9.
44. Bansal M, Jeffriess L, Leano R, Mundy J, Marwick TH. Assessment of myocardial viability at dobutamine echocardiography by deformation analysis using tissue velocity and speckle-tracking. *JACC Cardiovasc Imaging* 2010; 3: 121–31.
45. Vardas PE, Auricchio A, Blanc JJ, et al. Guidelines for cardiac pacing and cardiac resynchronization therapy: The task force for cardiac pacing and cardiac resynchronization therapy of the European society of cardiology. Developed in collaboration with the European heart rhythm association. *Eur Heart J* 2007; 28: 2256–95.
46. Gorcsan J<sup>3rd</sup>, Abraham T, Agler DA, et al. Echocardiography for cardiac resynchronization therapy: Recommendations for performance and reporting – a report from the American Society of Echocardiography Dyssynchrony Writing Group endorsed by the Heart Rhythm Society. *J Am Soc Echocardiogr* 2008; 21: 191–213.
47. Nesser HJ, Mor-Avi V, Gorissen W, et al. Quantification of left ventricular volumes using three-dimensional echocardiographic speckle tracking: comparison with MRI. *Eur Heart J* 2009; 30: 1565–73.
48. Sicari R, Galderisi M, Voigt JU, et al. The use of pocket-size imaging devices: a position statement of the European Association of Echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2011; 12: 85–7.

*Die entsprechenden Filme finden Sie unter [www.kup.at/A11234](http://www.kup.at/A11234) oder mittels Eingabe von A11234 in ein Suchfeld auf [www.kup.at](http://www.kup.at)*

**Richtige Lösungen: 1b, c, e; 2b; 3c; 4c**

**← Zurück**

# Mitteilungen aus der Redaktion

Besuchen Sie unsere Rubrik

## [Medizintechnik-Produkte](#)



Neues CRTD Implantat  
Intica 7 HF-T QP von Biotronik



Artis pheno  
Siemens Healthcare Diagnostics GmbH



Philips Azurion:  
Innovative Bildgebungslösung

Aspirator 3  
Labotect GmbH



InControl 1050  
Labotect GmbH

## e-Journal-Abo

Beziehen Sie die elektronischen Ausgaben dieser Zeitschrift hier.

Die Lieferung umfasst 4–5 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Unsere e-Journale stehen als PDF-Datei zur Verfügung und sind auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

## [Bestellung e-Journal-Abo](#)

### Haftungsausschluss

Die in unseren Webseiten publizierten Informationen richten sich **ausschließlich an geprüfte und autorisierte medizinische Berufsgruppen** und entbinden nicht von der ärztlichen Sorgfaltspflicht sowie von einer ausführlichen Patientenaufklärung über therapeutische Optionen und deren Wirkungen bzw. Nebenwirkungen. Die entsprechenden Angaben werden von den Autoren mit der größten Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Die angegebenen Dosierungen sind im Einzelfall anhand der Fachinformationen zu überprüfen. Weder die Autoren, noch die tragenden Gesellschaften noch der Verlag übernehmen irgendwelche Haftungsansprüche.

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

[Impressum](#)

[Disclaimers & Copyright](#)

[Datenschutzerklärung](#)