

Journal für Kardiologie

Austrian Journal of Cardiology

Österreichische Zeitschrift für Herz-Kreislauserkrankungen

Die Entwicklung der 3D-Echokardiographie - Stellenwert in der kardiologischen Diagnostik

Bartel T, Müller S

Journal für Kardiologie - Austrian

Journal of Cardiology 2010; 17

(5-6), 147-152

Homepage:

www.kup.at/kardiologie

Online-Datenbank
mit Autoren-
und Stichwortsuche



Offizielles
Partnerjournal der ÖKG



Member of the ESC-Editor's Club



Offizielles Organ des
Österreichischen Herzfonds



ACVC
Association for
Acute CardioVascular Care

In Kooperation
mit der ACVC

Indexed in ESCI
part of Web of Science

Indexed in EMBASE

Veranstaltungskalender

Hybrid-Veranstaltungen der Herausgeber des **Journals für Kardiologie**

Finden Sie alle laufend aktualisierten Termine
auf einem Blick unter

www.kup.at/images/ads/kongress.pdf

Die Entwicklung der 3D-Echokardiographie – Stellenwert in der kardiologischen Diagnostik

T. Bartel, S. Müller

Kurzfassung: Die 3D-Echokardiographie hat sich in den beiden vergangenen Jahrzehnten von einer zeitaufwendigen Spezialmethode, die vorrangig wissenschaftlichen Zwecken diene, zu einem klinischen Routineverfahren entwickelt. Dabei unterstützt die 3D-echokardiographische Bildgebung den Einsatz moderner, minimal-invasiver und interventioneller Therapieverfahren. Hinsichtlich einer Reihe von kardiologischen Krankheitsbildern stellt insbesondere die

Real-time-3D-Echokardiographie eine wichtige Ergänzung konventioneller 2D-Verfahren im Rahmen der Detaildiagnostik und der Therapieplanung dar.

Abstract: Development of 3D-Echocardiography and its importance in Cardiac Diagnostics. During the last two decades, 3D-echocardiography has been developed from a sophisticated, time-consuming method preferably used

as a scientific tool towards a routine clinical approach. Meanwhile, echocardiographic 3D-imaging supports application of current minimal invasive and interventional therapeutic procedures. With respect to a variety of cardiac diseases, especially real-time 3D-echocardiography can be considered an important supplement to conventional 2D-imaging for detailed diagnostics and therapeutic planning. **J Kardiol 2010; 17: 147–52.**

■ Technische Entwicklung – vom „Echo-CT“ zum Real-time-3D-Echo

Mit der 3D-Echokardiographie steht seit der Erstbeschreibung des Prinzips unter der Bezeichnung „Echo-CT“ [1] im Jahr 1989 ein bildgebendes Verfahren zur Verfügung, dessen innovativer Wert in der räumlichen, dynamischen Darstellung kardialer Strukturen und damit in der viel genaueren Beurteilung in erster Linie morphologischer aber auch funktioneller Veränderungen im Vergleich mit der noch heute als Standardmethode üblichen 2D-Echokardiographie besteht. Sie stellt damit die konsequente technische Weiterentwicklung der Echokardiographie von der eindimensionalen M-mode-Technik über die zweidimensionale Sektorbildgebung dar. Durch die Erzeugung räumlicher Bilddatensätze erlaubt die 3D-Echokardiographie realistische anatomische Ansichten der Herzstrukturen, ausgehend von beliebig wählbaren Schnittebenen. Damit lassen sich besondere, räumlich komplexe Strukturen oder Fehlbildungen realistisch darstellen. Die Möglichkeit, Oberflächen von Herzstrukturen sichtbar zu machen, stellte dabei eine völlig neue Informationsqualität dar, die zuvor mittels Schnittbildtechnik nicht erreichbar war. Von großer klinischer Bedeutung ist hier beispielsweise die Ansicht pathologisch veränderter Mitralklappensegel, aus Richtung des linken Vorhofs, wie sie der Chirurg intraoperativ sieht („surgical view“). Neben den Vorteilen der räumlichen Darstellung erlaubt die 3D-Echokardiographie anatomisch korrekte Quantifizierungen räumlicher Dimensionen (Volumetrie) ohne die Fehler geometrischer Vereinfachungen, wie sie im Rahmen der 2D-Echokardiographie immanent sind.

Nachdem die erste Generation dieser Technologie noch auf Datensätzen basierte, die aus parallelen 2D-Schnittbildern („parallel scanning“) [2], die mit einer speziellen motor-gesteuerten kaliberstarken transösophagealen (TEE-) Sonde

aufgenommen wurden, bestand, konnten wenig später 3D-Datensätze bereits mit handelsüblichen TEE-Sonden oder aber auch transthorakal (TTE) aufgezeichnet werden. Die TTE-Variante der 3D-Echokardiographie basierte auf der Freehand-Akquisition von 3D-Datensätzen, bei der die Sektorsonde willkürlich manuell geführt werden konnte, während die jeweilige räumliche Schallsektorposition durch ein elektromagnetisches Empfangssystem registriert wurde. Allerdings nahmen die elektronische Nachbearbeitung und schließlich die Offline-Rekonstruktion der 3D-Bilder noch sehr viel Zeit in Anspruch, was einer breiten Anwendung entgegenstand. Die TTE-basierte 3D-Echokardiographie litt zudem unter einer noch relativ schlechten Bildqualität.

In der 2. Hälfte der 1990er-Jahre wurde deshalb zunächst die TEE-basierte 3D-Echokardiographie optimiert und zur klinischen Reife weiterentwickelt. So konnte mithilfe elektronischer und mechanischer Zusatzgeräte jede 2D-TEE-Untersuchung nach Bedarf zu einer 3D-Echokardiographie mit anschließender und nun auch mit nicht mehr sehr zeitaufwendigen 3D-Bildrekonstruktion interessierender Strukturen erweitert werden [3]. Grundlage der Offline-3D-Echokardiographie ist eine EKG- und atemungsgetriggerte rotierte Akquisition von 2D-Bilddaten mit $\leq 5^\circ$ Winkelabstand (≥ 36 Bildebenen), die mit modernen Systemen ca. 2–3 Minuten in Anspruch nimmt (Abb. 1). Die Rekonstruktion des dynamischen 3D-Datensatzes benötigt dann weitere ca. 1–2 Minuten. Ein wichtiger Vorteil gegenüber der nachfolgend beschriebenen Echtzeit-3D-Echokardiographie ist die höhere räumliche Auflösung der 3D-Datensätze, wenn sie aus ausreichend vielen Bildebenen rekonstruiert wurden (≥ 36).

Zu Beginn dieses Jahrzehnts begann sich schließlich die Echtzeit-3D-Echokardiographie (Real-time-3D-Echokardiographie) schrittweise durchzusetzen. Der technische Hauptvorteil bestand in der Echtzeitregistrierung (online) von Bilddatensätzen. Allerdings war die aus diesen Datensätzen erreichte Bildqualität anfänglich für eine Reihe von Fragestellungen, wie z. B. die Beurteilung der Klappenmorphologie, abermals unzureichend. Die Echtzeit-3D-Echokardiographie oder Volumen-Echokardiographie basiert auf einer neuen Schallkopf-Technologie und überwindet wesentliche grundsätzliche Limitationen der Offline-3D-Rekonstruktion. Durch

Eingelangt am 3. August 2009; angenommen am 4. August 2009.

Aus der Universitätsklinik für Innere Medizin III, Kardiologie, Medizinische Universität Innsbruck

Korrespondenzadresse: Priv.-Doz. Dr. med. Thomas Bartel, Universitätsklinik für Innere Medizin III, Kardiologie, Medizinische Universität Innsbruck, A-6020 Innsbruck, Anichstraße 35; E-Mail: thomas.bartel@i-med.ac.at

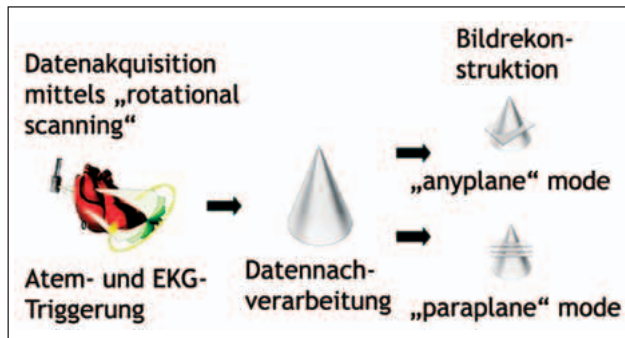


Abbildung 1: Schematische Darstellung der TEE-basierten Offline 3D-Echokardiographie bestehend aus Atem- und EKG-getriggter Datenakquisition, Nachbearbeitung und 3D-Bildrekonstruktion im „paraplane mode“ und „anyplane mode“. Mod. nach [3].

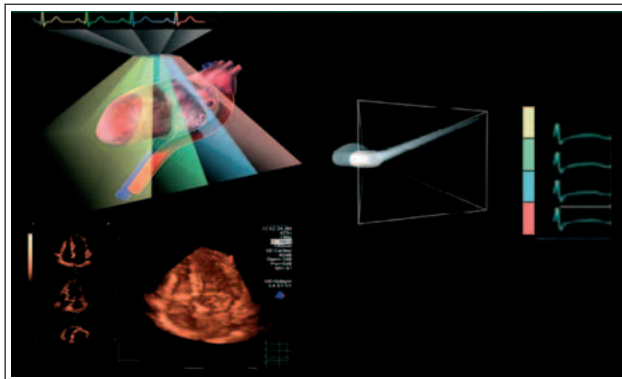


Abbildung 2: Prinzip der bislang unter der Bezeichnung Echtzeit-3D-Echokardiographie geführten Technik: Teildatensätze werden über mehrere aufeinanderfolgende Herzzyklen aufgezeichnet und zu einem „Full volume“-Datensatz zusammengesetzt. Nachteil: An den Übergängen der Teildatensätze kommt es zu Artefakten, die bei Arrhythmien häufig zu einer deutlichen Einschränkung der Bildqualität führen.

die Entwicklung spezieller Matrix-Schallköpfe wurde die Echtzeit-Akquisition von pyramidenförmigen Schallvolumina statt herkömmlichen zweidimensionalen Schallsektoren möglich. Moderne Matrix-Schallköpfe (mehrere Hersteller) bestehen aus einer zweidimensionalen Matrix mit mehreren tausend Ultraschallelementen im Vergleich zu herkömmlichen Sektor-Schallköpfen mit einer linearen Anordnung von 64–128 Elementen. Mittels Parallelverarbeitung durch 2 oder mehrere Prozessoren („parallel processing“) sowie eine Wasserkühlung des Schallkopfes ist es heute bereits möglich, so den Datentransfer zu steigern, ein pyramidenförmiges Schallvolumen von $90 \times 90^\circ$ (bisher nur von transthorakal möglich) abzutasten und die Ultraschallbildinformation aus einem großen Gesamtvolumen in Echtzeit darzustellen (ein Hersteller). Diese neue Technik, die auch unter der Bezeichnung Flash-4D-Echokardiographie bekannt ist, ermöglicht es, kardiale Strukturen und ihre Oberflächen online darzustellen und zu beurteilen. Die Echtzeit-3D-Darstellung ist damit auch unabhängig von Arrhythmien, die die Offline-3D-Rekonstruktion häufig erschwert hatten, möglich. Um ein vollständiges Datenvolumen von $90 \times 90^\circ$ von transösophageal zu erzeugen, ist momentan noch die Akquisition und nachfolgende Zusammensetzung von 4 Echtzeitvolumina in 4 aufeinanderfolgenden Herzzyklen notwendig (Stückelung in Teildatensätze mit eingeschränkter Echtzeitregistrierung) (Abb. 2).

Mittels der Echtzeit-3D-Technik ist auch die Echtzeit-3D-Farb-Doppler-Darstellung von Blutflüssen möglich.

Die Echtzeit-3D-Bilddatensätze können während der Untersuchung beliebig rotiert und geschnitten werden, um eine optimale Perspektive auf interessierende Herzstrukturen zu erhalten. Limitationen wie eingeschränkte räumliche Auflösung und Bildqualität sind durch technische Weiterentwicklungen in den vergangenen Jahren in den Hintergrund getreten.

■ 3D-Echokardiographie als Teil der Gesamtentwicklung in der kardiovaskulären Medizin

Die Entwicklung der kardiovaskulären Medizin war in den vergangenen 10 Jahren von der Tendenz hin zur interventionellen und minimal-invasiven Therapie geprägt. Dies betraf sowohl die Kardiologie als auch in noch stärkerem Maß die Kardiochirurgie. Den vorläufigen Höhepunkt dieser Entwicklung repräsentieren die Verfahren zum perkutanen Klappenersatz. Hierzu assoziiert sich die Entwicklung der rekonstruktiven herzchirurgischen z. B. klappenerhaltenden Therapie. All diese innovativen Verfahren erfordern jedoch ein weit höheres Maß an prä- und periinterventioneller bzw. perioperativer Bildgebung einschließlich genauerer funktioneller Bewertungen als dies noch vor etwa 10 Jahren der Fall war. So fußt z. B. die differenzialtherapeutische Entscheidung bezüglich der rekonstruktiven und minimal-invasiven Klappenchirurgie ganz wesentlich auf der präoperativen 3D-bildgebenden Diagnostik. Demnach trägt die 3D-Echokardiographie bereits heute dazu bei, bestimmte neue Therapieverfahren in der klinischen Routine zur Anwendung zu bringen. Gegenwärtig wird untersucht, inwieweit sich die Real-time-3D-Echokardiographie als Verfahren zur Steuerung des perkutanen Aortenklappenersatzes eignet.

■ Diagnostischer Zugewinn durch 3D-Echokardiographie

Diesbezüglich hat sich eine Reihe von diagnostischen Fragestellungen ergeben, für deren Beantwortung die 3D-Echokardiographie klinische Bedeutung erlangt hat.

Herzklappenerkrankungen

Die gezielte 3D-Rekonstruktion der Mitralklappe aus verschiedenen Perspektiven [4] ermöglicht bei der Mitralsuffizienz vom Typ II nach Carpentier [5] eine sehr zuverlässige Identifizierung der in den Prolaps involvierten Segmente und Kommissuren. Bis zur Einführung der 3D-Echokardiographie erfolgte diese Klassifikation über Jahrzehnte mittels konventioneller 2D-TEE [6]. Die Mitralklappenrekonstruktion ist dem Klappenersatz deutlich überlegen und gilt deshalb heute als die Behandlung der Wahl für die Korrektur der Mitralsuffizienz, vor allem bei Typ II nach Carpentier [7].

Eine möglichst zuverlässige präoperative Klappenanalyse ist entscheidend, da insbesondere Läsionen, die mehrere prolabierende Segmente und/oder Kommissuren betreffen, die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Klappenrekonstruktion mindern [8]. Eine wichtige Limitation der TEE besteht in der Notwendigkeit, zum Verständnis der komplexen Anatomie und spezifischen Pathologie eine begrenzte Anzahl von 2D-Schnittbildern mental zusammenzuführen. Im Gegensatz

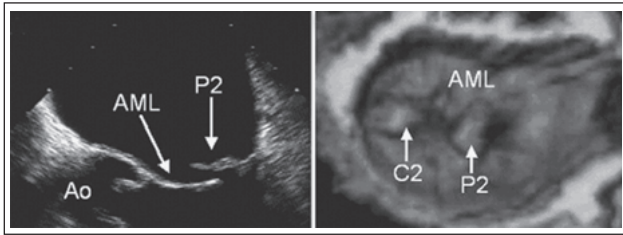


Abbildung 3: Aufblickdarstellung auf die Mitralklappe bei Prolaps der Segmente P2 und C2. Ao: Aorta; AML: vorderes Mitralklappensegel; C2: posteromediale Kommissur; P2: mittleres Segment des hinteren Mitralklappensegels.

zur konventionellen 2D-TEE stellte die 3D-Bildrekonstruktion durch die plastische Darstellung der Mitralklappenpathologie geringe Anforderungen an das räumliche Vorstellungsvermögen des Untersuchers (Abb. 3). Fehlinterpretationen können auf diese Weise verringert werden. Darüber hinaus sind Sensitivität und Spezifität der konventionellen TEE geringer als die der 3D-TEE, wenn mehrere Klappen-segmente oder Kommissuren involviert sind [9]. Schließlich sind die TEE-Bilder der Mitralklappe in der Regel nicht selbsterklärend und müssen deshalb in der Diskussion von Herzchirurgen und Kardiologen von letzteren interpretiert werden (Abb. 3). Die Empfehlung, bei einer Mitralinsuffizienz vom Typ II die konventionelle 2D-TEE durch eine 3D-Rekonstruktion der Mitralklappe zu ergänzen, wird dadurch unterstrichen, dass bei 96 % aller Fälle entweder eine neue Information gewonnen oder eine einmalige anatomische Bildgebung erfolgen kann [10].

Eine im Vergleich zu früheren Jahren unkomplizierte Datenaquisition sowie eine verbesserte Rekonstruktionssoftware ermöglichen eine 3D-Bildrekonstruktion mit nur geringem zeitlichem Mehraufwand im Vergleich zur konventionellen 2D-TEE. Werden Standardsichten ausgehend von Standardschnitten rekonstruiert, ist hierbei die Untersuchervariabilität gering und die Reproduzierbarkeit hoch [4]. Mithilfe der Weiterentwicklung der Real-time-3D-Echokardiographie wird die 3D-Bildgebung der Mitralklappe noch weiter erleichtert. Das Verfahren optimiert auch die Beurteilung von Mitralstenosen und hier neben der exakten Quantifizierung der Klappenöffnungsfläche [11] insbesondere auch die Beurteilung der Kommissuren vor einer möglichen Valvuloplastie. Die Methode wird zudem auch zur Führung interventioneller Device-Verschlüsse bei paravalvulärem Mitralklappenprothesenleck [12] eingesetzt, da hier die linksatriale Aufblickdarstellung entscheidend für die Sondierung des Lecks und die Device-Positionierung ist.

Im Gegensatz zu den Mitralklappenfehlern spielte die 3D-Echokardiographie bei Aortenklappenvitien bislang eine eher untergeordnete Rolle. Der Hauptgrund hierfür bestand darin, dass die Aortenklappe, weniger als die Mitralklappe, rekonstruktiven chirurgischen und interventionellen Methoden zugänglich war. Diese Situation ändert sich jedoch gegenwärtig mit der rasanten Verbreitung des perkutanen Aortenklappenersatzes. So dient auch hier die 3D-Echtzeit-TEE der Führung dieser interventionellen Prozedur [13]. Im Zuge dieser Entwicklung gewinnt die Echtzeit-3D-TEE auch für das peroperative Management von Aortenklappenvitien zunehmende Bedeutung [14].

Raumforderungen

Zunächst kann die Größe von intrakardialen Raumforderungen mittels Echtzeit-3D-Echokardiographie zuverlässig bestimmt werden [15]. Ferner konnte nachgewiesen werden, dass die 3D-Echokardiographie im Vergleich zur 2D-Untersuchungstechnik trotz morphologischer und klinischer Heterogenität der Raumforderungen deren Form, Befestigungsart, Oberflächenbeschaffenheit und Beziehung zu den umgebenden Strukturen detaillierter darstellen kann [16]. Unabhängig von der Ätiologie der Raumforderung profitierten mehr als ein Drittel der Patienten dadurch, dass mithilfe der 3D-Echokardiographie zusätzliche Informationen gewonnen wurden. In der Mehrzahl der Fälle zeigten sich die 3D-Rekonstruktionen bei der Detaildiagnostik der Raumforderung als hilfreich und der 2D-Echokardiographie überlegen. Die so erzielten Zusatzinformationen beeinflussen die nachfolgenden diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen. Am häufigsten wurde dabei der chirurgische Zugangsweg modifiziert. Da intrakardiale Raumforderungen aus jeder beliebigen Perspektive rekonstruiert und visualisiert werden können, ist es möglich, genaue Kenntnisse über die Lokalisation der Raumforderung und deren Beziehung zu den angrenzenden Strukturen zu gewinnen und somit vor dem Hintergrund der Entwicklung minimal-invasiver Operationsverfahren den optimalen chirurgischen Zugang zu wählen. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass durch die aus der 3D-Rekonstruktion gewonnenen zusätzlichen Informationen über Ort und Art der Befestigung und vor allem der räumlichen Beziehung zur Umgebung zunächst noch unklare Befund- und Symptomkomplexe pathophysiologisch erklärt werden können [16].

Als limitiert erwies sich die 3D-Echokardiographie allerdings im Falle intramuraler Raumforderungen, da durch rekonstruierte Aufblickdarstellungen aus verschiedenen Perspektiven immer nur die Endokardoberfläche abgebildet werden kann [16]. Das intramurale Wachstum eines Tumors kann deshalb nicht oder nur teilweise dargestellt werden. Die diagnostische Überlegenheit der 3D-Echokardiographie beschränkt sich folglich auf intrakavitäre kardiale Raumforderungen und ist für intramural wachsende Tumoren nicht gültig. Die am häufigsten vorkommenden Tumore sind Myxome. Aufgrund der typischen Form und Lokalisation im Bereich der Fossa ovalis oder deren unmittelbarer Umgebung lassen sich Myxome in der Regel bereits transthorakal ausreichend diagnostizieren. Mittels 2D-TEE können zusätzlich vor allem der Ursprungsort, Verwachsungen mit der Mitralklappe, zystische, kalzifizierte oder hämorrhagische Herde sowie Auflagerungen des Myxoms gut dargestellt und beurteilt werden. Allerdings hat die bessere Visualisierung der Myxome durch die TEE gegenüber der TTE keinen relevanten Einfluss auf die chirurgische Therapie [17]. Es ist bekannt, dass die Konsistenz eines Myxoms durchaus unterschiedlich sein kann, was sich auf die Embolisationsneigung auswirkt. Dementsprechend werden solide, ovoide Myxome mit glatter Oberfläche von papillären, gelatinösen Myxomen mit irregulärer Oberfläche unterschieden [18] (Abb. 4). Die gegenüber der 2D-Echokardiographie detaillierte Oberflächendarstellung des Myxoms mittels 3D-Rekonstruktion ermöglicht somit eine zuverlässigere morphologische Typendifferenzierung und damit verbunden eine verbesserte Einschätzung des Embolierisikos [16].

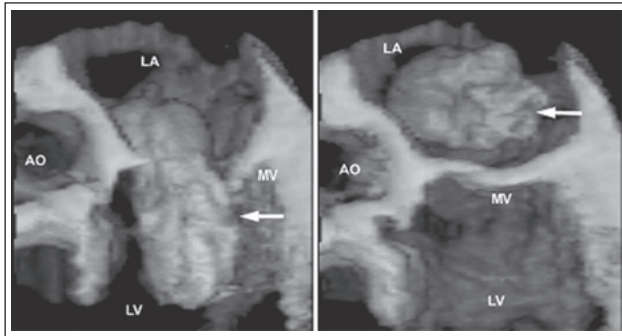


Abbildung 4: Papilläres, gelatineses Myxom (links: Diastole, rechts: Systole) mit hoher Embolisationswahrscheinlichkeit prolapiert diastolisch in den linken Ventrikel. Ao: Aorta; LA: linker Vorhof; LV: linker Ventrikel; MV: Mitralklappe.

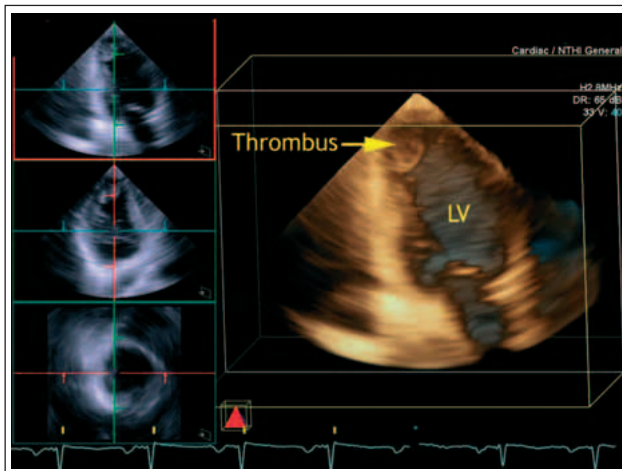


Abbildung 5: Flash-4D-Darstellung eines Thrombus in der linksventrikulären Spitze; LV: linker Ventrikel.

Im Vergleich zur Magnetresonanztomographie (MRT), die als Goldstandard in der Diagnostik intrakardialer Raumforderungen gilt, ist die 3D-Echokardiographie als bettseitig einsetzbare Methode klinisch viel besser handhabbar und kostengünstiger. Dies trifft vor allem für die Flash-4D-TTE zu, deren Bildqualität insbesondere bei linksventrikulären Thromben der 3D-TEE ebenbürtig ist (Abb. 5). Eine relativ genaue Gewebecharakterisierung und Beurteilung der Dignität und der extrakardialen Ausdehnung des Tumors, wie durch das MRT [19, 20], ist jedoch mittels 3D-Echokardiographie generell nicht möglich.

Volumetrie und Resynchronisation

Im Vergleich zu MRT-Messungen werden die 3D-echokardiographisch berechneten linksventrikulären Volumina systematisch unterschätzt. Die Gründe für diese Unterschätzung liegen in methodischen Besonderheiten der 3D-Echokardiographie. Aufgrund einer begrenzten zeitlichen Auflösung kann die Definition der exakten Endsystole bzw. Enddiastole erschwert sein und demzufolge eine Unterschätzung des EDV bzw. Überschätzung des ESV resultieren [21, 22]. Weitere Ursachen der Volumenunterschätzung können in der planimetrischen Volumenanalyse vermutet werden. Eine Möglichkeit für die echokardiographische Unterschätzung der linksventrikulären Volumina liegt in der unvollständigen Darstellung der Ventrikelspitze. Das heißt, infolge tangentialer Anschallung werden bei der apikalen Echokardiographie bei einem Teil der Patienten lediglich die basalen und medialen

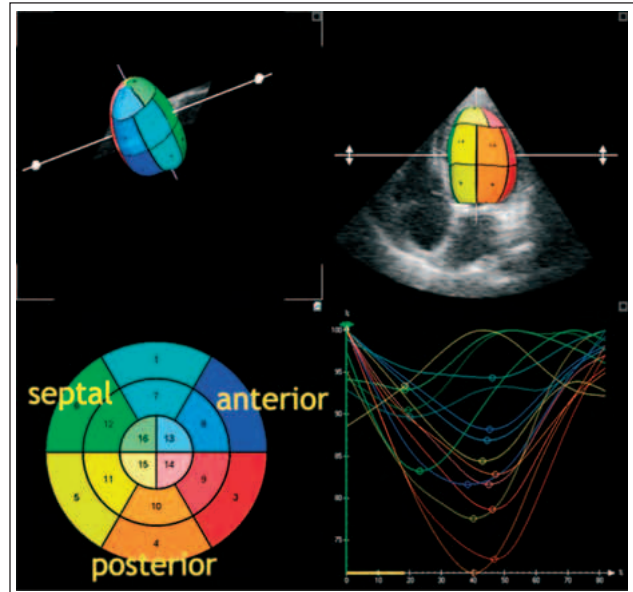


Abbildung 6: Darstellung eines asynchronen Kontraktionsablaufs bei ischämischer Kardiomyopathie im 3D-Beutelmodell anhand von Segmentvolumenkurven. Die Kurven erreichen ihre minimalen Teilvolumina (Ausdruck der maximalen Kontraktion) zu sehr verschiedenen Zeitpunkten.

Anteile des Ventrikels vollständig abgebildet [23, 24]. Dadurch sind gelegentlich auftretende Diskrepanzen zwischen Befunden der Echokardiographie und anderen bildgebenden Methoden hinsichtlich der Ventrikelgröße und dem Auftreten von Spitzenaneurysmen und Thromben im linken Ventrikel erklärbar. Dabei ist das abgeschnittene enddiastolische linksventrikuläre Volumen deutlich größer als das endsystolische. Deutlich häufiger wurde das Phänomen der abgeschnittenen Ventrikelspitze bei Patienten, die bereits einen Vorderwandinfarkt durchgemacht hatten, beobachtet [25]. Ebenso begünstigen eine eingeschränkte globale systolische linksventrikuläre Funktion und/oder regionale Wandbewegungsstörungen anterior und apikal im Vergleich zu einer normalen Pumpfunktion eine unvollständige Darstellung der eigentlichen Ventrikelspitze. Durch die simultane Abbildung von verschiedenen senkrechten Schnittebenen gelingt es mit der Echtzeit-3D-Echokardiographie und dem Beutelmodell, der neuesten volumetrischen Methode, am besten, die „längste“ lange Achse des linken Ventrikels darzustellen und damit die so bedingte Volumenunterschätzung zu minimieren [26].

Auch der Asynchronitätsindex, der als Kontrollparameter bei Resynchronisation Bedeutung erlangt hat [27], basiert auf der Kombination aus Beutelmodell und 16- bzw. 17-Segmentmodell. Dabei wird jedem Segment eine Volumenkurve über den Herzzyklus zugeordnet. Der Asynchronitätsindex drückt die zeitlichen Abstände zwischen den Kontraktionsmaxima aus. Ein normaler Asynchronitätsindex liegt zwischen 3 und 5. Qualitativ wird dies durch eine weitgehende Parallelität aller Segmentvolumenkurven deutlich. Bei Vorliegen einer Asynchronie kann sich der Indexwert auf 15–20 vervielfachen (Abb. 6) und nach Resynchronisation wieder normalisieren.

Kongenitale Vitien

Die 3D-Echokardiographie bietet eine Reihe von Vorteilen gegenüber der 2D-Echokardiographie bei der Beurteilung der Morphologie angeborener Herzfehler bei Erwachsenen, in-

dem sie insbesondere bei komplexen Fehlbildungen, wie dem Cor triatriatum oder der Transposition der großen Arterien [28, 29], die exakte anatomische Darstellung sowie die Beurteilung pathophysiologischer Veränderungen im Verhältnis zu den nicht direkt von der jeweiligen Fehlbildung betroffenen kardialen Strukturen erleichtert. So gelingt in vielen Fällen nicht nur die exakte Diagnose, sondern mehr noch die Beurteilung der pathophysiologischen Bedeutsamkeit des Vitiums mithilfe der 3D-Echokardiographie leichter als mithilfe der konventionellen 2D-Bildgebung. So lässt sich bei der Transposition der großen Arterien die für Prognose und Schweregrad der Herzinsuffizienz entscheidende funktionelle Anpassung des anatomisch rechten Ventrikels an die Systemlast anhand volumetrischer Messungen genau abschätzen [29].

Das klassische Cor triatriatum ist eine seltene Erkrankung im Erwachsenenalter. Ursächlich ist eine Stenosierung des Lungenvenenotrichters an dessen Einmündung in den linken Vorhof. Durch die Stenose kommt es zur Aufweitung des Lungenvenenotrichters, in den alle 4 Lungenvenen münden. Auf diese Weise entsteht neben dem wahren linken Vorhof ein akzessorischer linker Vorhof. Klinisch imponiert das Krankheitsbild wegen des nahezu gleichen Pathomechanismus wie eine Mitralkstenose, allerdings mit dem Unterschied, dass sich der Stenosegrad der Öffnung des Lungenvenenotrichters, demnach der Öffnung in der akzessorischen Membran, der die Begrenzung zwischen akzessorischem und wahren linken Vorhof darstellt, meist nicht so leicht wie die Mitralköffnungsfläche bei der Mitralkstenose bestimmen lässt. Obwohl die Fehlbildung bereits mittels TTE, noch genauer aber mithilfe der TEE diagnostiziert werden kann, ist die Frage nach der hämodynamischen Bedeutsamkeit nur gelegentlich über den Druckgradienten an der akzessorischen Membran abzuschätzen, da der Stenosejet durchaus exzentrisch verlaufen kann. Hinzu kommt, dass die stenotische Öffnung meist eine Schlitzform aufweist und daher die Größe der Öffnung in der zweidimensionalen Bildgebung leicht unterschätzt und somit der Stenosegrad überschätzt wird [28].

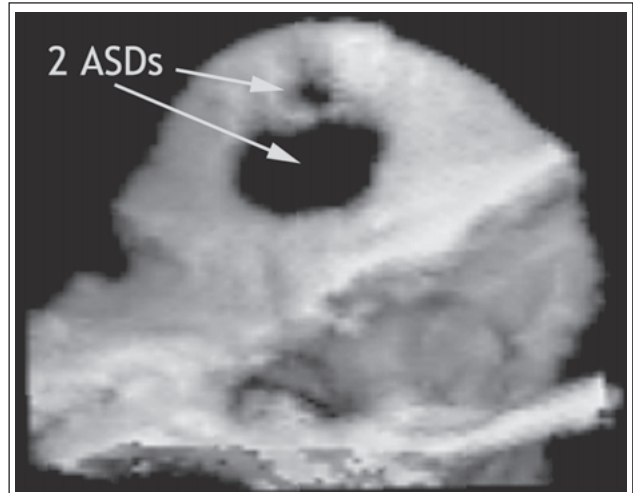


Abbildung 7: Zwei Vorhofseptumdefekte (eine größere und eine benachbarte kleinere interatriale Kommunikation) in der dreidimensionalen Aufblickdarstellung aus dem linken Vorhof.

Beim Vorhofseptumdefekt (ASD) ist eine Größenbestimmung nur in wenigen Schnittebenen möglich. Eine genaue allseitige Darstellung des Randsaums und die Bestimmung der Geometrie sind unabhängig von der sich immer weiter verbessernden Bildauflösung nur eingeschränkt möglich, da die Defekte häufig eine ovale oder unregelmäßige Begrenzung aufweisen. Daneben ändert sich die Defektgröße über den Herzzyklus. Dies führt bei Darstellung in einer Ebene zwangsläufig zur Unter- oder Überschätzung des nativen Durchmessers [30]. Mithilfe der 3D-TEE kann diese diagnostische Lücke geschlossen werden. Die dreidimensionale Darstellung des ASD ist grundsätzlich in Shuntrichtung mit Aufblick auf das interatriale Septum (Abb. 7) sowie gegen die Shuntrichtung von kaudal mit Aufblick auf das interatriale Septum von rechtsatrial möglich. Von links- wie von rechtsatrial kann die Form des Defektes sicher bestimmt werden, was von Bedeutung ist, da sich stark oval geformte Defekte weniger zum interventionellen Verschluss eignen als ASD mit kreisförmiger

ger Kommunikation, die einen besseren Halt für das Verschluss-Device bietet. Mittels 3D-Echokardiographie gelingen die Randsaumabgrenzung und die Konturdarstellung des ASD von linksatrial meist mit höherer Qualität als von rechtsatrial, da so die gesamte Zirkumferenz dargestellt werden kann und so auch eine korrekte Ausmessung des Randsaums möglich wird. Bei der 3D-Bildrekonstruktion des Aufblicks von linksatrial liegt das abzubildende Areal nahezu ausschließlich im Bereich des linken Vorhofs und damit sehr schallkopfnah, was die Qualität der 3D-Bildgebung sehr günstig beeinflusst. Eine 3D-Detaildarstellung der Defektmorphologie ermöglicht einen optimalen Einsatz katheterinterventioneller Device-Verschlüsse von Vorhofseptumdefekten [31], zunehmend aber auch anderer Shuntvitien. Ebenfalls ist die 3D-Darstellung der 2D-Bildgebung überlegen, wenn mehrere interatriale Kommunikationen nebeneinander vorliegen. Mittels 3D-TEE kann zwar der Nativdurchmesser bei ASD sehr genau bestimmt werden, der für den interventionellen Verschluss maßgebliche gedehnte Diameter wird jedoch unterschätzt. So bleibt das Balloon-Sizing vor einem interventionellen Device-Verschluss auch weiterhin unverzichtbar. Der Wert der 3D-Bildrekonstruktion liegt demnach hauptsächlich in der präinterventionellen Abgrenzung oval geformter Defekte sowie in der Charakterisierung und Quantifizierung des Randsaums sowie der räumlichen Beziehung des Defektes zu den atrioventrikulären Klappen

und der Aorta. Die Echtzeit-3D-TEE hat darüber hinaus Bedeutung bei der direkten Führung des intrainerventionellen Device-Verschlusses erlangt. Der entscheidende Nachteil der TEE, der darin besteht, dass der Patient in Rückenlage eine Sonde schlucken und längere Zeit tolerieren muss, besteht jedoch weiter. Dieser Nachteil kann nur mittels intrakardialer Echokardiographie überwunden werden. In diesem Zusammenhang sind gegenwärtige Entwicklungen zu nennen, die in naher Zukunft die 3D-Echokardiographie auch intrakardial verfügbar machen werden.

■ Zusammenfassung

Die 3D-Echokardiographie hat sich von einer aufwendigen, rein diagnostischen Methode zu einem klinisch gut handhabbaren perioperativen und periinterventionellen Diagnostik- und Führungsinstrument entwickelt. Die Echtzeit-3D-Echokardiographie als TEE und TTE, neuerdings in Form der Flash-4D-Echokardiographie sowie zukünftig auch als intrakardiale Anwendung, unterstützt damit die allgemeine Tendenz in der kardiovaskulären Medizin hin zu interventionellen, minimal-invasiven und rekonstruktiven Eingriffen am Herzen und im Bereich der großen Gefäße. Die bettseitige und vor allem intraprozedurale Einsetzbarkeit, die fehlende Strahlenbelastung und Kostenvorteile setzen das Verfahren von anderen bildgebenden Techniken, die an Großgeräte gebunden sind, ab.

Literatur:

- Wollschläger H, Zeiher AM, Klein HP. Transesophageal echo computer tomography: a new method for dynamic 3-D imaging of the heart. *Biomed Tech* 1989; 34 (Suppl): 10–1.
- Bartel T, Müller S, Erbel R. Dynamic three-dimensional echocardiography using parallel slicing: A promising diagnostic procedure in congenital heart disease in adults. *Cardiology* 1998; 89: 140–7.
- Müller S, Bartel T, Pachinger O, Erbel R. 3-D-Echokardiographie: neue Entwicklungen und Zukunftsperspektiven. *Herz* 2002; 27: 227–36.
- Macnab A, Jenkins NP, Ewington I, Bridgewater BJ, Hooper TL, Greenhalgh DL, Patrick MR, Ray SG. A method for the morphological analysis of the regurgitant mitral valve using three dimensional echocardiography. *Heart* 2004; 90: 771–6.
- Carpentier A, Chauvaud S, Fabiani JN, Deloche A, Relland J, Lessana A, d'Alaaines CL, Bloneau PH, Pivnicka A, Dubost Ch. Reconstructive surgery of mitral valve incompetence, ten-year appraisal. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1980; 79: 338–48.
- Lambert AS, Miller JP, Merrick SH, Schiller NB, Foster E, Muhiudeen-Russell I, Cahalan MK. Improved evaluation of the location and mechanism of mitral valve regurgitation with a systematic transesophageal echocardiography examination. *Anesth Analg* 1999; 88: 1205–12.
- Caraballo BA, Crawford FA. Valvular heart disease. *N Engl J Med* 1997; 337: 32–41.
- Omran AS, Woo A, David TE, Feindel CM, Rakowski H, Siu SC. Intraoperative transesophageal echocardiography accurately predicts mitral valve anatomy and suitability for repair. *J Am Soc Echocardiogr* 2002; 15: 950–7.
- Müller S, Müller L, Laufer G, Alber H, Dichtl W, Frick M, Pachinger O, Bartel T. Comparison of 3-dimensional imaging to transesophageal echocardiography for preoperative evaluation in mitral valve prolapse. *Am J Cardiol* 2006; 98: 243–8.
- Chan KL, Liu X, Asch KJ, Beauchesne LM, Burwash IG. Comparison of real-time 3-dimensional echocardiography with conventional 2-dimensional echocardiography in the assessment of structural heart disease. *J Am Soc Echocardiogr* 2004; 17: 976–80.
- Binder TM, Rosenhek R, Porenta G, Maurer G, Baumgartner H. Improved assessment of mitral valve stenosis by volumetric real-time three-dimensional echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 2000; 36: 1355–61.
- Johri AM, Yared K, Durst R, Cubeddu RJ, Palacios IF, Picard MH, Passeri J. *Eur J Echocardiogr* 2009; 10: 572–5.
- Janosi RA, Kahlert P, Plicht B, Böse D, Wendt D, Thielmann M, Jakob H, Eggebrecht H, Erbel R, Buck T. Guidance of percutaneous transcatheter aortic valve implantation by real-time three-dimensional transesophageal echocardiography – A single-center experience. *Minim Invasive Ther Allied Technol* 2009; 1: 142–8.
- Schoy TV, Soliman OI, Lecompte PV, McGhie J, Kappetein AP, Hoftand J, Ten Cate FJ. Intraoperative real time three-dimensional transesophageal echocardiographic measurement of hemodynamic, anatomic and functional changes after aortic valve replacement. *Echocardiography* 2009; 26: 96–9.
- Asch FM, Bieganski SP, Panza JA, Weissman NJ. Real-time 3-dimensional echocardiography of intracardiac masses. *Echocardiography* 2006; 23: 218–24.
- Müller S, Feuchtnr G, Bonatti J, Müller L, Laufer G, Hiemetzberger R, Barbieri V, Pachinger O, Bartel T. Value of transesophageal three-dimensional echocardiography as an adjunct to conventional two-dimensional imaging in preoperative evaluation of cardiac masses. *Echocardiography* 2008; 25: 624–31.
- Goswami KC, Shrivastava S, Bahl VK, Saxena A, Manchanda SC, Wasir HS. Cardiac myxomas: clinical and echocardiographic profile. *Int J Cardiol* 1998; 63: 251–9.
- Ha JW, Kang WC, Chung N, Chang BC, Rim SJ, Kwon JW, Jang Y, Shim WH, Cho SY, Kim SS, Cho SH. Echocardiographic and morphologic characteristics of left atrial myxoma and their relation to systemic embolism. *Am J Cardiol* 1999; 83: 1579–82.
- Gulati G, Sharma S, Kothari SS, Juneja R, Saxena A, Talwar KK. Comparison of echo and MRI in the imaging evaluation of intracardiac masses. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2004; 27: 459–69.
- Menegus MA, Greenberg MA, Spindola-Franco H, Fayemi A. Magnetic resonance imaging of suspected atrial tumors. *Am Heart J* 1992; 123: 1260–8.
- Müller S, Bartel T, Baumann G, Erbel G. Preliminary report: evaluation of three-dimensional echocardiographic volumetry by simultaneous thermal dilution in coronary heart disease. *Cardiology* 1996; 87: 552–9.
- Müller S, Bartel T, Cao QL, Malsani ND, Yao J, Arsenault M, Erbel R, Pandian NG. Three-dimensional echocardiography: In vivo validation of volumetry using simultaneous thermal dilution. *J Am Soc Echocardiography* 1997; 10: 410.
- Gopal AS, Shen Z, Sapin PM, Keller AM, Schnellbaecher MJ, Leibowitz DW, Akinboye OO, Rodney RA, Blood DK, King DL. Assessment of cardiac function by three-dimensional echocardiography compared with conventional noninvasive methods. *Circulation* 1995; 92: 842–53.
- Erbel R, Schweizer P, Meyer J, Grenner H, Krebs W, Effert S. Left ventricular volume and ejection fraction determination by cross-sectional echocardiography in patients with coronary artery disease: a prospective study. *Clin Cardiol* 1980; 3: 377–83.
- Müller S, Bartel T, Katz MA, Pachinger O, Erbel R. Partial cut-off of left ventricle: determination and effects on volume parameters assessed by real-time 3-D echocardiography. *Ultrasound Med Biol* 2003; 29: 25–30.
- Qin JX, Jones M, Shiota T, Greenberg NL, Tsujino H, Firstenberg MS, Gupta PC, Zetts AD, Xu Y, Ping Sun J, Cardon LA, Odabashian JA, Flamm SD, White RD, Panza JA, Thomas JD. Validation of real-time three-dimensional echocardiography for quantifying left ventricular volumes in the presence of a left ventricular aneurysm: in vitro and in vivo studies. *J Am Coll Cardiol* 2000; 36: 900–7.
- Kapetanakis S, Kearney MT, Siva A, Gall N, Cooklin M, Monaghan MJ. Real time three-dimensional echocardiography: a novel technique to quantify global left ventricular mechanical dyssynchrony. *Circulation* 2005; 112: 992–1000.
- Bartel T, Müller S, Geibel A. Preoperative assessment of cor triatriatum in the adult: Higher diagnostic value of dynamic 3-dimensional echo compared to TEE and MRI. *Br Heart J* 1994; 72: 498–9.
- Bartel T, Müller S. Corrected transposition of the great arteries: Dynamic three-dimensional echocardiography and volumetry – A new diagnostic tool in intensive care management. *Jpn Heart J* 1995; 36: 819–24.
- Franke A, Kühl HP, Rulands D, Jansen C, Erena C, Grabitz RG, Däbritz S, Messmer BJ, Flachskampf FA, Hanrath P. Quantitative analysis of the morphology of secundum-type atrial septal defects and their dynamic change using transesophageal three-dimensional echocardiography. *Circulation* 1997; 96 (9 Suppl): II-323-7.
- Magni A, Hijazi ZM, Pandian NG, Delabays A, Sugeng L, Laskari C, Marx G. Two- and three-dimensional transesophageal echocardiography in patient selection and assessment of atrial defect closure by new DAS-Angel wings device: initial clinical experience. *Circulation* 1997; 96: 1722–8.

Mitteilungen aus der Redaktion

Besuchen Sie unsere Rubrik

☒ Medizintechnik-Produkte



Neues CRT-D Implantat
Intica 7 HF-T QP von Biotronik



Artis pheno
Siemens Healthcare Diagnostics GmbH



Philips Azurion:
Innovative Bildgebungslösung

Aspirator 3
Labotect GmbH



InControl 1050
Labotect GmbH

e-Journal-Abo

Beziehen Sie die elektronischen Ausgaben dieser Zeitschrift hier.

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

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

☒ Bestellung e-Journal-Abo

Haftungsausschluss

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

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

[Impressum](#)

[Disclaimers & Copyright](#)

[Datenschutzerklärung](#)