

Kardiologie 2024 · 18:213–220
<https://doi.org/10.1007/s12181-024-00680-1>
Angenommen: 6. Februar 2024
Online publiziert: 28. Februar 2024
© Deutsche Gesellschaft für Kardiologie - Herz- und Kreislaufforschung e.V. Published by Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature - all rights reserved 2024, korrigierte Publikation 2024



Zur Geschichte der Echokardiographie in Deutschland

Frank A. Flachskampf

Department of Medical Sciences, Clinical Physiology and Cardiology, Uppsala University, Uppsala, Schweden

Zusammenfassung

Der vorliegende Artikel gibt einen kurzgefassten Überblick über die Entwicklung der Echokardiographie in Deutschland, von ihren experimentellen Anfängen über die Ausdifferenzierung spezieller Fragestellungen und Techniken (z. B. transösophageale und Kontrastechokardiographie) bis zum aktuellen Stand und der Bedeutung dieser Bildgebungstechnik in der heutigen Kardiologie.

Schlüsselwörter

Diagnostische Verfahren · Echokardiographie · Transösophageale Echokardiographie · Kardiale Bildgebung · Ultraschall

Die Ultraschallbildgebung, deren wesentlicher Teil die Echokardiographie ist, gehört zu den erfolgreichsten und folgenreichsten Neuerungen in der Diagnostik der Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Die deutsche Kardiologie hat wesentliche Pionierleistungen auf diesem Gebiet hervorgebracht und kontinuierlich substanzielle Fortschritte erarbeitet. Die folgende kurze historische Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern versucht die wichtigsten fachlichen Entwicklungen und einige der Akteure dahinter – bei Weitem nicht alle, die beigetragen haben – zusammenhängend darzustellen.

Entwicklung der Echokardiographie: M-mode

Die systematische Verwendung des Ultraschalls zur Untersuchung des Herzens begann mit den bahnbrechenden gemeinsamen Experimenten des Arztes Inge Edler und des – in Berlin geborenen – Physikers Hellmuth Hertz im schwedischen Lund zu Beginn der 1950er-Jahre. Zuvor bereits hatten einzelne Forscher versucht, Ultraschallwellen zu medizinisch-diagnostischen Zwecken zu senden und aufzuzeichnen, so Wolfgang Keidel 1950 [1],

diese Bemühungen wurden jedoch nicht systematisch ausgebaut oder von anderen aufgegriffen. Edler und Hertz wandten ein industrielles Ultraschallgerät zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung von Röhren an Patienten mit rheumatischer Mitralklappenstenose an und konnten rhythmische Signale der verdickten Mitralsegel im sog. A(Amplitude)-Mode aufzeichnen [2] sowie eine nichtinvasive Schweregradbeurteilung dieses damals noch verbreiteten Vitiums erarbeiten, das zu den ersten chirurgisch behandelbaren Herzfehlern gehörte. Auch die Diagnostik des Perikardergusses mittels Ultraschall wurde früh bereits in Lund beschrieben und die Grundlagen der M-Mode-Echokardiographie gelegt.

In Deutschland hatte Sven Effert, zunächst in Düsseldorf an der von Franz Grosse-Brockhoff geleiteten internistischen Klinik, persönlichen Kontakt mit den Forschern in Lund aufgenommen und begann, die Methode bei weiteren kardiologischen Krankheitsbildern anzuwenden, so beispielsweise bei Vorhoffertumoren und Thromben [3]. Effert sah die Echokardiographie als Kardinalbeispiel für die erfolgreiche Anwendung „biomedizinischer Technik“, eine andere war der ebenfalls in diesen Jahren entwi-

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



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

kelte implantierbare Schrittmacher. Der unbestreitbare nachhaltige Erfolg dieser gemeinsam mit Ingenieuren und Physikern entwickelten technischen Hilfsmittel führte u. a. später zur Etablierung des Sonderforschungsbereichs „Künstliche Organe“ an der Medizinischen Fakultät der RWTH Aachen, wo Effert die kardiologische Klinik leitete.

2D-Verfahren

Nach frühen Versuchen mit einem mechanischen Scanner in Japan in den 1960er-Jahren (Toshiaki Ebina, Sendai, Japan) entwickelten Jan Somer (Maastricht, Niederlande) 1968, James Griffith und Walter Henry (Bethesda, USA) 1973 sowie Frederick Thurstone und Olaf von Ramm (Durham, USA) 1974 die ersten mechanischen („mechanical array“) bzw. elektronischen („phased array“) zweidimensionalen Schallköpfe. Damit begann der Aufstieg der Echokardiographie zur dominierenden nichtinvasiven kardialen Bildgebungsmodalität, insbesondere nachdem klar wurde, dass die Methode erlaubte, die Ejektionsfraktion und das Kontraktionsverhalten des linken Ventrikels zu bestimmen. Diese Daten waren zuvor nur durch die invasive Ventrikulographie zugänglich und wegen der überwältigenden Dominanz der koronaren Herzkrankheit zentrale Desiderate der damaligen Kardiologie. Die Etablierung der Echokardiographie als klinische kardiologische Untersuchungsmethode in Deutschland erfolgte jedoch relativ langsam. Immerhin noch 1970 ließ sich, wie Effert als abschreckendes Beispiel zitiert, Ulrich Gleichmann vom Deutschen Herzzentrum in Bad Oeynhausen dahingehend über die Echokardiographie aus, dass sie keinen diagnostischen Nutzen biete und darüber hinaus „das Gerät sehr kostspielig“ sei.

Doppler

Seit Beginn der 1980er-Jahre beschleunigten sich die technische Entwicklung, klinische Verbreitung und wissenschaftliche Erforschung der Echokardiographie substantziell; Details zur Chronologie, den Beteiligten und den historischen Veröffentlichungen können in einschlägigen internationalen Rückblicken gefunden wer-

den [4–6]. Das 2-D-Verfahren begann das M-Mode-Verfahren als Standardverfahren abzulösen, und zum technischen Standard gehörte auch die Integration des Dopplerverfahrens in die Echokardiographiegeräte. Der Farbdoppler wurde Anfang der 1980er-Jahre kommerziell eingeführt und zählte Ende der 1980er-Jahre zur Standardausrüstung. Die transösophageale Echokardiographie, einschließlich des intraoperativen Einsatzes, begann etwa Mitte der 1980er-Jahre, in größerem Umfang eingesetzt zu werden.

Stressechokardiographie

Die zweidimensionale Stressechokardiographie, bereits 1979 von Samuel Wann und Feigenbaum beschrieben, gewann in der 2. Hälfte der 1980er-Jahre an Popularität durch den Einsatz pharmakologischer Stressoren, v. a. Dipyridamol in den romanischen Ländern und Dobutamin im nördlichen Europa und in den USA. Erste Linksherzkontrastmittel wurden Anfang der 1990er-Jahre kommerziell verfügbar. Während bereits seit den 1980er-Jahren verschiedene experimentelle Systeme zur dreidimensionalen *Rekonstruktion* von Echoschnittbildern existierten, erlaubte erst die Einführung vollständig digitaler so genannter Matrix-Schallköpfe (sowohl für die transthorakale wie transthorakale Verwendung) kurz nach 2000 eine praktikable 3-D-Echokardiographie in Echtzeit. Seit Beginn der 1990er-Jahre wurde das schon länger zur Blutflussgeschwindigkeitsmessung genutzte Dopplerprinzip neuerdings auch zur Messung von myokardialen Gewebegeschwindigkeiten systematisch eingesetzt, einschließlich der Möglichkeit der Farbkodierung („Gewebedoppler“).

Strain-Bildgebung

Eine Weiterentwicklung des Gewebedopplers war die Entwicklung der Strain-/Deformations-Bildgebung, die auf der Berechnung von räumlichen Gradienten der Myokardgeschwindigkeit beruhte. Die Strain-Bildgebung erlebte jedoch erst mit der Einführung der Speckle-Tracking-Technik anstelle des Dopplerverfahrens Anfang der 2000er-Jahre eine breite klinische Aufnahme. Beim Speckle-Tracking,

einer reinen Bildbearbeitungssoftware, werden die Gewebegeschwindigkeiten statt mit dem Doppler mit einer digitalen Bildverarbeitungssoftware ermittelt, dank der zwischenzeitlich erfolgten enormen Leistungssteigerung bei Mikrochips und damit handelsüblichen Computern.

Die Entwicklung in Deutschland

An allen diesen Entwicklungen nahm Echokardiographie in Deutschland aktiv teil, bei einigen war sie international führend. Im Folgenden werden die wichtigsten Exponenten der Echokardiographie aus Deutschland sowie dem deutschsprachigen Ausland sehr kurz aufgeführt und die Schwerpunkte ihrer Arbeit in Stichworten genannt. Da es sich meist um noch lebende Personen handelt, die im Wesentlichen im gleichen Zeitraum der letzten 50 Jahre aktiv waren, wurde statt einer chronologischen Ordnung die Zugehörigkeit zu bestimmten universitären Arbeitsgruppen als Ordnungsprinzip gewählt. Aus der Natur der Sache ergibt sich, dass eine solche Aufzählung weder vollständig sein kann noch eine Reihenfolge der Bedeutung impliziert, die im Übrigen stets anfechtbar und weitgehend sinnlos wäre. Die zitierten Arbeiten sind lediglich exemplarisch gemeint und können weder numerischen Umfang noch inhaltliche Breite der Produktion der einzelnen Autoren angemessen wiedergeben.

Aus der von Sven Effert – nach seinem Wechsel aus Düsseldorf nach Aachen – geleiteten Aachener Klinik gingen eine Reihe wichtiger, international anerkannter echokardiographischer Forscher hervor, so Raimund Erbel, später in Mainz und schließlich in Essen, Peter Hanrath (in Hamburg und dann als Nachfolger von Effert in Aachen), Heinz Lambertz (Wiesbaden), Walter Bleifeld (Hamburg), Peter Schweizer (Bergisch Gladbach), Wolfgang Merx (Neuss), u. a. Auch der Autor dieses Abschnitts (FAF) zählt sich zu dieser Schule.

Effert setzte 1981 als Tagungspräsident der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie (DGK) zum ersten Mal die Echokardiographie als Hauptthema auf die Agenda der Tagung. Im Jahr 1993 wurde die Arbeitsgruppe Kardiovaskulärer Ultraschall der DGK gegründet, die weiter besteht.

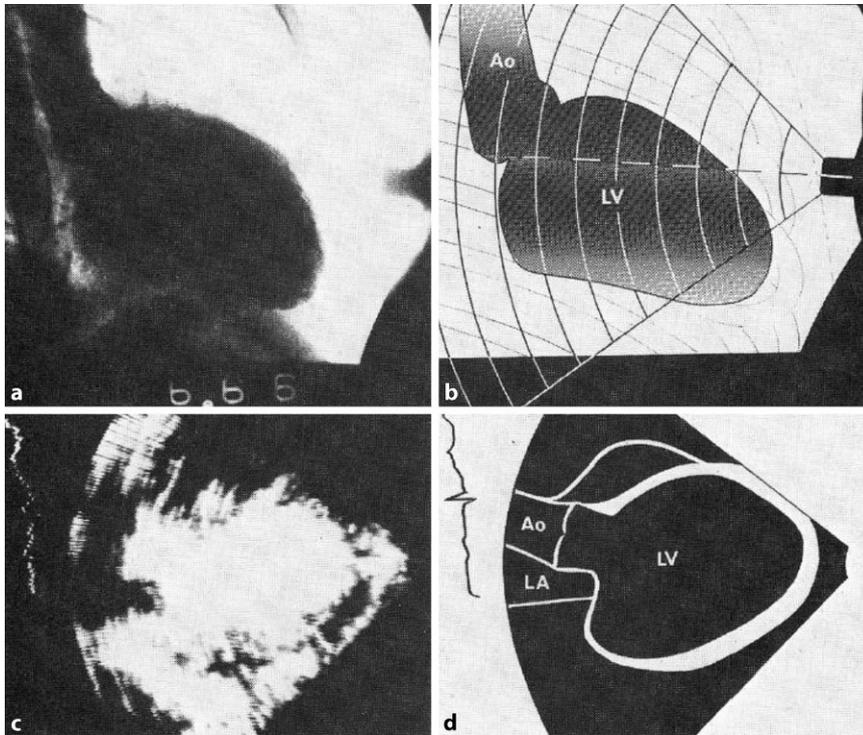


Abb. 1 ▲ a Enddiastolisches Standbild einer Ventrikulographie (RAO, „right anterior oblique projection“) bei Linksherzkatheterisierung, rechts im Bild der Röntgenshatten des Transducers bei simultaner apikaler echokardiographischer Anlotung. c Zum oberen Bild korrespondierendes enddiastolisches Standbild des echokardiographischen apikalen Langachsenschnitts (um 90° rotiert). Kavum weiß durch den echokardiographischen Kontrasteffekt der invasiven Ventrikulographie. b, d Erklärende Skizzen. Erläuterung s. Text. Ao Aorta, LA linker Vorhof, LV linker Ventrikel. (Aus [7], mit freundl. Genehmigung von © 1983 American Heart Association. All Rights Reserved)

Auch in der DDR wurde die Echokardiographie, wenn auch im Vergleich mit dem Westen mit Verspätung, in das klinische und wissenschaftliche Instrumentarium der Kardiologie integriert. Limitierte medizinische Ressourcen, mühsamer oder fehlender Zugang zu (westlichen) Fachpublikationen und sehr eingeschränkte Möglichkeiten der Teilnahme an internationalen Kongressen erschwerten den Anschluss an den internationalen Stand der Wissenschaft und nicht zuletzt der technischen Ausstattung. Bernhard Graf gründete 1987 in Rostock die Arbeitsgruppe „Kardiologisch-angiologische Ultraschalldiagnostik“ der Gesellschaft für Kardiologie und Angiologie der DDR, dem DDR-Pendant zur DGK.

Raimund Erbel und seine Forschungsgruppe (anfangs in Aachen, später in Mainz und schließlich in Essen) waren über Jahrzehnte auf einer Vielzahl von Gebieten der Echokardiographie hochproduktiv. Dies betraf zunächst, mit der zunehmenden Leistungsfähigkeit der 2-D-

Echokardiographie, die Erfassung der linksventrikulären systolischen Funktion, v. a. bei koronarer Herzkrankheit. Zu Erbels wichtigsten Entdeckungen gehörte der Nachweis der systematischen Verkürzung des linken Ventrikels bei apikaler Anlotung, nachgewiesen durch simultane Lävokardiographie und Echokardiographie im Katheterlabor ([7]; ■ Abb. 1). Die erklärenden Skizzen (■ Abb. 1b, d) machen deutlich, dass das Echobild den wahren Apex nicht einschließt und daher der im Echo dargestellte Ventrikel deutlich verkürzt ist, woraus sich bei Volumenberechnung eine erhebliche Unterschätzung des wahren linksventrikulären Volumens ergibt. Weitere wichtige Arbeitsgebiete der Gruppe in der Ultraschalldiagnostik waren

- die transösophageale Echokardiographie. Zusammen mit Susanne Mohr-Kahaly publizierte die Gruppe u.a. zur transösophagealen Diagnose der Aortendissektion [8] und des intramuralen aortalen Hämatoms [9], außerdem lag

ein wichtiger Fokus auf der Endokarditidsdiagnostik.

- der intrakoronare Ultraschall (Günter Görge, Junbo Ge, Michael Haude, Dieter Baumgart, Axel Schmermund; [10, 11]),
- der Gewebedoppler, die Stressechokardiographie und die 3-D-Echokardiographie (zusammen mit Thomas Buck [12], Uwe Nixdorff, Christian Bruch, später in Münster, u. a.).

Peter Hanrath war die internationale Schlüsselfigur bei der Einführung, Entwicklung und definitiven klinischen Implementierung der transösophagealen Echokardiographie und entwickelte, damals in Hamburg, zusammen mit dem Ingenieur Jacques Souquet von der Fa. Advanced Technology Laboratories (ATL, Bothell, WA, USA) Anfang der 1980er-Jahre das erste klinisch einsetzbare transösophageale „Phased-Array-2-D-Echoskop“ [13]. Die transösophageale Echokardiographie stellte sich rasch als diagnostisch enorm hilfreiche Modalität bei verschiedenen Krankheitsbildern, etwa Endokarditis, Mitralklappeninsuffizienz, Aortenerkrankungen, Vorhoffthromben u. a. heraus, dazu eröffnete sie die Möglichkeit der intraoperativen echokardiographischen Begleitung von Eingriffen am Herzen. Hier sind aus Hanraths Hamburger Arbeitsgruppe v. a. zu nennen: Masayuki Matsumoto, der zuvor bereits 1980 in New York, USA, mit intraoperativen transösophagealen M-Mode-Registrierungen experimentiert hatte und sich dann Hanraths Gruppe anschloss, sowie Peter Kremer und Michael Schlüter, zusammen mit Michael Cahalan in San Francisco, USA [14]. Diese Pionierarbeiten führten zur weltweiten Etablierung der intraoperativen transösophagealen Echokardiographie insbesondere bei Klappeneingriffen. Die von Peter Hanrath entworfene und von ihm in Aachen zeitgleich mit der Rotterdamer Arbeitsgruppe um Nicolaas Bom und Jos Roelandt erstmals eingesetzte multiplane transösophageale Echokardiographie (■ Abb. 2) löste frühere monoplane und biplane Instrumente ab und setzte sich als neuer technischer Standard schnell international durch [15]. Sie trug weiter zum breiten klinischen Einsatz und der weltweiten Akzeptanz der transösophagealen Bildgebung bei.

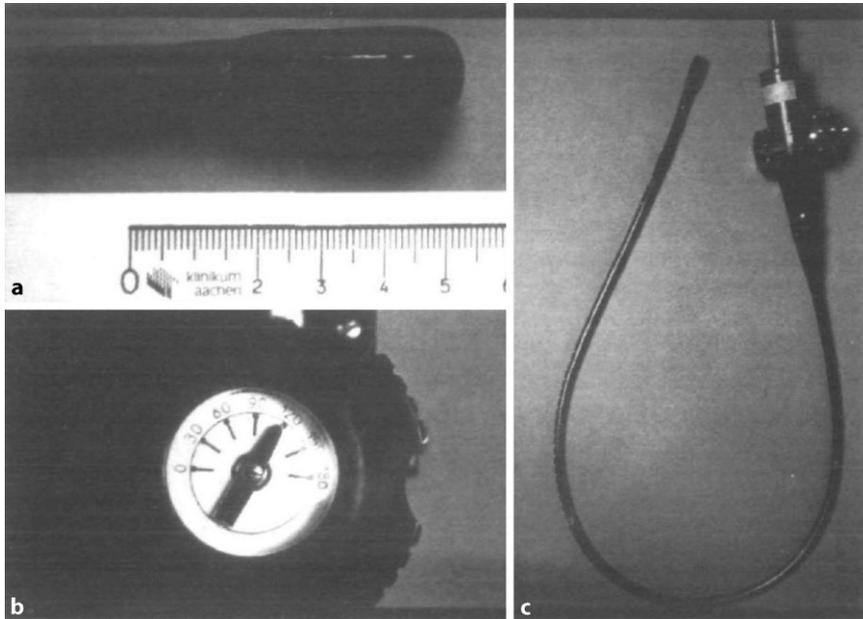


Abb. 2 ▲ Erste multiplane TEE-Sonde im klinischen Einsatz in Europa. a Sondenspitze mit Transducer, b Instrument zum Ablesen des Schnittebenenwinkels, c vollständige TEE-Sonde; TEE transösophageale Echokardiographie. (Aus [15], mit freundl. Genehmigung von © 1992 The European Society of Cardiology. All Rights Reserved)



Abb. 3 ▲ Transösophageales Kurzachsenbild einer Bioprothese der Aortenklappe (gut sichtbarer Prothesenring) mit Darstellung einer endokarditischen Abszeshöhle (Pfeile) mit darin nachweisbaren Flussignalen im Farbdoppler. Intraoperativ bestätigt. AKP Aortenklappenprothese, LA linker Vorhof. (Aus [22], mit freundl. Genehmigung von © 1991 Massachusetts Medical Society. All Rights Reserved)

Die Möglichkeiten zur dreidimensionalen Bildgebung (Frank Flachskampf, Andreas Franke, Harald Kühl; [16, 17]) gaben ihr zusätzliche Attraktivität. Der Verfasser untersuchte nach Vorarbeiten in Boston verschiedene Aspekte der Hydrodynamik von Klappenprothesen und der physikalischen Determinanten des Mitralprofils. Außerdem lieferte Rainer Hoffmann wichtige Beiträge zur Stressechokardiographie, so etwa zu deren hoher Untersucherabhängigkeit [18], beschäftigte sich mit dem Methodenvergleich mit der kardia-

len Magnetresonanztomographie [19], z. B. hinsichtlich volumetrischer Daten des linken Ventrikels, und arbeitete später u. a. zusammen Gary Mintz in Washington auf dem Gebiet des intrakoronaren Ultraschalls. Heinrich Klues erforschte mit Barry Maron in Bethesda (Maryland, USA) echokardiographisch-pathologische Korrelationen bei hypertropher Kardiomyopathie [20] und wandte sich später Fragen der 3-D-Echokardiographie und des intrakoronaren Ultraschalls zu.

Eine spezielle Anwendung der transösophagealen Echokardiographie in der Notfallmedizin, die Untersuchung der Aorta bei Dissektionsverdacht, untersuchte – neben der Erbelschen Arbeitsgruppe in Mainz – Christoph Nienaber in Hamburg [21].

In Hannover vertieften Werner Daniel (später in Erlangen) und Andreas Mügge (später in Bochum) in den 1980er-Jahren das Verständnis der Einsatzmöglichkeiten der transösophagealen Echokardiographie, insbesondere bei der Abszessdiagnostik bei Endokarditis (■ Abb. 3; [22]), der Untersuchung der prognostischen Bedeutung der Größe von Vegetationen [23] und der Rolle der Flussgeschwindigkeit im linken Vorhof bei Vorhofflimmern für das thrombembolische Risiko [24]. In der späteren Erlanger Arbeitsgruppe um Werner Daniel arbeiteten Jens-Uwe Voigt (danach Löwen, Belgien) und Frank Flachskampf (später Uppsala, Schweden) sowie Uwe Nixdorff (ursprünglich Mainz) an einer Vielzahl echokardiographischer Themen, insbesondere den Anwendungsmöglichkeiten der neu eingeführten Strain-Echokardiographie [25] sowie dem Nachweis, dass es sich bei der „paradoxen“ Aortenstenose nicht um ein „Echotartefakt“ handelt [26].

Ein weiterer renommierter Echokardiographieschwerpunkt entstand in Würzburg. Wolfram Voelker, ursprünglich aus der Aachener Klinik, beschäftigte sich, in Zusammenarbeit mit dem Aachener Helmholtz-Institut für Biomedizinische Technik mit der Hydrodynamik von Klappenstenosen und deren Konsequenzen für die echokardiographische Beurteilung mittels Doppler [27]. Später brachten Frank Weidemann und Jörg Strotmann aus der Löwener Arbeitsgruppe um George Sutherland Expertise im Gewebedoppler und der Strain-Bildgebung ein, die sich z. B. in der Diagnostik und Therapiekontrolle der Anderson-Fabry-Krankheit als klinisch wertvoll erwies [28]. Christine Angermann, ursprünglich in München, erforschte die Anwendung der Echokardiographie bei der Herzinsuffizienz sowie Techniken der echokardiographischen Gewebedifferenzierung.

In Freiburg beschäftigte sich Anette Geibel u. a. mit kardialen Emboliequellen, insbesondere der Bedeutung der paradoxen Embolie bei offenem Foramen ova-

le [29], und diagnostischen Möglichkeiten der Echokardiographie bei Lungenembolie.

Martin Giesler aus Ulm lieferte wichtige frühe Beiträge zu Theorie und Praxis der Messung von Klappeninsuffizienzen mittels der proximalen Konvergenzmethode.

Helmut Kücherer aus Heidelberg führte die Fourier-Analyse als analytisches Werkzeug der Wandbewegungsbeurteilung ein [30] und beschäftigte sich später mit Fragestellungen der Linksherzkontrastechokardiographie.

Im Jahr 1968 hatten Gramiak und Shah in Rochester, USA, erstmals bei M-Mode-Registrierungen der Aortenklappe den Kontrasteffekt von kleinen Luftbläschen und damit die Kontrastechokardiographie beschrieben [31]. Sie beobachteten dies nach einer linksatrialen Injektion von Indozyaningrün (zur Messung des Herzzeitvolumens mittels einer Farbstoffverdünnungskurve). In Bonn entwickelte sich ein Schwerpunkt der Kontrastechokardiographie um Harald Becher (später Edmonton, Kanada). Dabei ging es zunächst um die verbesserte Darstellung des linken Ventrikels sowie die Signalanhebung von Dopplersignalen, insbesondere des Farbdopplers [32], zusammen mit Helene von Bibra in München [33], deren zweiter Forschungsschwerpunkt auf der dopplerechokardiographischen Beurteilung der diastolischen linksventrikulären Funktion lag. Ebenfalls in München und teilweise zusammen mit Helene von Bibra untersuchte Christian Firschke die Möglichkeiten der myokardialen Kontrastechokardiographie insbesondere beim akuten Koronarsyndrom [34].

Klaus Tiemann (später München) trug Untersuchungen zu neuen technischen Möglichkeiten der Kontrastechokardiographie bei, etwa mittels Power-Doppler, sowie zum Einsatz der Kontrastechokardiographie bei der Sichtbarmachung der myokardialen Perfusion [35]. Im zeitgleich an gleicher Stelle erscheinenden Artikel von Andreas Helfen und Harald Becher können Personen und Stationen der Kontrastechokardiographie detaillierter nachgelesen werden.

Wolfgang Fehske arbeitete ebenfalls zunächst in Bonn, u. a. an Fragen der echokardiographischen Beurteilung von Klappenprothesen und der Mitralinsuffizienz [36],

später in Köln, und wurde zu einem unermüdlichen Motor und Mentor der praktischen Qualität der deutschen Echokardiographie, v. a. durch seine langjährigen Echokurse und den Kölner Echokongress, deren Breitenwirkung ohne Konkurrenz in Deutschland waren und sind. Aus derselben Gruppe stammte Andreas Hagendorff, später in Leipzig, der ebenfalls durch enormen persönlichen Einsatz v. a. in der echokardiographischen Weiterbildung für sein Umfeld prägend wurde.

In Berlin wandten Michael Schartl, Stephan Beckmann, Wolfgang Bocksch (später Tübingen) und Heinz Völler Ultraschallmethoden einschließlich der Stress- und Kontrastechokardiographie und des intrakoronaren Ultraschalls bei vielfältigen diagnostischen Fragestellungen hauptsächlich im Kontext der koronaren Herzkrankheit an.

Ebenfalls in Berlin hat sich Michael Dandel langjährig mit den diagnostischen Möglichkeiten der Echokardiographie nach Herztransplantation, bei der Abstoßungserkennung, bei der Versorgung von Patienten mit kardialen Unterstützungssystemen und anderen herzchirurgisch fokussierten Fragen auseinandergesetzt.

In Münster (später Tel Aviv, Israel) arbeitete Ehud Schwammenthal, der wichtige Beiträge zum Krankheitsbild der hypertroph-obstruktiven Kardiomyopathie, des Mitralprolapses und der Quantifizierung der Mitralinsuffizienz mittels proximaler Konvergenzzone lieferte (■ Abb. 4; [37]). Gleichzeitig in Aachen widmete sich Ole Breithardt echokardiographischen Fragestellungen zur kardialen Resynchronisationstherapie, insbesondere zur Verminderung der funktionellen Mitralinsuffizienz durch diese Therapie [38], und Themen im Zusammenhang mit Gewebedoppler und Strain-Bildgebung. Rolf Engberding, anfangs in Münster und später in Wolfsburg, beschrieb 1984 erstmals die Non-Compaction-Kardiomyopathie [39], seinerzeit noch nicht unter diesem Namen. Die Erkrankung war zuvor im Wesentlichen lediglich aus der Pathologie bekannt. Engberding ist bis heute einer der weltweit besten Kenner dieser schwierig zu definierenden Erkrankung und formulierte zusammen mit Claudia Stöllberger aus Wien Empfehlungen zu ihrer Diagnose [40].

Helmut Baumgartner untersuchte in Wien die Strömungsdynamik von Aortenstenosen und Klappenprothesen und verfasste auf diesem Gebiet wichtige Arbeiten [41]. Weitere Mitglieder der Wiener Arbeitsgruppe waren Jutta Bergler-Klein und Thomas Binder, die sich v. a. echokardiographischen Fragestellungen bei Herzinsuffizienz und bei Aortenstenose zuwandten. Thomas Binder wurde außerdem durch seine echokardiographischen Online-Kurse international ein renommierter Experte in der Weiterbildung auf diesem Gebiet.

Rolf Jenni aus Zürich, Mitglied der legendären Zürcher Kardiologenschule um Hans Peter Krayenbühl und Otto Hess, untersuchte u. a. Möglichkeiten der Quantifizierung der Mitralinsuffizienz mit dem amplitudengewichteten kontinuierlichen Doppler [42], trug Vorschläge zur Verbesserung des intrakoronaren Dopplers bei und beschäftigte sich umfassend mit kongenitalen Vitien und kardialen Anomalien, in Zusammenarbeit v. a. mit dem international renommierten pädiatrischen Kardiologen Erwin Oechslin (erst Zürich, danach Toronto, Kanada). Er war auch einer der frühen (1986) Beschreiber und Kenner der Non-Compaction-Kardiomyopathie, die erstmals von Rolf Engberding beschrieben worden war. Einer seiner Zürcher Schüler ist Felix Tanner, der sich v. a. mit Kardiomyopathien und anderen angeborenen Herzerkrankungen beschäftigt.

Komplexe technische Neuerungen wie die diagnostische Bildgebung durch Ultraschall, der Doppler, die Stressechokardiographie oder die transösophageale Echokardiographie halten sich nicht an nationale Grenzen und einzelne Personen und liegen oft zu ihrer Zeit „in der Luft“. Dennoch kann man konstatieren, dass insbesondere die transösophageale Echokardiographie sowohl von der klinischen Verbreitung her als auch bei der Erforschung ihres klinischen Werts bei bestimmten Krankheitsbildern entscheidend von deutschen Beiträgen geprägt war.

Ausblick

Obwohl diese Übersicht auf die Entwicklung der Echokardiographie in Deutschland konzentriert ist, darf doch der we-

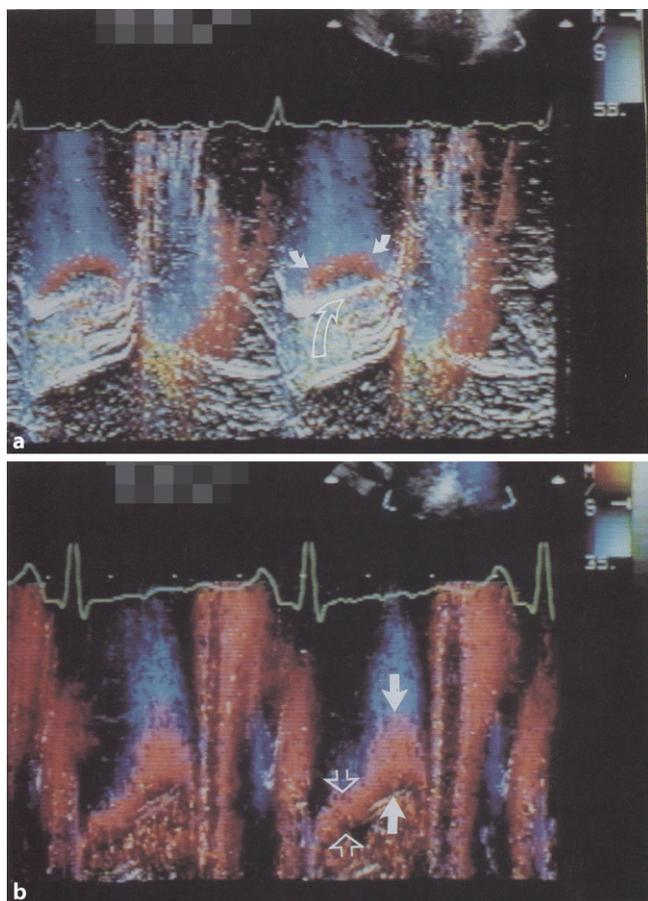


Abb. 4 ▲ Farbdoppler-M-Mode-Registrierungen des transmitralen Flusses bei einem Patienten mit rheumatischer Mitralinsuffizienz (a) und bei einem Patienten mit Mitralprolaps (b). Die ausgefüllten weißen Pfeile (a) deuten auf den Radius der proximalen Konvergenzzone, der mitsystolisch maximal ist und früh- sowie spätsystolisch symmetrisch abnimmt, entsprechend einem mitsystolischen Regurgitationsmaximum. Der gekrümmte große Pfeil ohne Füllung weist auf die Mitralklappenebene hin. Beim Mitralprolaps liegt der größte Radius der proximalen Konvergenzzone spätsystolisch vor (weiße Pfeile, b), entsprechend einem spätsystolischen Regurgitationsmaximum, frühsystolisch ist der Radius deutlich kleiner (Pfeile ohne Füllung, b). (Aus [37] mit freundl. Genehmigung von © 1983 American Heart Association. All Rights Reserved)

sentliche Beitrag nicht fehlen, den Auslandsaufenthalte und -kontakte für deutsche Kardiologen geleistet haben, neben dem selbstverständlichen internationalen Kontakt auf Kongressen und über Fachzeitschriften. Wissenschaft hat keine nationalen Grenzen und entsteht im engen internationalen Austausch von Personen, Ideen und Geräten. Sehr viele der genannten Forscher erfuhren entscheidende Anstöße und Förderung durch Auslandsaufenthalte, so etwa Andreas Mügge, Ehud Schwammenthal, Helmut Kücherer, Rainer Hoffmann, Thomas Buck, Helene von Bibra, Jens-Uwe Voigt, der Verfasser dieses Abschnitts (FAF), u. v. a. Die meisten besuchten Labors in den USA, aber auch in Großbritannien und Schweden. Nicht zuletzt

war es ja ein Kontakt Efferts mit Forschern in Schweden gewesen, der die Echokardiographie in Deutschland begründet hatte.

Den derzeitigen Stand der Forschung in der Echokardiographie in Deutschland prägen 2 Entwicklungen im Laufe der letzten Jahre:

Im Gefolge der überwältigenden Akzeptanz und Verbreitung kathetergestützter Therapieverfahren bei strukturellen, v. a. valvulären Herzerkrankungen fokussiert sich derzeit das wissenschaftliche Interesse in großem Umfang auf die Unterstützung solcher Prozeduren, von der Auswahl der Patienten über intraprozedurale Überwachung und Begleitung bis zur Nachbeobachtung. In diesem Zusammenhang ist auch auf die Verschiebung

des Schwerpunkts in der Kardiologie von der früher alles dominierenden koronaren Herzkrankheit zur jetzt in den Vordergrund tretenden Herzinsuffizienz hinzuweisen. Die Herzinsuffizienz ist dabei häufig eng mit Klappenfehlern verknüpft, entweder als direkte Folge wie bei der Aortenstenose, oder umgekehrt wenn im Zusammenhang mit einer myokardialen Herzinsuffizienz funktionelle Insuffizienzen der Atrioventrikularklappen auftreten.

Der zweite prägende Trend liegt in der zunehmenden Multimodalität der kardialen Bildgebung. Wenn auch die zentrale Rolle der Echokardiographie als erste (und oft auch immer noch einzige) Anlaufstelle für Bilddiagnostik unbestritten ist, gehört z. B. bei der Vorbereitung zur kathetergestützten Aortenklappenimplantation die kardiale Computertomographie mittlerweile zum Routineinstrumentarium. Ebenso benötigt die zeitgemäße Differenzierung myokardialer Herzinsuffizienzformen die Aussagen der Magnetresonanztomographie und Nuklearkardiologie. Daher wird sich die klinische Rolle der Echokardiographie in Zukunft immer im Kontext mit den anderen Verfahren einspielen müssen, und der „Imager“ der Zukunft wird in mindestens einem anderen Verfahren als der Echokardiographie gediegene, auch praktische Kenntnisse vorweisen können müssen. Dementsprechend verschiebt sich der Akzent der Echokardiographieforschung weg von der Frage „Was kann die Echokardiographie in diesem Szenario leisten?“ zu „Welche Bildgebung ist in diesem Szenario sinnvoll und notwendig?“, oder, wie das American College of Cardiology dies auf den Punkt gebracht hat: „choose wisely“ [43].

Fazit für die Praxis

- Mit der breiten Verwendung der Echokardiographie als wichtigster technischer kardiologischer Untersuchungsmethode (vielleicht mit Ausnahme des EKG) seit der Mitte der 1980er-Jahre verschob sich das wissenschaftliche Interesse mehr und mehr von der echokardiographischen Technik und Methodik per se auf die konkreten echokardiographischen Untersuchungsergebnisse bei bestimmten kardiologischen Krankheitsbildern.
- Gleichzeitig begann sich aus der klassischen transthorakalen und transösophagealen Echokardiographie eine Reihe von

Spezialmethoden ausdifferenzieren, die heutzutage kaum noch alle von einer Person beherrscht werden können.

- Hierzu zählen die Stressechokardiographie mit verschiedenen Stressoren und vielfältigen Indikationen, die Kontrastechokardiographie (einschließlich myokardialer Perfusion), der intravaskuläre Ultraschall, die Deformations-/Strain-Echokardiographie, die perioperative und interventionelle Echokardiographie, die Notfall-/Point-of-Care-Ultraschalluntersuchung des Herzens (fokussierte Herzultraschalluntersuchung, FOCUS; „point of care ultrasound“, POCUS), der Lungensultraschall im Rahmen der Herzinsuffizienzdiagnostik u. a.
- Auf allen diesen Gebieten wird in Deutschland gegenwärtig gearbeitet und geforscht, obwohl echokardiographische Expertise in Deutschland nach wie vor zumindest formal wenig Anerkennung findet, insbesondere wenn man dies mit der – auch wissenschaftlichen – Bedeutung der Methode in europäischen und außereuropäischen Ländern ähnlichen technischen Stands vergleicht.

Korrespondenzadresse

Prof. Frank A. Flachskampf, MD, PhD
Department of Medical Sciences, Clinical Physiology and Cardiology, Uppsala University Akademiska, 751 85 Uppsala, Schweden
frank.flachskampf@medsci.uu.se

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. F.A. Flachskampf und geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

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

Literatur

1. Keidel WD (1950) Über eine Methode zur Registrierung der Volumenänderung des Herzens am Menschen. *Z Kreislaufforsch* 39(9-10):257–271
2. Edler I, Hertz CH (1954) Use of ultrasonic reflectoscope for continuous recording of movements of heart walls. *Kungliga Fysiografiska Sällskapets Lund Förhandlingar* 24(5):1–19
3. Effert S, Domanig E (1959) Diagnostik intraaurikulärer Tumoren und großer Thromben mit dem Ultraschall-Echoverfahren. *Dtsch Med Wochenschr* 84:6–8
4. Roelandt JR (2000) Seeing the heart; the success story of cardiac imaging. *Eur Heart J* 21:1281–1288
5. Fraser AG, Monaghan MJ, van der Steen AFW, Sutherland GR (2022) A concise history of echocardiography: timeline, pioneers, and landmark

A review of the history of echocardiography in Germany

This article presents a short overview of the history of echocardiography in Germany, from the experimental beginnings through the differentiation of special issues and techniques (e.g., transesophageal and contrast echocardiography) up to the current situation and impact of this imaging modality in the present day cardiology.

Keywords

Diagnostic techniques · Echocardiography · Transesophageal echocardiograph · Cardiac imaging · Ultrasound

- publications. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 23:1130–1143
6. Pearlman AS, Feigenbaum H (2022) 23rd annual feigenbaum lecture: history of echocardiography: a personal perspective. *J Am Soc Echocardiogr* 35:1202–1213
7. Erbel R, Schweizer P, Lambertz H, Henn G, Meyer J, Krebs W, Effert S (1983) Echoventriculography—a simultaneous analysis of two-dimensional echocardiography and cineventriculography. *Circulation* 67:205–215
8. Erbel R, Börner N, Steller D, Brunier J, Thelen M, Pfeiffer C, Mohr-Kahaly S, Iversen S, Oelert H, Meyer J (1987) Detection of aortic dissection by transoesophageal echocardiography. *Br Heart J* 58:45–51
9. Mohr-Kahaly S, Erbel R, Kearney P, Puth M, Meyer J (1994) Aortic intramural hemorrhage visualized by transesophageal echocardiography: findings and prognostic implications. *J Am Coll Cardiol* 23:658–664
10. Ge J, Erbel R, Rupprecht HJ, Koch L, Kearney P, Gorge G, Haude M, Meyer J (1994) Comparison of intravascular ultrasound and angiography in the assessment of myocardial bridging. *Circulation* 89:1725–1732
11. Schmermund A, Baumgart D, Gorge G, Seibel R, Grönemeyer D, Ge J, Haude M, Rumberger J, Erbel R (1997) Coronary artery calcium in acute coronary syndromes: a comparative study of electron-beam computed tomography, coronary angiography, and intracoronary ultrasound in survivors of acute myocardial infarction and unstable angina. *Circulation* 96:1461–1469
12. Buck T, Hunold P, Wentz KU, Tkalec W, Nesser HJ, Erbel R (1997) Tomographic three-dimensional echocardiographic determination of chamber size and systolic function in patients with left ventricular aneurysm: comparison to magnetic resonance imaging, cineventriculography, and two-dimensional echocardiography. *Circulation* 96:4286–4297
13. Schlüter M, Langenstein BA, Polster J, Kremer P, Souquet J, Engel S, Hanrath P (1982) Transoesophageal cross-sectional echocardiography with a phased array transducer system. Technique and initial clinical results. *Br Heart J* 48:67–72
14. Kremer P, Cahalan N, Beaupre P, Schröder E, Hanrath P, Heinrich H, Ahnefeld FW, Bleifeld W, Hamilton W (1985) Intraoperative Überwachung mittels transoesophagealer zweidimensionaler Echokardiographie. *Anaesthesist* 34:111–117
15. Flachskampf FA, Hoffmann R, Verlande M, Schneider W, Ameling W, Hanrath P (1992) Initial experience with a multiplane transoesophageal echo-transducer: assessment of diagnostic potential. *Eur Heart J* 13(9):1201–1206
16. Franke A, Schöndube FA, Kühl HP, Klues HG, Erena C, Messmer BJ, Flachskampf FA, Hanrath P (1998) Quantitative assessment of the operative results after extended myectomy and surgical reconstruction of the subvalvular mitral apparatus in hypertrophic obstructive cardiomyopathy using dynamic three-dimensional transesophageal echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 31:1641–1649
17. Kühl HP, Bücker A, Franke A, Maul S, Nolte-Ernsting C, Reineke T, Hoffmann R, Günther RW, Hanrath P (2000) Transesophageal 3-dimensional echocardiography: in vivo determination of left ventricular mass in comparison with magnetic resonance imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 13:205–215
18. Hoffmann R, Lethen H, Marwick T, Arnese M, Fioretti P, Pingitore A, Picano E, Buck T, Erbel R, Flachskampf FA, Hanrath P (1996) Analysis of inter-institutional observer agreement in interpretation of dobutamine stress echocardiograms. *J Am Coll Cardiol* 27:330–336
19. Hoffmann R, Barletta G, von Bardeleben S, Vanoverschelde JL, Kasprzak J, Greis C, Becher H (2014) Analysis of left ventricular volumes and function: a multicenter comparison of cardiac magnetic resonance imaging, cine ventriculography, and unenhanced and contrast-enhanced two-dimensional and three-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 27:292–301
20. Klues HG, Roberts WC, Maron BJ (1993) Morphological determinants of echocardiographic patterns of mitral valve systolic anterior motion in obstructive hypertrophic cardiomyopathy. *Circulation* 87:1570–1579
21. Nienaber CA, von Kodolitsch Y, Nicolas V, Siglow V, Piepho A, Brockhoff C, Koschyk DH, Spielmann RP (1993) The diagnosis of thoracic aortic dissection by noninvasive imaging procedures. *N Engl J Med* 328:1–9
22. Daniel WG, Mügge A, Martin RP, Lindert O, Hausmann D, Nonnast-Daniel B, Laas J, Lichtlen PR (1991) Improvement in the diagnosis of abscesses associated with endocarditis by transesophageal echocardiography. *N Engl J Med* 324:795–800
23. Mügge A, Daniel WG, Frank G, Lichtlen PR (1989) Echocardiography in infective endocarditis: reassessment of prognostic implications of vegetation size determined by the transthoracic and the transesophageal approach. *J Am Coll Cardiol* 14:631–638
24. Mügge A, Kühn H, Nikutta P, Grote J, Lopez JA, Daniel WG (1994) Assessment of left atrial appendage function by biplane transesophageal echocardiography in patients with nonrheumatic atrial fibrillation: identification of a subgroup of patients at increased embolic risk. *J Am Coll Cardiol* 23:599–607

25. Voigt JU, Exner B, Schmiedehausen K, Huchzermeyer C, Reulbach U, Nixdorff U, Platsch G, Kuwert T, Daniel WG, Flachskampf FA (2003) Strain-rate imaging during dobutamine stress echocardiography provides objective evidence of inducible ischemia. *Circulation* 107:2120–2126
26. Lauten J, Rost C, Breithardt OA, Seligmann C, Klinghammer L, Daniel WG, Flachskampf FA (2013) Invasive hemodynamic characteristics of low gradient severe aortic stenosis despite preserved ejection fraction. *J Am Coll Cardiol* 61:1799–1808
27. Voelker W, Reul H, Nienhaus G, Stelzer T, Schmitz B, Steegers A, Karsch KR (1995) Comparison of valvular resistance, stroke work loss, and Gorlin valve area for quantification of aortic stenosis. An in vitro study in a pulsatile aortic flow model. *Circulation* 91:1196–1204
28. Weidemann F, Breunig F, Beer M, Sandstede J, Turschner O, Voelker W, Ertl G, Knoll A, Wanner C, Strotmann JM (2003) Improvement of cardiac function during enzyme replacement therapy in patients with Fabry disease: a prospective strain rate imaging study. *Circulation* 108:1299–1301
29. Handke M, Harloff A, Olschewski M, Hetzel A, Geibel A (2007) Patent foramen ovale and cryptogenic stroke in older patients. *N Engl J Med* 357:2262–2268
30. Kuecherer HF, Schoels W, Sterns LD, Freigang K, Kleber Gda S, Brachmann J, Kuebler W (1995) Echocardiographic Fourier phase and amplitude imaging for quantification of ischemic regional wall asynergy: an experimental study using coronary microembolization in dogs. *J Am Coll Cardiol* 25:1436–1444
31. Gramiak R, Shah PM (1968) Echocardiography of the aortic root. *Invest Radiol* 3:356–366
32. Becher H, Schlieff R (1989) Improved sensitivity of color doppler by SHU454. *Am J Cardiol* 64:374–377
33. von Bibra H, Becher H, Firsckhe C, Schlieff R, Emslander HP, Schömig A (1993) Enhancement of mitral regurgitation and normal left atrial color doppler flow signals with peripheral venous injection of a saccharide-based contrast agent. *J Am Coll Cardiol* 22:521–528
34. Firsckhe C, Lindner JR, Wei K, Goodman NC, Skyba DM (1997) Kaul S Myocardial perfusion imaging in the setting of coronary artery stenosis and acute myocardial infarction using venous injection of a second-generation echocardiographic contrast agent. *Circulation* 96:959–967
35. Tiemann K, Pohl C, Schlosser T, Goenechea J, Bruce M, Veltmann C, Kuntz S, Bangard M, Becher H (2000) Stimulated acoustic emission: pseudo-doppler shifts seen during the destruction of nonmoving microbubbles. *Ultrasound Med Biol* 26:1161–1167
36. Grayburn PA, Fehske W, Omran H, Brickner ME, Lüderitz B (1994) Multiplane transesophageal echocardiographic assessment of mitral regurgitation by doppler color flow mapping of the vena contracta. *Am J Cardiol* 74:912–917
37. Schwammenthal E, Chen C, Benning F, Block M, Breithardt G, Levine RA (1994) Dynamics of mitral regurgitant flow and orifice area. Physiologic application of the proximal flow convergence method: clinical data and experimental testing. *Circulation* 90:307–322
38. Breithardt OA, Sinha AM, Schwammenthal E, Bidaoui N, Markus KU, Franke A, Stellbrink C (2003) Acute effects of cardiac resynchronization therapy on functional mitral regurgitation in advanced systolic heart failure. *J Am Coll Cardiol* 41:765–770
39. Engberding R, Bender F (1984) Identification of a rare congenital anomaly of the myocardium by two-dimensional echocardiography: persistence of isolated myocardial sinusoids. *Am J Cardiol* 53:1733–1734
40. Stöllberger C, Gerecke B, Finsterer J, Engberding R (2013) Refinement of echocardiographic criteria for left ventricular noncompaction. *Int J Cardiol* 165:463–467
41. Niederberger J, Schima H, Maurer G, Baumgartner H (1996) Importance of pressure recovery for the assessment of aortic stenosis by doppler ultrasound. Role of aortic size, aortic valve area, and direction of the stenotic jet in vitro. *Circulation* 94:1934–1940
42. Jenni R, Ritter M, Eberli F, Grimm J, Kraysenbuehl P (1989) Quantification of mitral regurgitation with amplitude-weighted mean velocity from continuous wave doppler spectra. *Circulation* 79:1294–1299
43. ACC aufgerufen. <https://www.choosingwisely.org/patient-resources/imaging-tests-for-heart-disease/>. Zugriffen: 17. Dez. 2022

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

Das Wichtigste in Kürze: Literaturangaben

Bitte achten Sie darauf, dass das Literaturverzeichnis **alle** im Text zitierten Literaturangaben enthält und Literaturangaben, die im Literaturverzeichnis stehen, mindestens einmal im Text erwähnt werden.

Die Referenzen im Literaturverzeichnis sollten mit allen notwendigen Angaben nach den folgenden Beispielen aufgebaut sein:

- **Beispiel Zeitschrift:** Nordmeyer SD, Kaiser G, Schaper A et al. (2022) Das Dreisäulenmodell der klinischen Toxikologie. *Monatsschr Kinderheilkd* 170, 613–620. <https://doi.org/10.1007/s00112-022-01520-w>
- **Beispiel Buch:** Zernikow B, Printz M (2022) *Praktische Schmerztherapie. In: Zernikow, B. (eds) Pädiatrische Palliativversorgung–Schmerzbehandlung und Symptomkontrolle.* Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-63148-5_2
- **Beispiel Online:** <http://www.springermedizin.de>. Zugriffen: 01. März 2022

Mehr Informationen auf
www.springermedizin.de/schreiben

