

R. Hoffmann

Positionspapier zu Qualitätsstandards in der Echokardiographie

Herausgegeben vom Vorstand der
Deutschen Gesellschaft für Kardiologie –
Herz- und Kreislaufforschung
Bearbeitet im Auftrag der Kommission
für Klinische Kardiologie
R.H. Strasser, D. Andresen,
F. de Haan, G. Ertl, H. Mudra,
A. Osterspey, H.J. Trappe, K. Werdan,
außerdem G. Arnold, H.M. Hoffmeister,
E. Fleck

R. Hoffmann, Universitätsklinikum Aachen
T. Buck, Universitätsklinikum Essen
H. Lambertz, Deutsche Klinik für Diagnostik, Wiesbaden
H. von Bibra, Städt. Krankenhaus Bogenhausen
S. Mohr-Kahaly, Wiesbaden
K. Tiemann, Universitätsklinikum Bonn
A. Hagendorff, Universitätsklinikum Leipzig
W. Voelker, Medizinische Universitätsklinik Würzburg
H.F. Kücherer, Medizinische Universitätsklinik Heidelberg
A. Franke, Universitätsklinikum Aachen
F.A. Flachskampf, Universitätsklinikum Erlangen
S. Heinemann, Kardiologisch-angiologische Praxis, Halle/S.
W. Fehske, St. Vinzenz-Hospital, Köln
U. Nixdorff, Universitätsklinikum Erlangen
(für die Arbeitsgruppe Kardiovaskulärer Ultraschall der DGK)

1997 wurden erstmals Qualitätsleitlinien zur Echokardiographie vom Vorstand der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie- Herz- und Kreislaufforschung herausgegeben [6]. Die Erarbeitung erfolgte in enger Zusammenarbeit mit der Deutschen Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin (DEGUM). Das vorliegende Positionspapier zur Qualität in der Echokardiographie stellt eine Fortführung dar. Der Erstellung dieses Positionspapiers lagen bis Mai 2003 veröffentlichte Arbeiten zum Thema „Echokardiographie“ zugrunde. Eine systematische Literaturrecherche wurde durchgeführt. Berücksichtigung fanden auch Publikationen und Empfehlungen der amerikanischen Fachgesellschaften (AHA/ACC sowie ASE) und der europäischen Fachgesellschaft (ESC).

Ziel dieses Positionspapiers: Die Echokardiographie ist heute ein zentrales Element der nicht invasiven kardiologischen Diagnostik. Neben der Funktionsanalyse des linken und rechten Ventrikels gelingt die Funktionsbeurteilung der Vorhöfe und Herzklappen.

Spezialtechniken wie die transösophageale Echokardiographie, die Stressechokardiographie und die Kontrastechokardiographie erweitern die diagnostischen Möglichkeiten der Echokardiographie über die Eröffnung neuer echokardiographischer Fenster, die ventrikuläre Funktionsanalyse unter Belastung zur Erkennung induzierbarer myokardialer Ischämie und die Möglichkeit zur Beurteilung myokardialer Perfusion. Weiter stellt die Echokardiographie eine unverzichtbare Methode für die Diagnostik angeborener Herzfehler dar.

Bei jedem echokardiographischen Verfahren bestehen spezielle Anforderungen an Gerät, Anwendung und Ausbildung. Die Nutzung echokardiographischer Techniken ist sehr untersucherabhängig. Anwendungs- und Ausbildungsrichtlinien für jede der heute in der Klinik zum Einsatz kommenden echokardiographischen Techniken sind von amerikanischen und europäischen Fachgesellschaften formuliert worden. *Das hier vorgelegte Positionspapier soll den speziellen deutschen Verhältnissen Rechnung tragen.*

Das Positionspapier zu Qualitätsstandards in der Echokardiographie enthält Angaben zur Sicherung der *Strukturqualität* über die Formulierung von Mindestanforderung an die notwendige Geräteausstattung. Angaben zur differenzierten Untersucherqualifikation und zur Ergebnisqualität werden im

Prof. Dr. Rainer Hoffmann (✉)
Universitätsklinikum Aachen
Medizinische Klinik I
Panwelsstraße 30
52057 Aachen

Tab. 1 Klasseneinteilung zur Indikationsstellung einer Maßnahme

Klasse I:	Empfehlung, dass die Maßnahme oder Therapie nützlich ist.
Klasse IIa:	Empfehlung, dass die Maßnahme oder Therapie eher nützlich/wirksam ist.
Klasse IIb:	Empfehlung einer Maßnahme oder Therapie, die möglicherweise nützlich ist.
Klasse III:	Empfehlung, dass die Maßnahme oder Therapie nicht nützlich/wirksam ist und eventuell schädlich.

In Anlehnung an Trappe HJ (2003) Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung. Z Kardiol 92:689–693

Leitfaden Qualitätssicherungsmaßnahmen beschrieben (in Vorbereitung). Weiter werden Angaben zur Sicherung der *Prozessqualität* über eine methodenspezifische Darstellung des Untersuchungsablaufes, der Befundung und Dokumentation gegeben.

Eine indikationsbezogene Darstellung der durchzuführenden echokardiographischen Untersuchungstechniken ist in Vorbereitung und wird getrennt publiziert.

In das vorliegenden Positionspapier sind die Klasseneinteilung zur Indikationsstellung einer Maßnahme entsprechend den üblichen Kriterien aufgenommen worden [21] (Tab. 1).

1. Untersucherqualifikation

Die Verantwortung für die korrekte Durchführung und Beurteilung der transthorakalen Echokardiographie obliegt einem Arzt. Die Durchführung der transthorakalen Echokardiographie erfordert eine strukturierte Ausbildung in allen bildgebenden Verfahren (2D- und M-mode-) und Flussanalyse-Verfahren (gepulste- und CW-Doppler-, farbkodierte-2D- und M-mode-). Die transösophageale Echokardiographie, die Belastungsechokardiographie und die Kontrastechokardiographie setzen ausreichende Erfahrungen in der transthorakalen Echokardiographie voraus und sind rein ärztliche Tätigkeiten. Für die Nutzung der sogenannten portablen Echokardiographie gelten die gleichen Voraussetzungen an die Qualifikation des Untersuchers wie bei Nutzung eines Standardgerätes.

2. Apparative Voraussetzungen

Für alle im Folgenden beschriebenen echokardiographischen Untersuchungstechniken sollten moderne elektronische Sektor-Scanner gegenüber mechanischen Systemen bevorzugt werden. Linear-Scanner sind ungeeignet, da sie eine zu große Auflagefläche und einen zu kleinen Überblick über das Herz ge-

ben. Die Phased-array Schallköpfe sollten mindestens 64 Kristalle und eine gleich große Anzahl an getrennten Kanälen besitzen.

Die verwendeten Schallkopffrequenzen sollen bei der transthorakalen Untersuchung von erwachsenen Patienten zwischen 2,0 und 5,0 MHz liegen und bei transösophagealen Untersuchungen zwischen 5,0 und 7,5 MHz; methodenspezifische Empfehlungen sind bei den einzelnen Verfahren angegeben. Schallköpfe mit Möglichkeit zum Harmonic Imaging sind dringend empfohlen. Die Bildfrequenz muss eine Echtzeit-Darstellung ermöglichen, d. h. sie muss mindestens 25 Bilder pro Sekunde in der 2-dimensionalen Echokardiographie betragen und mindestens 70 Bilder pro Sekunde im farbkodierten Gewebe-Doppler. Der Bildsektor sollte möglichst stufenlos variabel sein, ein Sektorwinkel von max. 80 bis 90° ist notwendig, um ausreichenden Überblick zu gewährleisten. Eine Erhöhung der Bildfrequenz sollte durch Verkleinerung des Sektors auf 30 bis 60° möglich sein. Die Möglichkeit zur Vergrößerung eines Bildausschnittes (Zoom-Modus) sollte vorhanden sein.

Bei jeder echokardiographischen Untersuchung ist eine simultane EKG-Registrierung mit eindeutiger R-Zackendefinition notwendig, um eine herzphasen-gesteuerte Interpretation zu ermöglichen.

Tragbare Echokardiographiegeräte (Synonyme u. a.: Handheld-Echokardiographie, Point-of-Care-Echokardiographie) haben gegenüber herkömmlichen Standard-Echokardiographiesystemen ein eingeschränktes Funktionsspektrum, erlauben dafür aber durch ihre geringe Größe und Gewicht einen schnellen Transport zum Patienten. Als Mindestanforderung werden die 2D-Registrierung und die 2D-Farb-Doppler-Registrierung gefordert. M-mode-Registrierung sowie gepulster und kontinuierlicher Doppler können die Beurteilung in Einzelfällen verbessern, sind jedoch optional. Um eine ausreichende Beurteilung der echokardiographischen Untersuchung zu ermöglichen, gelten die gleichen technischen Voraussetzungen für die Bildgebung, wie für Standardsysteme [19]. Eine EKG-Registrierung ist für die orientierende Untersuchung mit dem tragbaren Gerät nicht obligat. Zur Dokumentation ist die Speicherung von Einzelbildern, besser jedoch von Bildsequenzen mit mindestens der Länge eines Herzzyklus gefordert.

3. Dokumentation

3.1 Archivierung des Bildmaterials

Echokardiographische Untersuchungen müssen adäquat dokumentiert werden. Auf dem aufgezeichneten Bildmaterial müssen eindeutige Angaben zur Patien-

tenidentifikation, zum Untersuchungszeitpunkt (Datum, Uhrzeit), zum Untersucher und der Institution mitregistriert werden [4, 9].

Für jede Applikationsart ist eine nachvollziehbare Reihenfolge der aufgezeichneten Filmsequenzen bzw. der Einzelbilder mit Ausmessungen von Ultraschallregistrierungen einzuhalten.

Die Archivierung sollte bevorzugt durch digitale Aufzeichnung auf elektronischen Speichermedien erfolgen (Klasse I). Als alternative Dokumentation ist die Videoband-Registrierung in S-VHS-Qualität weiterhin zulässig. Für die Stressechokardiographie und Kontrastechokardiographie ist eine digitale Speicherung obligat. Die digitalen Aufzeichnungen sollten im DICOM-Format exportiert werden können, um die Kompatibilität mit anderen Systemen zu ermöglichen. Ein Elektrokardiogramm ist fortlaufend mitzuregistrieren.

Der Kompressionsgrad der Daten sollte bezüglich Bildrate, Bildschärfe und Farbauflösung nachvollziehbar sein. Die Qualität digitaler Registrierungen muss höher als die einer Videobandregistrierung sein.

Das Ausmass der erforderlichen Bilddokumentation variiert erheblich in Abhängigkeit von der patientenbezogenen Indikation, den eingesetzten Echoverfahren und den Befunden. Für eine transthorakale Routineuntersuchung sind in digitaler Technik unter Nutzung des parasternalen, apikalen und subkostalen Fensters Bildschleifen (parasternale lange und kurze Achse, apikaler 2- und 4-Kammerblick sowie subkostales Fenster unter Nutzung von 2-D Echokardiographie und Farbdoppler), eine M-mode- und zwei gepulste Einzelstrahl-Doppler-Registrierungen aufzuzeichnen.

Die digitale Archivierungstechnik sollte bei der Auswertung für Vergleichszwecke eine gleichzeitige Darstellung mehrerer Bildschleifen auf dem Geräte-monitor ermöglichen.

Bei der Stressechokardiographie muss zu jeder echokardiographischen Schnittebene mindestens ein Herzzyklus (Systole und Diastole) in Ruhe, während niedriger und hoher Belastung sowie nach Belastung aufgenommen werden. Wiedergabesysteme zur Anwendung in der Stressechokardiographie müssen mindestens vier Bildschleifen simultan über jeweils einen vollständigen Herzzyklus in synchronisierter Form darstellen können.

■ 3.2 Befundbericht

Der Befundbericht enthält folgende Angaben:

- a) Name der Institution
- b) Datum der Untersuchung
- c) Angaben zur Patientenidentifikation: Patientennamen, ggf. ID-Nummer, Geburtsdatum
- d) Fragestellung/Indikation

- e) Untersucher
- f) Befundender Arzt
- g) Art und Ablage der Dokumentation.
- h) Untersuchungsmodalität: transthorakal, transösophageal, Stress, Kontrastecho
- i) Bei Spezialuntersuchungen die Menge applizierter Medikamente/Kontrastmittel
- j) Angabe zur Qualität der abgeleiteten Echokardiogramme (schlecht, zufriedenstellend, gut)

Die eigentliche Befundung sollte unterteilt sein in einen quantitativen Abschnitt mit 2D-, M-mode-, CW-, gepulste-Doppler- und 2D-Farb-Messergebnissen, einen deskriptiven systematischen Abschnitt und die zusammenfassende Beurteilung, die die echokardiographischen Diagnosen beinhalten sollte [9]. Im Bedarfsfall sollte auch ein Abschnitt angeschlossen werden, in dem das vom Untersucher aufgrund der echokardiographischen Befunde vorgeschlagene weitere Vorgehen mitgeteilt werden kann.

Bei der Befundung sollte der publizierte tabellarische Datensatz quantitativer Referenzwerte und qualitativer Befundparameter berücksichtigt werden [24], der einer standardisierten Befundung echokardiographischer Untersuchungen dient. Der Datensatz muss jedoch nicht nach einem strengen Schema eingesetzt werden.

4. M-mode- und 2 D-Echokardiographie

Mit Hilfe der Standard-Bildeinstellungen für die Gesamtverstärkung (Gain), die abgestufte Tiefeneinstellung (TGC), Kontrast sowie axialem Fokus muss für jede Registrierung das Signal-Rauschverhältnis und damit die Bildqualität optimiert werden. Abbildungsqualität in mindestens 64 Graustufen ist erforderlich.

■ 4.1 M-mode-Registrierung

Gestützt auf das 2 D-Echokardiogramm sollen M-mode-Registrierungen in einer für die jeweiligen Fragestellungen ausreichenden zeitlichen Auflösung durchgeführt werden. Die Eindringtiefe sollte so gewählt werden, dass das Monitorbild bestmöglich ausgenutzt wird und die Dimensionen der Herzstrukturen größtmöglich abgebildet werden. Die Aufzeichnung der M-mode-Echokardiogramme hat parasternal in standardisierter Form zu erfolgen [7, 17].

Neben der Aortenwurzel und dem linken Vorhof wird von einer parasternalen Schallkopfposition aus in standardisierter Ableittechnik die Mitralklappe und der linke Ventrikel aufgenommen. Die gleichzeitige Registrierung des 2 D-Echokardiogramms er-

laubt die Überprüfung der korrekten Lage des Ultraschallstrahls. Aus der parasternalen Position im Kurzachsenschnitt kann zusätzlich die Trikuspidalklappe und die Pulmonalklappe dargestellt werden.

■ 4.2 2 D-Registrierung

Die Schnittbilddarstellung erfolgt mit einer Bildfrequenz von mindestens 25/s in mindestens 64 Graustufen. Zur Kalibrierung sollte auf dem Monitor ein Maßstab im Bildsektor eingeblendet sein. Die Eindringtiefe sollte so gewählt werden, dass das Monitorbild bestmöglich ausgenutzt wird und die Dimension der zu beurteilenden Herzstrukturen größtmöglich abgebildet werden. Für die Beurteilung von Details sollte eine Fokusvergrößerung erfolgen.

Die Dokumentation erfolgt in Standardschnittebenen [4, 18]. Registriert werden die linksparasternalen Längs- und Querschnitte, die apikalen 4-Kammer-; 2-Kammer- und Lange-Achse-Schnitte. Ergänzend sind ggf. subcostale Längs- und Querschnitte der unteren Hohlvene sowie kurze Achsen- und Vierkammerschnitte durch das Herz abzuleiten [7, 13, 18, 25]. Bei entsprechenden Fragestellungen sollte die ascendierende Aorta außerdem von rechts parasternal bzw. zusammenhängend mit dem gesamten Aortenbogen von suprasternal aus dargestellt werden. Zusatzebenen ergeben sich durch Darstellung pathologischer Befunde.

Bei vermindertem Signal-Rauschverhältnis sollte bei Echokardiographiesystemen mit Breitspektrum-Ultraschallsonden durch native harmonische Bildgebung die Bildqualität optimiert werden (Klasse I).

Tragbare Echokardiographiegeräte mit eingeschränktem Leistungsspektrum ermöglichen eine rasche orientierende Beurteilung, dürfen aber eine standardisierte Untersuchung nicht ersetzen (Klasse I) [19].

■ 4.3 3D/ 4D-Registrierung

Um räumlich komplexe Befunde besser darzustellen, können fakultativ dreidimensionale Rekonstruktionen der Herzstrukturen als Standbilder (3D) oder bewegte Sequenzen (4D) erfolgen (Klasse IIa). Der Bildwinkel des 3D-Datensatzes sollte dazu mindestens 60° betragen. Die Bildfrequenz sollte bei bewegten 4D-Sequenzen mindestens 25/s betragen. 3D-Bilddatensätze können aus systematisch akquirierten (z. B. Rotation) 2D-Bildebenen offline rekonstruiert oder in Echtzeit (online) berechnet werden. Für eine offline-Rekonstruktion sollte der Winkel zwischen zwei 2 D-Bildern nicht größer als 5° sein. Für die Berechnung der 3D-Oberflächen sollten Ein-

stellungen gefunden werden, die nicht zu einer relevanten Verfälschung der Strukturen führen.

■ 4.4 Auswertung

Die Auswertung der M-mode und 2 D-Echokardiogramme erfolgt unter Berücksichtigung des veröffentlichten Datensatzes zur Auswertung und Befundung echokardiographischer Untersuchungen, der einer Vereinheitlichung echokardiographischer Untersuchungen dienen soll [23]. Messungen können sowohl während der Untersuchung (online) aber auch nach Beendigung der Untersuchung (offline) anhand der (analog oder digital) gespeicherten M-mode und 2D-Registrierungen erfolgen.

5. Doppler-Echokardiographie

■ 5.1 Indikationen

Die Doppler-Echokardiographie wird zur Beurteilung von Blutfluss- bzw. Myokardgeschwindigkeiten eingesetzt. Sie dient der Erkennung und Quantifizierung von kongenitalen und erworbenen Herzklappenvitien, Shuntverbindungen sowie Beurteilung der diastolischen und systolischen Funktion der Herzkammern. Sie ist in Synthese mit der ein- und zweidimensionalen Echokardiographie durchzuführen [7, 12, 25].

Als nichtinvasive diagnostische Methode kann sie risikoreichere invasive Verfahren teilweise oder ganz ersetzen (Klasse I).

■ 5.2 Gerätevoraussetzungen

■ Gepulster und kontinuierlicher Doppler (PW/CW)

Zur Doppler-Echokardiographie sollte ein elektronischer Phased-array Schallkopf verwendet werden, der sowohl Dopplerspektren als auch M-mode und 2D-Bildinformationen erzeugen kann. Innerhalb des Scansektors muss eine Cursorsteuerung des Doppler-Strahls und des Messvolumens anhand einer Markierungslinie möglich sein. Zur Ableitung von Spektral-Doppler-Kurven sind Schallfrequenzen zwischen 2,0 und 2,5 MHz günstig. Für den kontinuierlichen Doppler (CW-Doppler) entspricht eine Sonde mit 2 MHz der Standardausrüstung. Ein getrennter Schallkopf zur CW-Doppler-Untersuchung (Pencil Sonde, 1,9 MHz) wird empfohlen.

Beim gepulsten Doppler muss der Registrierbezirk (sample volume) in der Größe variabel sein. Wichtig ist, dass der gepulste Doppler kombiniert mit dem 2D-echokardiographischen Bild dargestellt werden kann.

Für den gepulsten Doppler wird eine Pulsrepetitionsfrequenz (PRF) von mindestens 2 KHz gefordert. Im HPRF-Mode (High PRF) sollte das 3- bis 4fache der Pulsrate des PW-Mode erreicht werden, ohne dass die Signalintensität wesentlich beeinträchtigt wird.

■ **Farb-Doppler** Mittels Farb-Doppler werden Strömungsrichtung und Geschwindigkeit im 2D-Echokardiographiebild kombiniert darstellbar. Eine optimale Abbildungsqualität wird mit Schallsonden zwischen 2,5 und 3,75 MHz erzielt. Die Einstellung zur Farb-Doppler-Registrierung sollte über Angabe von Bildrate, Verstärker, Baselineshift, Autokorrelation und Filter digital eingebildet werden.

■ 5.3 Doppler-echokardiographische Untersuchung

Der Doppler-Strahl sollte möglichst mit dem zu registrierenden Geschwindigkeitsvektor in Deckung gebracht werden, um Fehler durch Winkelabweichungen zu vermeiden. Im Farb-Doppler-Modus sollten Registrierungen mit möglichst hoher Bildfrequenz unter Verwendung kleiner Schallsektoren angestrebt werden. Eine zeitsynchrone EKG-Registrierung zusammen mit den Spektral- Dopplerkurven ist obligatorisch. Die gepulsten und kontinuierlichen Doppler-Registrierungen müssen mit 50 mm/s, besser 100 mm/s aufgezeichnet werden.

Aus den Spektralkurven der Doppler-Registrierungen und den mitregistrierten EKG's müssen sich folgende Parameter ablesen bzw. mit der modifizierten Bernoulli Gleichung berechnen lassen:

1. Mittlere Strömungsgeschwindigkeit
(v mean – m/s)
2. Maximale Strömungsgeschwindigkeit
(v max. – m/s)
3. Mittlere Druckdifferenz
(Delta P mean – mmHg)
4. Maximale Druckdifferenz
(Delta P max.- mmHg)
5. Geschwindigkeitszeitintegral
(VTI cm)
6. Zyklusdauer
(RR-Interval – ms)
7. Zeitdauer des Flusssignals
(I – Interval – ms)

Eine optimierte Signaleinstellung und Verstärkung ist zu beachten. Artefakte müssen soweit möglich eliminiert werden, um eine klare Begrenzung des Doppler-Spektralbildes zu erreichen. Das Auftreten des Aliasing-Phänomens als Folge einer Überschreitung der Nyquist-Geschwindigkeit durch die zu analysierende Blutfluss- oder Gewebegeschwindigkeit ist zu beachten und nach Möglichkeit durch Verän-

derung von Eindringtiefe, Schallkopffrequenz, Baselineshift oder Nutzung von HPRF zu vermeiden.

Zur adäquaten Bestimmung der maximalen Strömungsgeschwindigkeiten sind ggf. Doppler-Registrierungen von mehreren Schallpunkten aus durchzuführen. Ebenso sind zur Erkennung der räumlichen Ausdehnung von Flussignalen bei Klappenregurgitationen verschiedene Anlotpositionen einzusetzen.

Gewebe-Doppleruntersuchungen sind derzeit fakultativ. Standardisierte Parameter zu deren Auswertung sind derzeit noch in der wissenschaftlichen Evaluierung.

■ 5.4 Analysen

Bei unregelmäßigem Herzrhythmus sind die Ergebnisse der Doppler-Registrierungen mehrerer Herzzyklen zu mitteln.

■ **Shuntvitien** Der qualitative Nachweis von Shuntvitien (ASD, VSD, persistierender Ductus Botalli) anhand der Spektral- und/ oder Farb-Doppler-Registrierungen wird protokolliert. Die Berechnung des Links-Rechts-Shunts durch den QP/QS-Quotienten (QP = pulmonales Flussvolumen, QS = aortales Flussvolumen) ist fakultativ. Wegen potentieller Fehlereinflüsse müssen die gewonnenen Werte mit entsprechender Vorsicht bewertet werden.

■ **Stenosierende Klappenvitien** Bei der Analyse stenosierender Klappenvitien sind folgende Basisparameter zu registrieren:

Maximale Flussgeschwindigkeit	vmax
Maximaler Druckgradient	Δp_{\max}
Mittlerer Druckgradient	Δp_{mean}
Klappenöffnungsfläche	ggf. KÖF

■ **Regurgitierende Klappenvitien** Bei Klappeninsuffizienzen sollte mittels Farb-Doppler die Darstellung des Insuffizienzjets erfolgen, um die Jetsprunghöhe (Vena contracta), die räumliche Konfiguration und die Größe des Insuffizienzjets zu beurteilen. Bei der Aortenklappeninsuffizienz sollte zusätzlich die Bestimmung der PHT anhand des CW-Dopplerspektrums des Regurgitationsflusses erfolgen. Die Berechnung der Regurgitationsöffnung sowie des Regurgitationsvolumens und der Regurgitationsfraktion ist fakultativ anhand des Kontinuitätsprinzips und der speziellen Analyse der proximalen Konvergenzzone möglich [3, 26].

■ **Systolische und diastolische Funktionsanalyse** Unter Nutzung von konventionellem und Gewebe-Doppler ist fakultativ eine systolische Funktionsanalyse möglich. Zur Analyse der diastolischen linksventrikulären Funktion sollte das Einflussprofil über der Mit-

Tab. 2 Indikationen für die Kontrastechokardiographie

Shunt-Diagnostik	Verbesserte Endokardkonturerkennung
■ Offenes Foramen ovale	■ LV-Funktion regional (Stressecho)
■ RL-Shunts	■ LV-Funktion global
■ Intrapulmonale Shunts	■ Thrombendetektion
■ LR-Shunts	
Doppler-Signalverstärkung	
■ Spektral-Doppler	
■ Farb-Doppler	

ralklappe registriert werden sowie fakultativ das diastolische Gewebe-Doppler-Geschwindigkeitsprofil auf Mitralklappenringebene, das Pulmonalvenenflussprofil und die Geschwindigkeit der Mitraleinflusspropagation.

6. Kontrastechokardiographie

■ 6.1 Indikationen

Heute gesicherte klinische Indikationen zum Einsatz der Kontrastechokardiographie ergeben sich bei der intra- und extrakardialen Shunt Diagnostik [22], bei der Verbesserung der linksventrikulären Endokarderkennbarkeit für die globale und regionale LV Funktionsdiagnostik [1] und bei der Verstärkung des Doppler-Signals zur Vitiendiagnostik [23] (Tab. 2).

■ 6.2 Voraussetzungen

Technische Voraussetzungen

Für kontrastechokardiographische Untersuchungen mit der Indikation verbesserte Endokarderkennung bestehen besondere apparative Anforderungen, da reproduzierbar diagnostische Bilder nur mit Ultraschallgeräten erzeugt werden, die Kontrastmittel-spezifische Hardware (insbesondere Breitbandschallköpfe) sowie Bildgebungsverfahren (z. B. second harmonic imaging, Pulsinversions Imaging, low power Bildgebungsverfahren [16]) aufweisen. Bei ungeeigneten Geräten oder falscher Geräteeinstellung kann die Kontrastapplikation die Bildgebung sogar verschlechtern.

Ultraschallkontrastmittel

Ultraschallkontrastmittel enthalten Mikrobubbles mit dünnem Hüllmaterial und einem Gasanteil in einer Trägerlösung. Es werden die nicht-lungengängigen

Tab. 3 Für die Kontrastechokardiographie zugelassene Kontrastmittel

	Handelspräparat	Hülle	Gas
■ Rechtsherzkontrastmittel	Echovist®	Galactose	Luft
■ Linksherzkontrastmittel	Levovist®	Galactose/ Palmitinsäure	Luft
■ Linksherzkontrastmittel	Optison®	Albumin	Perfluoropropan
■ Linksherzkontrastmittel	SonoVue®	Phospholipide	Sulfurhexafluorid

gen Rechtsherzkontrastmittel und die lungengängigen Linksherzkontrastmittel unterschieden. Für die Kontrastechokardiographie sollten nur die für diese Indikation zugelassenen Kontrastmittel verwendet werden. Tabelle 3 gibt die zugelassenen Ultraschallkontrastmittel wieder. Ultraschallkontrastmittel können als venöser Bolus oder als kontinuierliche Infusion appliziert werden. Die derzeit kommerziell erhältlichen Linksherzkontrastmittel sind für die intravenöse Injektion und zur Verbesserung der LV-Endokarderkennung und des Doppler-Effektes zugelassen. Eine Zulassung zur myokardialen Perfusionsdiagnostik muss noch abgewartet werden.

Die Injektion größerer, sichtbarer Luftbläschen ist bei der Rechtsherz-Kontrastechokardiographie in jedem Fall zu vermeiden. Vorsicht ist bei cyanotischen Shuntvitien geboten, da quantitativ relevante Mengen von Gasparkeln ins systemarterielle Stromgebiet übertreten können und dadurch flüchtige neurologische Symptome auftreten können. Die Verwendung *zugelassener* Kontrastmittel ist in diesen Fällen besonders empfehlenswert. Unter Beachtung der Kontraindikationen sind schwere Nebenwirkungen jedoch sehr selten.

Unter Beachtung der kontrastmittelspezifischen Kontraindikationen ist die Nebenwirkungsrate der zugelassenen lungengängigen *Linksherzkontrastmittel* äußerst gering. Die Schallausgangsleistung des Echogerätes sollte so gering wie möglich eingestellt werden. Hierzu werden sogenannte „low mechanical index“ Bildgebungsverfahren empfohlen [16].

Anforderungsprofil für Untersucher

Die selbständige Durchführung der Kontrastechokardiographie erfordert die genauen Kenntnisse von Geräteparametern (u. a. (Schallausgangsleistung, Signalverstärkung, Bildgebungsverfahren etc.) und von den spezifischen Charakteristika der verwendeten Ultraschallkontrastmittel. Zusätzlich ist eine spezielle gründliche Schulung für die Auswertung und die Interpretation der Untersuchung erforderlich.

■ 6.3 Kontrastechokardiographische Techniken

Shunt-Diagnostik

Zur Detektion von Rechts-Links-Shunts (offenes Foramen ovale, Vorhofseptumdefekt, AV-Lungenfistel) hat der echokardiographische Nachweis von Kontrastmittelübertritt in die linken Herzhöhlen nach i.v. Kontrastmittelapplikation einen etablierten Stellenwert [22] (Klasse I). Injektionsort ist in der Regel eine Armvene. Besteht die Frage nach einem offenen Foramen ovale, ist während der Kontrastmittelinjektion ein Valsalva-Manöver auszulösen und nach Anflutung des Kontrastmittels in das rechte Atrium zu beenden. Mehrere Injektionen sind zur sicheren Beurteilung erforderlich, und die Anwendung von second harmonic Imaging ist empfehlenswert. Ein Kontrastechokardiogramm ist für den Nachweis eines offenen Foramen ovale positiv, wenn innerhalb von 3 Herzaktionen Kontrastmittel in das linke Atrium übertritt. Ein Übertritt nach mindestens 4 Herzzyklen macht das Vorliegen einer AV-Lungenfistel wahrscheinlicher. Tritt Kontrastmittel über, ist eine semiquantitative Abschätzung der übergetretenen Kontrastmittelbläschenzahl sinnvoll [10]. Bei Nutzung der transösophagealen Echokardiographie ist zu beachten, dass die Sedierung des Patienten das Valvalva Manöver einschränkt.

Endokardkonturerkennung

Die Verbesserung der linksventrikulären Funktionsanalyse, in Ruhe und unter Belastung, ist derzeit die wichtigste Indikation für die Anwendung von Linksherzkontrastmitteln (Klasse I). Ist aufgrund eingeschränkter Endokarderkennbarkeit im nicht-kontrastgestützten Echobild die Beurteilung der linksventrikulären Funktion von zwei oder mehr Wandsegmenten nicht möglich und die genaue segmentale linksventrikuläre Funktionsuntersuchung Ziel der Echountersuchung, so sollte ein Linksherzkontrastmittel appliziert werden [1]. Eine verbesserte Genauigkeit in der Bestimmung der linksventrikulären Auswurffraktion ist erreichbar. Bei fraglichen linksventrikulären oder atrialen Thromben kann die Kontrastmittelapplikation mit Nachweis einer intrakavitären Kontrastmittelaussparung hilfreich sein.

Als Geräteeinstellung zur linksventrikulären Opazifizierung wird die Wahl eines niedrigen mechanischen Indexes (MI 0,4–0,6; Harmonic Imaging) bzw ein low power Bildgebungsverfahren empfohlen, um eine Zerstörung der Mikrobläschen möglichst zu vermeiden. Desgleichen sollte die Verstärkung im Nahfeldbereich minimal sein. Für eine möglichst umfassende Visualisierung der Endokardgrenzen sollte der Fokus auf Höhe des Mitralannulus positioniert werden. Die Ver-

stärkung (TGC) und die Kompression (mittlerer bis hoher Bereich) sind individuell adjustierbar.

Der Kontrasteffect im linken Ventrikel sollte qualitativ nach folgendem Schema erfasst werden: 0=kein Kontrast, 1=leichter Kontrast, 2=guter Kontrast, 3=sehr guter Kontrast, 4=überschießender Kontrasteffect mit distaler Schallabschwächung/-auslöschung.

Signalverstärkung des Spektral- und Farb-Dopplers

Bei unzureichender Darstellung des nativen Spektral- bzw. Farb-Doppler-Signals kann die Kontrastverstärkung durch Applikation lungengängiger Ultraschallkontrastmittel eine genauere Quantifizierung von Aorten- und Mitralvitien [23] (Klasse IIa) sowie eine bessere Beurteilung des pulmonalarteriellen Druckes, des pulmonalvenösen Flussmusters und des koronaren Flusses ermöglichen [12].

Als zur qualitativen und quantitativen Analyse unzureichende basale Doppler-Bildgebung sind flau und unscharfe Flussmuster im Spektral-Doppler definiert und im Farb-Doppler eine unzureichende Farbkodierung des normalen antegraden Flusses (rot) im Vorhof während Systole und/oder Diastole (<60% der atrialen Fläche).

Zur Signalverstärkung des Doppler-Signals wird eine sehr langsame i.v. Injektion empfohlen. Die Registrierung zur Doppler-Signalverstärkung erfolgt in den vitientypischen Standardschnittebenen und vorbeschriebenen Doppler-Techniken. Falls überschießend starke Kontrastmittelartefakte (Blooming) die Bildqualität stören, wird empfohlen zu warten, bis die Kontrastmittelkonzentration wieder abnimmt, um so den optimalen Zeitpunkt zur Registrierung der Doppler-Kurven bzw. des Farb-Dopplerbildes zu erreichen.

Myokardiale Kontrastechokardiographie

Die myokardiale Kontrastechokardiographie zur Analyse der myokardialen Perfusion ist derzeit noch Gegenstand der Forschung und nicht für die klinische Nutzung zugelassen.

7. Transösophageale Echokardiographie

■ 7.1 Indikationen

Bei der Suche nach einer kardialen Emboliequelle und zur Bestätigung oder zum Ausschluss einer Herzklappenendokarditis ist die transösophageale Echokardiographie (TEE) das Verfahren mit der höchsten diagnostischen Sicherheit (Klasse I). Das

Tab. 4 Indikationen für die transösophageale Echokardiographie

Hauptindikationen	
■	Suche nach kardialer Emboliequelle/vor Kardioversion bei Vorhofflimmern
■	Endokarditis und kardiale Komplikationen
■	Erworbene Herzklappenfehler
■	Prothetischer Herzklappenersatz
■	Aortenpathologie (Dissektion, Atherome)
■	Kongenitale Herzfehler
■	Transthorakal unzureichende Bildqualität
Weitere Indikationen	
■	Intraoperativ: Herzklappenchirurgie, Ischämiedetektion
■	Interventionell bei Okkluderverschluss einer Vorhofseptumpathologie
■	Akutdiagnostik: Infarktkompliation, Lungenembolie
■	Kardiale Raumforderung
■	Perikarderkrankung
■	Nach kardialen Trauma

TEE ist das echokardiographische Verfahren der ersten Wahl bei der akuten Aortendissektion (Klasse I). Die wesentlichen klinischen Indikationen zur Durchführung der TEE sind in Tabelle 4 dargestellt. Relative Kontraindikationen sind Ösophagusstrikturen, -tumoren und -divertikel.

■ 7.2 Voraussetzungen

■ **Qualifikation des Untersuchers** Die transösophageale Echokardiographie ist ein semiinvasives Verfahren, das ausschließlich von Kardiologen bzw. von Ärzten, die eine ausreichende Qualifikation erreicht haben, durchgeführt wird. Siehe Ausbildungsstufenschema zur Qualitätssicherung in der Echokardiographie mit den zur selbständigen Durchführung der transösophagealen Echokardiographie erforderlichen Untersucher-Qualifikationen. Die zur Durchführung einer transösophagealen Echokardiographie erforderlichen theoretischen Kenntnisse sind in Tabelle 5 aufgeführt.

■ **Apparative Ausrüstung** Die TEE erfolgt an einem Gerät, das die ein- und zweidimensionale, gepulste und kontinuierliche Spektral-Doppler- und Farbdoppler-Echokardiographie erlaubt. Das transösophageale Echokardiographiesystem muss in zwei Ebenen flexibel von außen steuerbar sein. Standard sind heute multiplane Sonden. Die Schallkopffrequenz beträgt mindestens 5 MHz. Vor jeder Untersuchung sollten die Seilzüge des Echoskopes überprüft werden; eine Anteflexion von mindestens 90° sollte möglich sein, ebenso eine Retroflexion von 60° sowie eine Lateraldeviation des Schallkopfes von 60°

Tab. 5 Erforderliche Kenntnisse bei Durchführung von TEE

■	Transthorakalen Echokardiographie einschließlich der Doppler-Techniken
■	Indikationen, Kontraindikationen, Risiken der TEE
■	Sicherheitsmerkmale des Schallkopfs
■	Säuberung, Pflege, Überprüfung des Schallkopfs
■	Indikation und Nebenwirkungen der Prämedikation
■	Ösophagusintubationstechnik
■	Adäquate Manipulation des Schallkopfes, optimale Bildeinstellung
■	Systematischer Untersuchungsablauf, Kenntnis der normalen Anatomie
■	Charakteristische Befunde bei angeborenen und erworbenen Herzkrankheiten
■	Fähigkeit zur Differenzierung von korrekten und nicht zutreffenden Befunden unter Berücksichtigung der Differentialdiagnosen

in beide Richtungen. Sondenbeschädigungen müssen ausgeschlossen werden, da sie zu Isolationsdefekten des Echoskops und somit zur Gefährdung des Patienten führen können.

Echoskope werden nach abgeschlossener Untersuchung entsprechend den gültigen Hygienevorschriften gereinigt.

■ 7.3 Untersuchungstechnik

■ **Vorbereitung** Der Patient muss vor der TEE über Indikation und Risiken des Eingriffs ausführlich informiert werden und sein Einverständnis erklären. Eine Nahrungskarenz von ≥ 4 Stunden sollte eingehalten werden. Ausnahmen sind Notfallsituationen. Eine Rachenanästhesie erfolgt vor der Untersuchung (1–3 min). Eine Sedierung kann hilfreich sein. Bei jüngeren Patienten, die stark zur Salivation neigen, ist weiter die Gabe eines Parasympathikolytikums (z. B. Glycopyrroniumbromid) hilfreich. Jede Prämedikation mit einem Sedativum ist besonders bei Patienten mit Herzinsuffizienz oder anderen schweren Herz- oder Lungenfunktionsstörungen klinisch abzuwägen. Vor der Ösophagusintubation sollte ein venöser Zugang gelegt werden. In seltenen Fällen können vasovagale Reaktionen auftreten, die eine Atropininjektion erforderlich machen. Bei schwerkranken Patienten mit grenzwertiger Kreislaufsituation ist eine kontinuierliche pulsoxymetrische Überwachung anzuraten. Eine Antibiotikaprophylaxe ist nur für Hochrisikopatienten (klinischer Verdacht auf Herzklappenprothesendysfunktion, vorausgegangene Endokarditis, Immunschwäche) in Erwägung zu ziehen (Klasse II b).

Die Untersuchung sollte in Anwesenheit einer Assistenzperson durchgeführt werden. Bei begründetem Verdacht auf das Vorliegen einer Ösophagus-

pathologie ist zunächst eine endoskopische oder radiologische Diagnostik zum Ausschluss einer Ösophaguserkrankung angezeigt.

■ **Untersuchungsablauf.** Eine standardisierte Reihenfolge bei der Einstellung der verschiedenen Anlotungen des Herzens sollte eingehalten werden [8, 20]. Es hat sich bewährt, die Untersuchung von transgastral aus zu beginnen und dann retrahierend fortzuführen. Durch einen standardisierten Untersuchungsablauf sollen alle potentiell beurteilbaren kardialen Strukturen bestmöglich erfasst werden. Dazu gehören die beiden Ventrikel, die Morphologie und Funktion der Herzklappen, der linksventrikuläre Ausflusstrakt, das interatriale Septum mit einem eventuell vorliegenden offenen Foramen ovale, das linke Vorhofohr, die Lungenvenen, die Aorta ascendens und descendens sowie der Ausflusstrakt des rechten Ventrikels mit der rechten Pulmonalarterie. Bei sehr unruhigen Patienten sollte von der systematischen Untersuchungsreihenfolge abgewichen werden und die Untersuchung zunächst entsprechend der Fragestellung vorgenommen werden.

■ **Nachbetreuung** Die Patienten dürfen nach einer Sedierung am Tag der Untersuchung selbst kein Fahrzeug führen. Nach der Rachenanästhesie (z. B. Lidocain-Spray) ist für ca. eine Stunde die Aufnahme flüssiger und fester Speisen nicht erlaubt, da eine Aspiration auftreten könnte. Eine längere Überwachung kann im Einzelfall nach der Untersuchung notwendig sein.

■ 7.4 Nebenwirkungen und Komplikationen

Nebenwirkungen und Komplikationen bei der TEE sind vergleichbar mit denen, die bei der Gastroskopie auftreten können. Grundsätzlich ist mit der Auslösung eines Ösophagusspasmus zu rechnen. Unangenehm für den Patienten sind Würgereflexe und ein hoher Speichelfluss. Im Allgemeinen sind aber Nebenwirkungen selten und schwerwiegende Komplikationen eine Rarität, wie eine große multizentrische Studie gezeigt hat [5] (Klasse I).

8. Stressechokardiographie

Deutliche Verbesserungen im Auflösungsvermögen der transthorakalen Echokardiographie, digitale Bildverarbeitungstechniken und das Wissen um eine hohe diagnostische Genauigkeit in der Erkennung einer koronaren Herzkrankheit haben der Stressechokardiographie zu breiter klinischer Anwendung

verholfen, so dass sie heute als etabliertes Verfahren gelten kann (Klasse I).

■ 8.1 Indikationen

Im Vordergrund der Indikationen für eine stresschokardiographische Untersuchung steht die Erkennung einer stenosierenden koronaren Herzkrankheit. Darüberhinaus bestehen zahlreiche weitere Indikationen (Tab. 6). Entsprechende Kontraindikationen (Tab. 7) müssen beachtet werden.

■ 8.2 Voraussetzungen

Vor der Untersuchung sollten, soweit klinisch vertretbar, anti-ischämisch wirksame Medikamente (insbesondere β -Rezeptorenblockern 3 Tage bei geplanter Dobutaminbelastung) abgesetzt werden, um die Sensitivität in der Erkennung einer koronaren Herzkrankheit zu erhöhen.

Tab. 6 Indikationen für die Stressechokardiographie

Hauptindikationen

- Diagnostik zur Erkennung einer koronaren Herzkrankheit
- Beurteilung hämodynamischer Relevanz bei bekannten Koronarstenosen
- Erkennung von induzierbarer Ischämie nach Myokardinfarkt
- Fehlende Bewertbarkeit des Belastungs-EKG
- Erfolgskontrolle nach revaskularisierender Therapie (ACB-OP oder PTCA)
- Erkennung von Restenose/Bypassverschluss nach PTCA oder ACB-OP
- Myokardiale Vitalitätsdiagnostik
- Präoperative Risikostratifizierung, Prognosebeurteilung

Weitere Indikationen

- Beurteilung von Klappenvitien
- Obstruktion bei hypertropher Kardiomyopathie

Tab. 7 Kontraindikationen für die Stressechokardiographie

- Unzureichende Echobildqualität
- Ruheangina, akuter Myokardinfarkt
- Manifeste Herzinsuffizienz
- Schweres Klappenvitium (insbesondere Aortenklappenstenose)
- Unzureichende Belastbarkeit zur Durchführung einer physikalischen Belastungsechokardiographie
- Schwere ventrikuläre Rhythmusstörungen für Dobutaminbelastungsechokardiographie
- Schwere obstruktive Lungenerkrankung für Dipyridamolbelastungsechokardiographie

■ **Qualifikation des Untersuchers** Zusätzlich zu ausreichender Erfahrung in der stressechokardiographischen Technik und Befundung ist eine genaue Kenntnis potentieller Komplikationen und der kardiopulmonalen Reanimation erforderlich.

■ **Apparative Ausstattung** Die Untersuchung sollte mit einem Gerät, das Second-Harmonic Imaging und damit eine hohe Endokarderkenntbarkeit erlaubt, durchgeführt werden (Klasse I). Ebenso ist eine hohe Bildfrequenz (> 40 Bilder/s) erforderlich. Es muss die Möglichkeit zur digitalen Archivierung des gesamten Herzzyklus (Systole und Diastole) gegeben sein. Physikalische Belastungsuntersuchungen müssen unter Nutzung eines Kippliegengerometers erfolgen, das eine stufenlose Einstellung der horizontalen und vertikalen Neigung des Patienten ermöglicht, da nur so die Besonderheiten der optimal in Linksseitenlage durchzuführenden Echokardiographie-Untersuchung berücksichtigt werden. Der Patient ist auf diese Weise in verschiedenen halbsitzenden Positionen belastbar. Alle anderen Belastungsformen führen zu schlechteren Ergebnissen. Die Untersuchung darf nur in Räumen erfolgen, die eine umfassende Notfallbehandlung (Defibrillationsgerät, Absauggerät, Notarztkoffer) ermöglichen. Dazu gehört auch die Bereitstellung von Medikamenten, um Komplikationen behandeln bzw. eine pharmakologische Belastung antagonisieren zu können.

■ 8.3 Belastungsverfahren

Physikalischer Belastung

Die Physikalische Belastung induziert die physiologischste Belastungsform und ermöglicht eine Abschätzung der Belastbarkeit des Patienten. Die Steigerung des Sauerstoffverbrauches die zur myokardialen Ischämie führt ist höher als bei der pharmakologischen Belastung. Nach Anlage mindestens eines 1-Kanal EKG's und Ruheregistrierung von EKG und Echo, beginnt die Belastung mit 25 oder 50 Watt. Die Anlage eines 12-Kanal EKG's während der Belastung ist optional. Eine maximale Ausbelastung des Patienten sollte angestrebt werden, mindestens jedoch 85% der altersentsprechenden maximalen Herzfrequenz (220 minus Alter) oder ein anderer Belastungsendpunkt, der durch kardiale Symptomatik gekennzeichnet ist. Die Endpunkte der Belastung entsprechen denen der Ergometrie sowie zusätzlich deutliche Wandbewegungsstörungen (Entwicklung von Akinesie bei vormals Normokinesie in mindestens einem Segment oder neue Wandbewegungsstörung in mehr als 2 Segmenten). Während physikalischer Belastung unterscheiden sich die Nebenwirkungen nicht von denen eines Belastungs-EKG.

Die Laufband-Ergometrie sollte nicht durchgeführt werden, da die Patienten nur *nach* der Belastung echokardiographisch untersucht werden können. Eventuell induzierte Ischämien können sich zu diesem Zeitpunkt bereits zurückgebildet haben und bleiben somit unerkannt.

Pharmakologische Belastung

Pharmakologische Belastungsverfahren sind bei Patienten sinnvoll, die unzureichend motiviert sind oder aufgrund orthopädischer, peripher vaskulärer, neurologischer oder pulmonaler Erkrankung nicht in der Lage sind, einen das kardiovaskuläre System ausreichend belastenden physikalischen Belastungstest durchzuführen.

Dobutamin

Dobutamin wird intravenös appliziert mit Infusionsraten von 10, 20, 30 und 40 µg/kg/min und Steigerungsintervallen von 3 Minuten. Wird die Untersuchung auch zur Vitalitätsdiagnostik durchgeführt, so sollte eine initiale Dosierung von 5 µg/kg/min gewählt werden. Bei unzureichendem Anstieg der Herzfrequenz sollte durch zusätzliche Gabe von Atropin in minütlichen 0,25 mg-Dosissteigerungen bis maximal 2 mg die Herzfrequenz weiter gesteigert werden. Bei der Dobutamin-Belastung stellt eine paradoxe Hypotension eine unerwünschte Nebenwirkung dar, die durch Volumengabe therapiert werden muss. Patienten mit bekanntem schwerem arteriellem Hypertonus und signifikanten ventrikulären Rhythmusstörungen sollten nicht mit Dobutamin belastet werden. Ein i.v.-Beta-blocker muss vorhanden sein, um mögliche schwere ventrikuläre Rhythmusstörungen bzw. das Auftreten persistierender deutlicher Ischämieereaktionen zu durchbrechen. Dobutamin ist für stressechokardiographische Untersuchungen von dem Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) zugelassen. Bei der Zubereitung der Infusionslösung ist es sinnvoll, eine Verdünnung der Dobutamin-Original-Zubereitungen auf z. B. 500 ml Gesamtlösung herzustellen, um ein ausreichendes Infusionsvolumen maschinell kontrolliert injizieren zu können. Dies ist erforderlich, um möglichst zuverlässig und schnell auf den jeweiligen Belastungsstufen einen gleichmäßigen Blutspiegel zu erreichen.

Adenosin und Dipyridamol

Das üblicherweise genutzte Untersuchungsprotokoll beinhaltet die Applikation von Adenosin in einer Dosis von bis zu 0,18 mg/kg/min.. Zur Erhöhung der diagnostischen Genauigkeit ist die Kombination der Belastung mit Atropin, Dobutamin oder physikalischer Belastung sinnvoll. Bei Patienten mit sympto-

matischer zerebrovaskulärer Erkrankung oder Bronchospasmus sollte die Adenosinbelastung nicht eingesetzt werden. Theophyllinhaltige Substanzen sollten am Untersuchungstag nicht eingenommen werden. Bei Auftreten von Angina pectoris, Dyspnoe und ST-Streckenveränderungen sollte Theophyllin (250 mg i.v.) als Antidot appliziert werden.

Im Einzelfall kann die transthorakale Analyse des intrakoronaren Flussprofils im Ramus interventrikularis anterior unter Ruhebedingungen und während Adenosin bzw. Dipyridamolbelastung sinnvoll sein, um die hämodynamische Relevanz einer Stenosierung dieses Gefäßes zu analysieren (Klasse IIB).

Dipyridamol ist in Deutschland nicht erhältlich und für diese Indikation nicht zugelassen. Es bestehen jedoch umfangreiche Erfahrungen mit dem Medikament zur Belastungsinduktion.

■ 8.4 Stressechokardiographische Untersuchung

Dynamische bzw. pharmakologische Stressechokardiographie-Untersuchungen müssen unter standardisierten Untersuchungsbedingungen mit objektivierbaren Belastungsstufen und mit vollständiger stufenweiser Dokumentation der regionalen Wandbewegungen in allen Segmenten des LV bzw. der für die spezifische Untersuchungsindikation relevanten Doppler-Echokardiographie-Registrierungen durchgeführt werden. Hierzu werden üblicherweise Standardprotokolle mit Registrierungen in vier (parasternale lange und kurze Achse mit apikalem 4- und 2-Kammerblick) oder drei Schnittebenen (apikale 4- und 2-Kammerblick sowie apikale lange Achse) eingesetzt. Nur so ist eine hohe diagnostische Aussagekraft und Übereinstimmung zwischen verschiedenen Befundern zu erreichen (Klasse I). Eine kontinuierliche (1-Kanal) EKG-Registrierung und engmaschige Blutdruckmessung muss gewährleistet sein. Während Belastung ist das Herz kontinuierlich anzuloten, um frühzeitig neue Wandbewegungsstörungen als Zeichen einer Ischämie zu erfassen.

Bei Patienten mit schlechter transthorakaler Echobildqualität lässt sich häufig durch Nutzung eines

lungengängigen Echokontrastmittels die Endokarderkennbarkeit steigern.

■ 8.5 Auswertung

Der subjektive Auswertungsprozess bei der Stresschokardiographie muss durch einen erfahrenen Befunder erfolgen (Klasse I). Die Auswertung sollte unter Nutzung von digitaler Auswertesoftware erfolgen, die eine EKG getriggerte und synchronisierte Seite-zu-Seite Betrachtung von Ruhe- und Belastungszyklen ermöglicht. Auf der Basis des 16-Segmente Modells wird für jedes Segment die Funktion unter Berücksichtigung der systolischen Endokardeinwärtsbewegung und der Wandverdickung qualitativ bewertet. Die Bewertung erfolgt für die Ruhfunktion, eine niedrige und hohe Belastungsstufe sowie die Nachbelastungsphase wobei zwischen normaler, hypokinetischer, akinetischer und dyskinetischer Kontraktion unterschieden wird. Eine Verbesserung der Kontraktion während niedriger Dobutamindosis um mindestens eine Stufe bei initial eingeschränkter Funktion wird als Zeichen vitalen Myokards gewertet und erlaubt eine gute Vorhersage myokardialer Funktionsverbesserung nach revaskularisierenden Maßnahmen in Abhängigkeit vom Ausmaß der dokumentierten Funktionsreserve [2, 15]. Eine Verschlechterung des Kontraktionsverhaltens während der Belastung um mindestens eine Stufe in mindestens einem Segment ist als Ischämiezeichen und damit als Hinweis für das Vorliegen einer koronaren Herzkrankheit zu werten.

Der Befundbericht muss zunächst das genutzte Stressprotokoll, Blutdruck- und Herzfrequenzverhalten, ST-Streckenveränderungen, induzierte Arrhythmien sowie Symptomatik des Patienten (Angina pectoris) enthalten. In der eigentlichen Befundung der stresschokardiographischen Untersuchung sollten Lokalisation, Ausdehnung und Schweregrad der eingetretenen Wandbewegungsstörung, sowie ggf. der Belastungsgrad bei Auftreten der Ischämie (Ischämieschwelle) aufgenommen werden.

Literatur

1. American Society of Echocardiography task force on standards and guidelines for the use of ultrasonic contrast in echocardiography (2000) Contrast echocardiography: current and future applications. *J Am Soc Echocardiogr* 13:33–42
2. Bax JJ, Wijns W, Cornel JH, Visser FC, Boersma E, Fioretti PM (1997) Accuracy of currently available techniques for prediction of functional recovery after revascularization in patients with left ventricular dysfunction due to chronic coronary artery disease: comparison of pooled data from the literature. *J Am Coll Cardiol* 30:1451–1460
3. Buck T, Plicht B, Wenzel RR, Hunold P, Erbel R (2002) Echokardiographische Flussquantifizierung zur Schweregradbestimmung von Klappensuffizienzen. *Herz* 27:254–268

4. Cheitlin MD, Armstrong WF, Aurigemma GP, Beller GA, Bierman FZ, Davis JL, Douglas PS, Faxon DP, Gillam LD, Kimball TR, Kussmaul WG, Pearlman AS, Philbrick JT, Rakowski H, Thys DM (2003) ACC/AHA/ASE 2003 guideline update for the clinical application of echocardiography – summary article: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Circulation* 108:1146–1162
5. Daniel WG, Erbel T, Visser CA et al (1991) Safety of transoesophageal echocardiography. A multicenter survey of 10419 examinations. *Circulation* 83:817–821
6. Erbel R, Kneissel GD, Schweizer P, Lambertz HJ, Engberding R (1997) Qualitätsleitlinien in der Echokardiographie. *Z Kardiol* 86:387–403
7. Feigenbaum H (1994) *Echocardiography*, 5th ed. Lea & Febiger
8. Flachskampf FA, Decoodt P, Fraser AG, Daniel WG, Roelandt JRTC (2001) Recommendations for performing transesophageal echocardiography. *Eur J Echocardiography* 2:8–21
9. Gardin JM, Adams DB, Douglas PS, Feigenbaum H, Forst DH, Fraser AG, Grayburn PA, Katz AS, Keller AM, Kerber RE, Khandheria BK, Klein AL, Lang RM, Pierard LA, Quinones MA, Schnittger I (2002) American Society of Echocardiography. Recommendations for a standardized report for adult transthoracic echocardiography: a report from the American Society of Echocardiography's Nomenclature and Standards Committee and Task Force for a Standardized Echocardiography Report. *J Am Soc Echocardiogr* 15:275–290
10. Hausmann D, Mugge A, Daniel WG (1995) Identification of patent foramen ovale permitting paradoxical embolism. *J Am Coll Cardiol* 26:1030–1038
11. Kaul S (1997) Myocardial Contrast Echocardiography: 15 years of research and development. *Circulation* 96:3745–3760
12. Mulvagh SL, DeMaria AN, Feinstein SB et al (2000) Contrast echocardiography: Current and future applications. *J Am Soc Echocardiogr* 13:331–342
13. Otto C (2002) *The Practice of Clinical Echocardiography*, 2nd ed. WB Saunders, Philadelphia
14. Picano E, Lattanzi F, Orlandini A et al (1991) Stress echocardiography and the human factor: The importance of being expert. *J Am Coll Cardiol* 17:666–669
15. Pierard LA, De Landsheere CM, Berthe C et al (1990) Identification of viable myocardium by echocardiography during dobutamine infusion in patients with myocardial infarction after thrombolytic therapy: Comparison with positron emission tomography. *J Am Coll Cardiol* 15:1021–1031
16. Porter TR, Xie F, Silver M, Kricsfield D, O'Leary E (2001) Real-time perfusion imaging with low mechanical index pulse inversion Doppler imaging. *J Am Coll Cardiol* 37:748–753
17. Sahn DJ, DeMaria A, Kisslo J, Weyman A (1978) Recommendations regarding quantitation in M-mode echocardiography: results of a survey of echocardiographic measurements. *Circulation* 58:1072–1083
18. Schiller NB, Shah PM, Crawford M et al (1989) Recommendations for quantification of the left ventricle by two dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2:358–367
19. Seward JB, Douglas PS, Erbel R et al (2002) Hand-carried cardiac ultrasound (HCU) device: Recommendations regarding new technology. A report from the echocardiography task force on new technology of the nomenclature and standards committee of the American Society of Echocardiography. *Journal of the American Society of Echocardiography* 15:369–373
20. Shanewise JS, Cheung AT, Aronson S et al (1999) ASE/SCA guidelines for performing a comprehensive intraoperative multiplane transesophageal echocardiography examination: Recommendations of the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 12:884–900
21. Trappe HJ (2003) Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung. *Z Kardiol* 92:689–693
22. Van Hare GF, Silverman NH (1989) Contrast two-dimensional echocardiography in congenital heart disease: techniques, indications and clinical utility. *J Am Coll Cardiol* 13:673–686
23. von Bibra H, Sutherland G, Becher H, Neudert J, Nihoyannopoulos P (1995) Clinical evaluation of left heart Doppler contrast enhancement by a saccharide based transpulmonary contrast agent. The Levovist Cardiac Working Group. *J Am Coll Cardiol* 25:500–508
24. Völker W, Koch D, Flachskampf FA et al (2004) für den Arbeitskreis Standardisierung und LV-Funktion der Arbeitsgruppe kardiovaskulärer Ultraschall der DGK. Neufassung des strukturierten Datensatz zur Befunddokumentation in der Echokardiographie. *Z f Kardiol*
25. Weyman AE (1994) *Principles and Practice of Echocardiography*, 2nd ed. Lea & Febinger
26. Zoghbi WA, Enriquez-Sarano M, Foster E, Grayburn PA, Kraft CD, Levine RA, Nihoyannopoulos P, Otto CM, Quinones MA, Rakowski H, Stewart WJ, Waggoner A, Weissman NJ (2003) Recommendations for evaluation of the severity of native valvular regurgitation with two-dimensional and Doppler echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 16:777–802