Die neusten Methoden im Herzultraschall – advanced imaging in echocardiography

Mladen Pavlovic[a)] und Susanne Navarini[b)] b

a) Pädiatrische Kardiologie, Zentrum für angeborene Herzfehler, Universitätsklinik für Kardiologie, CH-3010 Bern.
b) Pädiatrische Kardiologie, Universitäts-Kinderspital beider Basel, CH-4056 Basel.

Einleitung

Der Herzultraschall (Echokardiographie) ist die wichtigste und am häufigsten eingesetzte bildgebende Methode in der Kinderkardiologie. Die Methode ist nicht-invasiv und liefert Informationen über die zwei wichtigsten Fragestellungen bei der Abklärung angeborener Herzfehler und anderer kardiovaskulären Fragestellungen: die anatomische Morphologie sowie die Funktion des Herzen. Neben Anamnese und klinischer Untersuchung, ist die Ultraschalldiagnostik mittlerweile zu einem Standard in der Kinderkardiologie geworden. Bis zur Etablierung der Echokardiographie war, abgesehen von der Röntgen-Diagnostik, die Herzkatheter-Untersuchung die einzige Methode, das Herz-Kreislaufsystem zu untersuchen. Die Herzkatheteruntersuchung ist eine invasive und strahlenbelastende Untersuchung im Vergleich zur Echokardiographie, welche nicht invasiv und ohne Strahlenbelastung ist. Moderne Ultraschallgeräte sind heute mobile Einheiten, welche nach Bedarf in der Sprechstunde, auf der Intensivstation oder im Operationssaal eingesetzt werden können. Je nach Einsatz stehen für ein Ultraschallgerät verschiedene Sonden zur Verfügung (fetale Echokardiographie, Neugeborenen-Untersuchung, trans-oesophageale Bildgebung etc.). Der Einsatz der Echokardiographie für die verschiedenen Indikationen erfolgt nach etablierten Leitlinien[1)].

Im kardiovaskulären System, insbesondere bei kongenitalen Problemen, bilden Struktur, Hämodynamik und Funktion eine Einheit und beeinflussen sich gegenseitig. Je nach Fragestellung stehen aber gelegentlich entweder das hämodynamische Problem, die Funktion oder die Anatomie im Vordergrund. Das Ziel der modernen Echokardiographie ist es, diese Fragen bestmöglich zu beantworten. Die Befunde dieser Methode bilden oftmals massgeblich die Grundlage für die Behandlung von Herzerkrankungen.

Darstellung der Anatomie

Die Etablierung der Kinderkardiologie als eigene Subspezialität hängt grundlegend mit der strukturellen Darstellung angeborener Fehlbildungen des Herz-Kreislaufsystems zusammen. Seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts und bis in die frühen 70er Jahre standen lediglich radiologische beziehungsweise angiographische Methoden zur Verfügung. Diese bedeuteten eine erhebliche Belastung mit Röntgenstrahlen. In den frühen 1970er Jahren wurde die Echokardiographie als diagnostische Methode eingeführt. Die strukturellen Informationen durch die sogenannte M-mode Echokardiographie *(Abb. 1)* waren allerdings so rudimentär, dass zunächst weiterhin die Herzkatheter-Untersuchung die Methode der Wahl blieb, um kardiovaskuläre Missbildungen abzuklären. Die M-mode-Darstellung konnte im Prinzip lediglich Dimensionen von Herzhöhlen und Myokard messen und ermöglichte es damit Funktionsparameter zu berechnen.

Das Verständnis angeborener Herzfehler erfordert die Darstellung der segmentalen Anatomie und damit auch die Beschreibung der Abweichungen von der Norm. Erst in den 1980er Jahren war es möglich zweidimensionale Bilder *(Abb. 2 und 3)* von kardiovaskulären Strukturen zu generieren und damit angeborene Herzfehler im bewegten Bild darzustellen. Dies war der Durchbruch der Echokardiographie, zumal man im Vergleich zu anderen bildgebenden Verfahren jener Zeit (Computertomographie oder Magnetresonanztomographie) ohne Belastung mit Röntgenstrahlung und mit wenig Aufwand nicht nur zweidimensionale Bilder der kardialen Anatomie, sondern auch die Bewegung und Funktion dieser Strukturen beurteilen konnte. Nun war die Darstellung sowohl der Lage (und damit Lageanomalien) des Herzen wie auch aller intrakardialen Strukturen möglich[2)].

Die Methode konnte nun auch Befunde darstellen, welche eventuell weder klinisch noch radiologisch darstellbar wären, aber für den Patienten im Hinblick z. B. auf eine Risikostratifizierung bei familiärer Kardiomyopathie *(Abb. 3)* oder der bicuspiden Aortenklappe *(Abb. 4a)* von grösster Wichtigkeit sind. Befunde wie der Vorhofseptumdefekt, welcher bei fehlender Klinik verpasst werden kann und früher im Erwachsenenalter zu schweren Komplikationen führte, konnte nun mit Hilfe der Echokardiographie einfach dargestellt werden und dadurch frühzeitig einer Operation zugeführt werden.

Für die optimale Darstellung eines dreidimensionalen Organs muss die zweidimensionale Echokardiographie natürlich aus multiplen Ebenen durchgeführt werden (z. B. paraster-

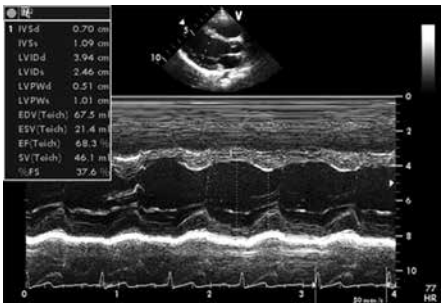


Abb. 1: M-mode des linken Ventrikel

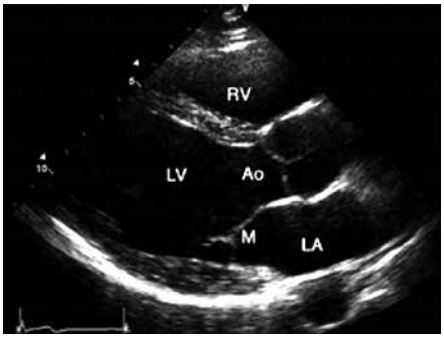


Abb. 2: Normalbefund

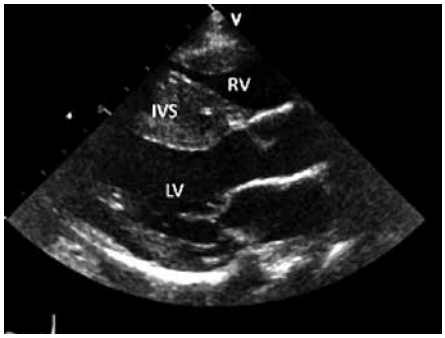


Abb. 3: Hypertrophe Kardiomyopathie

Parasternale lange Achse, RV = rechter Ventrikel, LV = linker Ventrikel, Ao = Aorta, M = Mitralklappe, LA = linkes Atrium, IVS = Interventrikuläres Septum)

nale kurze und lange Achse, apikaler Vierkammerblick etc.). Diese Untersuchung muss nach bestimmten Qualitätsstandards ausgeführt werden um wichtige Befunde nicht zu verpassen[3]. Der geübte Untersucher rekonstruiert dann über die verschiedenen Ebenen und durch das Schwenken («sweep») seiner Sonde in Gedanken die dreidimensionale Anatomie des Herzen.

Die Entwicklung der dreidimensionalen Echokardiographie im letzten Jahrzehnt war schliesslich ein Meilenstein für die Beurteilung kardialer Strukturen, insbesondere der Herzklappen *(Abb. 4b und 5b)*.

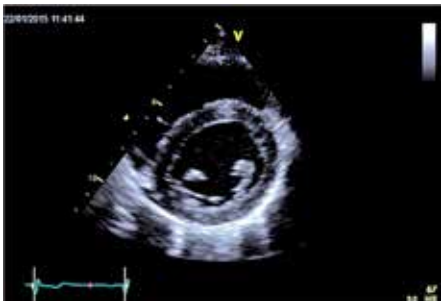
Die Notwendigkeit, das Herz während der Untersuchung in verschiedenen Ebenen abzubilden wurde nun zum Teil überflüssig, da bei einer optimalen 3d-Echokardiographie ein gesamtes Volumen des Herzen aufgenommen wird und damit unendlich viele Ebenen vorliegen und nach der eigentlichen Untersuchung («offline») ausgewertet werden können[4]. Der technische Fortschritt der letzten Jahre hat dies Auswertung der grossen Datenmenge bei 3d-Aufnahmen massiv verkürzt. Waren früher noch stundenlange Nachbearbeitungen von 3d-Untersuchungen nötig, ist heute bereits während der Echokardiographie die Anatomie im bewegten Bild darzustellen und die Nachbearbeitungszeit ist aufgrund besserer Bearbeitungsprogramme deutlich geringer. Das andere grosse Problem der dreidimensionalen Bildgebung war initial die mangelnde räumliche Auflösung. Erst die Entwicklung von 3d-Schallköpfen mit hoher Frequenz machte es möglich auch Herzen von Neugeborenen und Kleinkindern detailgenau darzustellen. Dies ermöglichte insbesondere eine bessere Darstellung z. B. der Atrioventrikularklappen (AV-Klappen), von Vorhofseptumdefekten oder des linksventrikulären Ausflusstraktes. Auch extrakardiale pathologische Befunde wie z. B. ein Perikarderguss sind heute mit der dreidimensionalen Echokardiographie sehr viel plastischer und eindrücklicher darstellbar *(Abb. 6)*.

Mittlerweile werden daher die sehr viel aufwendigeren MRI oder CT-Untersuchungen üblicherweise lediglich noch für komplexe intrakardiale Fragestellungen und zur Gefässdarstellungen reserviert.





Abb. 4a/b: Bicuspide Aortenklappe (2d und 3d-Echokardiographie, Aufsicht auf die Klappe)



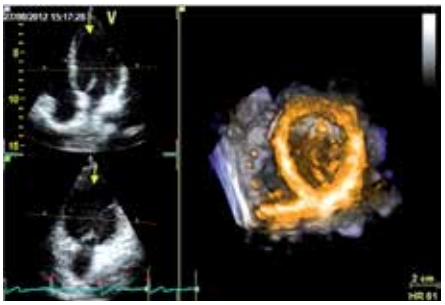
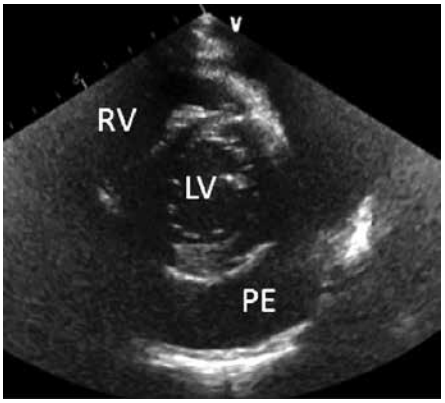


Abb. 5a/b: Linker Ventrikel und Mitralklappe (2d und 3d-Echokardiographie)



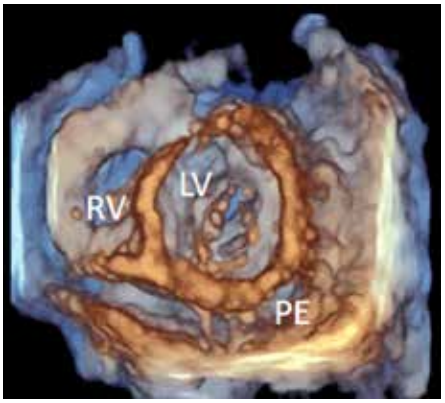


Abb. 6a/b: Perikarderguss (2d, parasternale kurze Achse und 3d-Echokardiographie
RV = rechter Ventrikel, LV = linker Ventrikel, PE = Perikarderguss)

Hämodynamik

Neben der erwähnten zwei- und dreidimensionalen Darstellung anatomischer Strukturen des Herzens hat die Darstellung des Blutflusses im Herzen eine zentale Rolle. Während der Ultraschalluntersuchung werden Schallwellen von der Sonde ausgesendet und an Grenzstrukturen des Herzen reflektiert und schliesslich wird durch Umrechnung der reflektierten Schallwelle das echokardiographische Bild generiert. Mit der sogenannten «Doppler-Methode» kann die Bewegung der Blutkörperchen und somit des Blutstroms dargestellt werden. Die Schallwellen werden hierbei an den Erythrozyten reflektiert. Die Doppler-Methode kann grob in zwei Arten eingeteilt werden: einerseits als PW (pulsed-wave)-Doppler oder als CW (continous-wave)-Doppler, in beiden Fällen dargestellt als Spektraldoppler-Profil *(Abb. 7b)*.

Diese generieren ein Flussprofil, welches die Richtung und die Geschwindigkeit des Blutflusses anzeigen. Über die Geschwindigkeit können über eine sogenannte modifizierte Bernoulli-Gleichung Druckgradienten berechnet werden (V^2 x 4 = Druckgradient in mmHg), welche z.B. für die Stellung von Behandlungsindikationen extrem wichtig sind.

Der Farbdoppler zeigt die Blutflüsse farbkodiert, direkt an den Strukturen des zweidimensionalen Bildes. Bei hohen Flussgeschwindigkeiten zeigt sich ein Farbumschlag, welches hilft, z. B. Gefässstenosen zu lokalisieren *(Abb. 7a und 8)*. Zu einer standardisierten Echokardiographie gehört die Darstellung des Blutflusses über allen Klappen (AV-Klappen, Pulmonal- und Aortenklappe sowie Pulmonalisseitenäste und Aortenbogen sowie Aorta descendens) mittels Farbdoppler sowie die Geschwindigkeitsmessung des Blutflusses mittels PW-oder CW-Doppler. Darüber hinaus sollten die Rückflüsse von System- und Lungenvenen beurteilt werden[5]. Bei besonderen Pathologien oder Fragestellungen werden diese zusätzlich gezielt dargestellt (z. B. Shunt

über Vorhofseptum oder Ventrikelseptum sowie über Ductus arteriosus oder künstliche Shunts). Das Ausmass von Klappenstenosen und -insuffizienzen (Abb. 9), die Richtung von intra- und extrakardialen Shunts sowie z. B. der Schweregrad einer pulmonal-arteriellen Hypertension können nun mit dieser einfachen und nicht-invasiven Methode geklärt werden.

Die Beispiele des Einsatzes von PW-und CW-Doppler sowie der Farbdoppler-Untersuchung sprengen den Umfang dieses Artikels. Im Prinzip lässt sich aber sagen, dass nicht nur das Vorhandensein von Befunden wie zum Beispiel einem Ventrikelseptumdefekt (VSD) oder einer Aorteninsuffizienz (AI) dargestellt werden können. In der Regel kann auch der Schweregrad solcher Befunde beurteilt werden, z. B. kann bei einem VSD durch Dopplermethoden das Vorhandensein einer pulmonalarteriellen Hypertension eingeschätzt werden. Oder der ebenfalls mit Farbdoppler sowie PW-Doppler dargestellte diastolische Rückfluss in der Aorta abdominalis hilft bei der Einteilung des Schweregrades einer AI[7]. Neben den klinischen Zeichen werden auf der Basis dieser genannten echokardiographischen Befunde heute Indikationen zu kardiochirurgischen Eingriffen gestellt. Dabei geht es nicht nur um die schweren Ausprägungen, welche bereits klinisch erfassbar sind, sondern oftmals um subtile Befunde, welche Kardiologen und Herzchirurgen in ihren Entscheidungen leiten und über das langfristige Wohlergehen des Patienten bestimmen können. Die Möglichkeit neben der Lokalisation von kardiovaskulären Problemen deren hämodynamische Konsequenz beurteilen zu können, führte schliesslich dazu, dass seit den 90er Jahren kaum noch Herzkatheter-Untersuchungen zu diagnostischen Zwecken, sondern fast ausschliesslich als therapeutischer Eingriff durchgeführt wurden.

Funktion

Die Einschätzung der systolischen und diastolischen Funktion ist in der Regel ein integraler Bestandteil jeder Echokardiographie. Sämtliche bislang beschriebenen Methoden stehen hierzu zur Verfügung. Obwohl fehleranfällig, sind es die traditionellen Methoden wie M-mode, zweidimensionale Echokardiographie und Doppler-Flussprofile, welche bei diesen Fragestellungen in der Routine durchgeführt werden. In den letzten Jahren entwickelte neue Messmethoden wie unter anderem Gewebedoppler (tissue doppler imaging, TDI) oder «speckle tracking»-Echokardiographie können direkten Einblick in die Myokardfunktion geben und werden an den Universitätszentren auch schon in Studien eingesetzt.

Systolische Funktion

Die systolische Ventrikelfunktion wurde bereits vor der Ära der Echokardiographie in Herzkatheteruntersuchungen anhand der Volumenänderung zwischen Diastole und Systole beurteilt. Nach Einführung der Echokardiographie in den 1970er Jahren war die Messung der **Verkürzungsfraktion** des linken Ventrikels aus dem M-mode Bild *(Abb. 1)* möglich. Die Verkürzungsfraktion des linken Ventrikels, wird über die Relation des systolischen zum diastolischen Durchmesser des Ventrikels berechnet[8]. Dieses Prinzip gilt auch für die Berechnung der **Ejektionsfraktion** aus den Innenflächen des linken Ventrikels nach Simpson[9], hier aber nicht aus dem M-Mode Bild sondern aus einer zweidimensionalen Darstellung.

Das Problem beider Methoden ist, dass die Messwerte beeinflusst werden vom Volumenstatus und Wandbewegungsstörungen, sowie einer falschen Annahme, dass die linke Kammer eine ganz bestimmte feste Geometrie (Ellipse) hat. Dennoch haben diese zwei Methoden für die Standarduntersuchung und serielle Nachkontrollen von Patienten einen wichtigen Stellenwert.

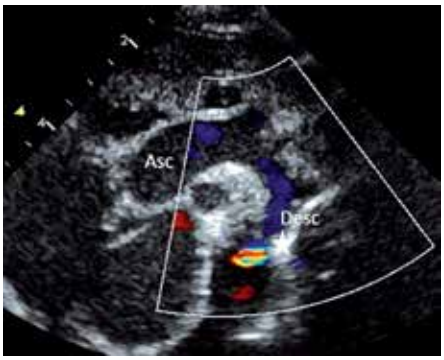


Abb. 7a: Aortenisthmusstenose *(2d-Farbdoppler, Asc = Aorta ascendens, Desc = Aorta descendens) Stern = Isthmusstenose*

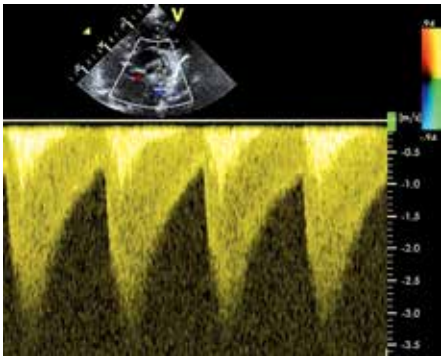


Abb. 7b: CW-Doppler («Sägezahnartiges» Flussprofil)

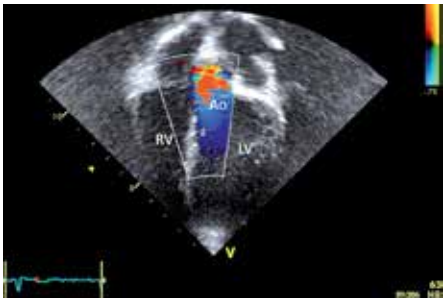


Abb. 8: Aortenstenose *(2d-Farbdoppler, 4-Kammerblick, RV = rechter Ventrikel, LV = linker Ventrikel, Ao = Aorta)*

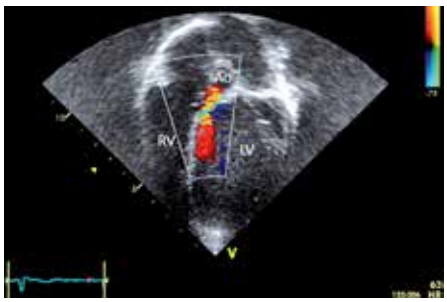


Abb. 9: Aorteninsuffizienz *(2d-Farbdoppler, 4-Kammerblick, RV = rechter Ventrikel, LV = linker Ventrikel, Ao = Aorta)*

Fragestellungen für Doppleruntersuchungen

- Klappenstenosen und -insuffizienzen
- Gefässobstruktionen (Lokalisation und Druckgradient)
- Druckgradienten über künstlichen oder natürlichen Shuntgefässen
- Lokalisation von Vorhofseptumdefekten und Ventrikelseptumdefekten
- Druckgradienten über Ventrikelseptumdefekten
- Druckgradienten über Klappeninsuffizienzen (Bestimmung der pulmonalarteriellen Hypertension)
- Messung des Shuntvolumen über Vorhofseptumdefekten
- Diastolische Funktionsstörung (PW-Doppler der Pulmonalvenen und der Mitralklappe)

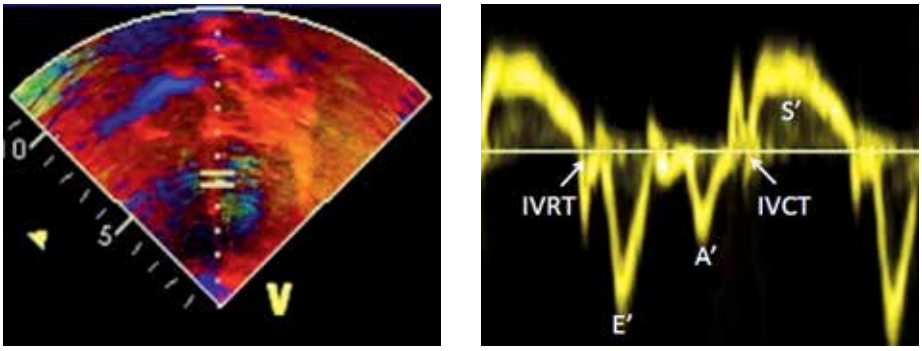


Abb. 10: TDI. Links: farbkodierter Gewebedoppler, rechts Spektraldarstellung: S‘ = antegrade, systolische Welle; E‘ = passive LV- Füllung, A’ = Vorhofkontraktion

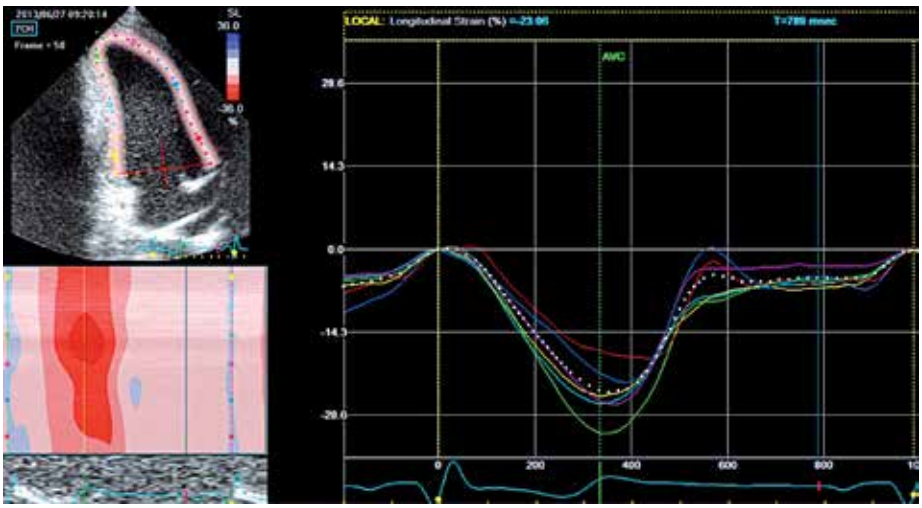


Abb. 11: Longitudinaler strain («speckle tracking», linker Ventrikel apikaler Zwei-Kammerblick: die verschiedenen Segmente sind in verschiedenen Farben dargestellt; rechts: negativer Ausschlag aller Segmente als Ausdruck ihrer Verkürzung in der Längsachse während der Systole; links unten farbkodiert, rot = Verkürzung)

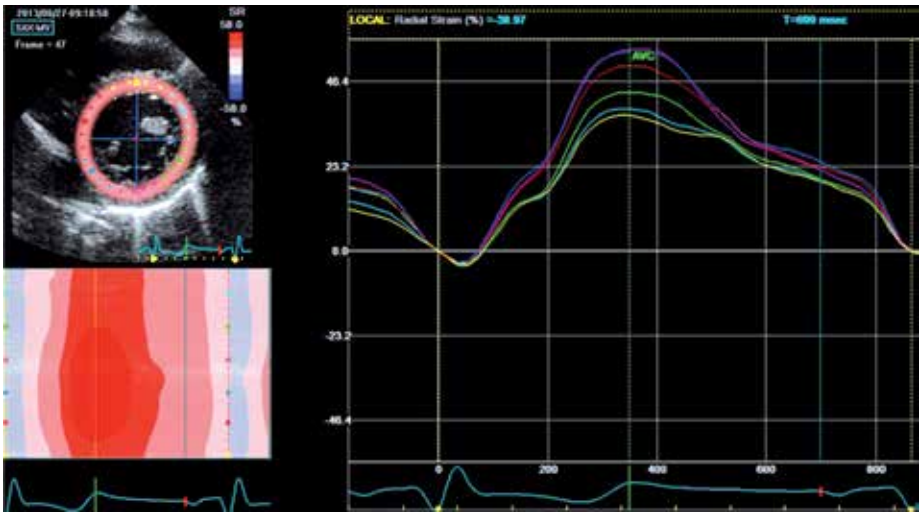


Abb. 12: Radialer strain («speckle tracking», linker Ventrikel kurze Achse: die verschiedenen Segmente sind in verschiedenen Farben dargestellt; rechts: positiver Ausschlag aller Segmente als Ausdruck ihrer Verdickung während der Systole)

Die Berechnung der systolischen Funktion mit der dreidimensionalen Echokardiographie beruht ebenfalls auf Veränderungen des Volumens im Herzzyklus – allerdings werden diese Werte tatsächlich gemessen und sind somit sehr viel verlässlicher. Es hat sich zudem gezeigt, dass die errechnete Ejektionsfraktion mittels **dreidimensionaler Echokardiographie** sehr viel besser mit viel aufwendigeren MRI-Messungen korrelieren als die herkömmliche Messung mittels zweidimensionaler Echokardiographie.

Neben der Evaluation der globalen Pumpfunktion des Ventrikels (Verkürzungs- und Ejektionsfraktion) kann die systolische Funktion mit modernen Methoden auch mit der Kontraktilität der Myokardfasern verschiedener Segmente der Ventrikel aber auch der Vorhöfe beschrieben werden. Die Bewegung dieser Segmente kann mit dem Gewebedoppler (**tissue doppler imaging,** TDI) gemessen werden[12], welcher die regionale Bewegung des Herzmuskels misst *(Abb. 10)*. Da die Messwerte abhängig sind vom Winkel des Dopplerstrahls eignet sich das TDI primär für die Messung der Bewegung in der Längsachse des Herzen (also von der Basis zur Herzspitze).

Die sogenannte **«speckle tracking»-Echokardiographie** war ein Meilenstein für die Beurteilung der myokardialen Funktion. Sie beruht auf dem Prinzip, dass die Bewegung kleiner akustischer Signale einzelner Myokardsegmente mit dem Ultraschall in beliebigen Richtungen verfolgt werden kann[13]. Die Methode ist unabhängig vom Volumenstatus und der Ventrikelgeometrie (insbesondere des rechten Ventrikels) und misst die Deformation («strain») des Myokards einzelner definierter Segmente *(Abb. 11)*, sowie die Änderung der Deformation über die Zeit («strain rate»). Die Bewegung wird üblicherweise in der Längsachse (longitudinaler strain) gemessen, allerdings wird zusätzlich in der kurzen Achse eine Aussage über die Rotation (zirkumferentieller strain) und die Verdickung des Myokard (radialer strain) möglich *(Abb. 12)*.

Der wichtigste Fortschritt dieser neuen Parameter ist, dass sie Einblick geben in subklinische Funktionseinschränkungen lokaler Myokardregionen, noch bevor es zu einer globalen systolischen Dysfunktion kommt. Aufgrund dessen ist die «speckle tracking»-Echokardiographie eine vielversprechende Methode, insbesondere bei subtilen und potentiell reversiblen Einschränkungen der Myokardfunktion (z. B. kardiotoxische Chemotherapie, nephrogen-bedingte arterielle Hypertonie

(Navarini et al., manuscript in preparation). Üblicherweise wird die «speckle tracking»-Echokardiographie im Rahmen standardisierter Schnitte der zweidimensionalen Untersuchung durchgeführt (apikale lange Achse, Zwei-Kammerblick, Vier-Kammerblick, parasternale kurze Achse) um alle Herzsegmente zu erfassen, was zeitaufwendig ist. Als absolut neuste Errungenschaft in der Echokardiographie kann nun die dreidimensionale Echokardiographie diese verschiedenen Informationen mit einem einzigen Datensatz («full volume») aufzeichnen und später offline ausgewertet werden *(Abb. 13)*.

Aufgrund der komplexen Geometrie des rechten Ventrikels kann dessen systolische Funktion mittels M-mode oder auch der Ejektionsfraktion mit der zweidimensionalen Methode nicht ebenso gut wie jene des linken Ventrikels berechnet werden. Die modernen Methoden, wie die dreidimensionale Echokardiographie oder das «speckle tracking», welche unabhängig sind von geometrischen Annahmen sind in diesem Hinblick allerdings verlässlicher und reproduzierbarer *(Abb. 14)*.

Diese «speckle tracking»-Echokardiographie eignet sich zudem für die Darstellung der Synchronität der Kontraktion verschiedener Segmente beim normalen Herzen *(Abb. 15)* wie auch bei komplexen Herzfehlern *(Abb. 16)*.

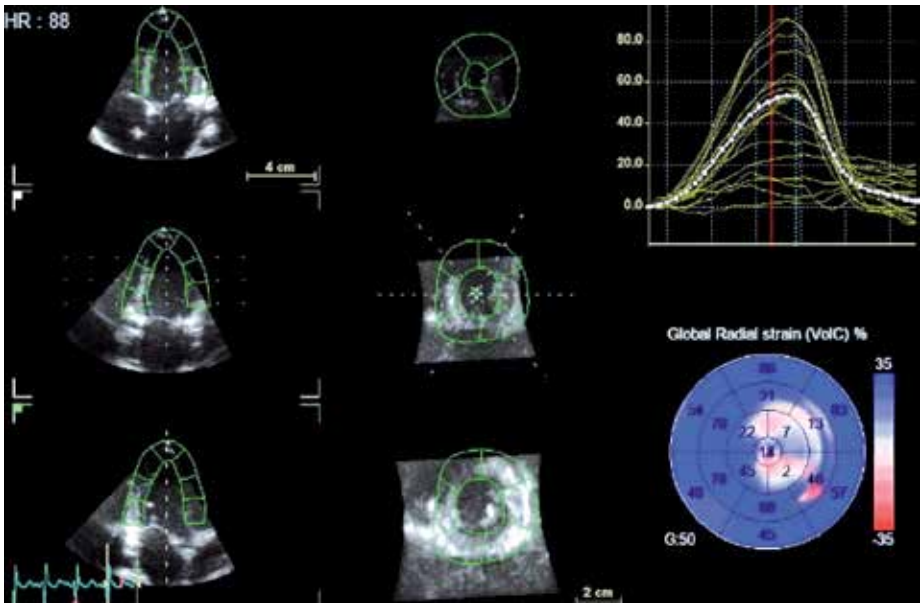


Abb. 13: Radialer strain (3d-«speckle tracking», linker Ventrikel: positiver Ausschlag aller Segmente als Ausdruck ihrer Verdickung während der Systole und «bulls eye» Darstellung)

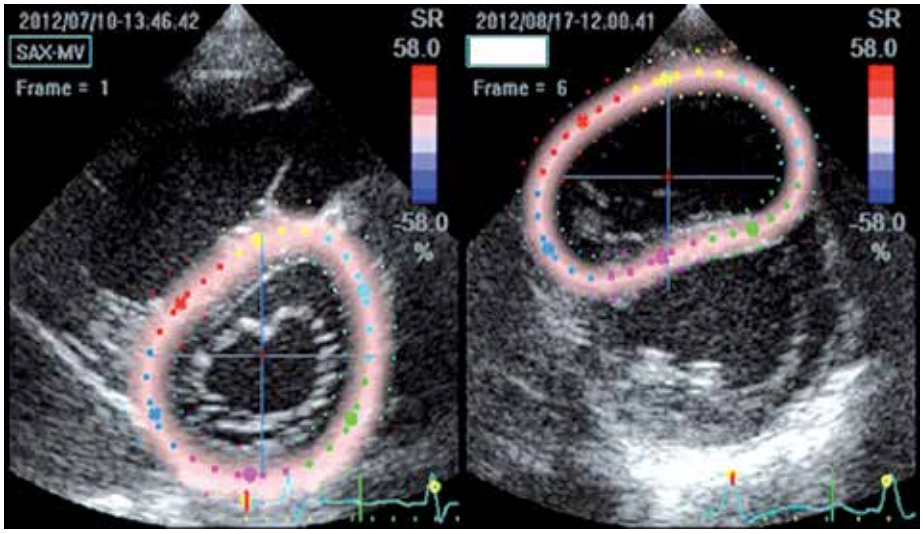


Abb. 14: Radialer strain («speckle tracking», linker und rechter Ventrikel kurze Achse: die verschiedenen Segmente sind in verschiedenen Farben dargestellt)

Diastolische Funktion

Aufgrund der Bedeutung der Diastole in der Hämodynamik verschiedener Erkrankungen, steht die echokardiographische Beurteilung der diastolischen Funktion jener der systolischen nicht nach. Oftmals kommt es erst im Gefolge einer diastolischen Dysfunktion zu einer systolischen Störung. Allerdings ist die Diastole mittels Echokardiographie schwieriger einzuschätzen als die Systole, zumal sie aus mehreren Komponenten besteht: der isovolumetrischen Phase bzw. der Füllung des Ventrikels nach Öffnung der AV-Klappen; der durch die Elastizität (compliance) des Myokard bestimmten passiven Ventrikelexpension und abschliessend der Vorhof-Kontraktion. Die diastolische Funktion, wurde üblicherweise anhand der **Dopplerfluss-Geschwindigkeiten** in der frühen Diastole (E-Welle) und der atrialen Kontraktion (A-Welle) sowie der isovolumetrischen Zeit (z. B. Klappenschluss der Aortenklappe bis Öffnung der Mitralklappe), Doppler-Flussprofilen über den AV-Klappen und der Pulmonalvenen beurteilt[14].

In Ergänzung dazu wurde in den letzten Jahren der Gewebedoppler (**tissue doppler imaging,** TDI), entwickelt, dieser misst die Geschwindigkeiten des Herzmuskels im Bereich des lateralen und medialen Mitralklappen-Annulus sowie des lateralen Trikuspidalklappen-Annulus *(Abb. 10)*. Die frühdiastolische Geschwindigkeiten des Klappen-Annulus (E'-Welle) spiegelt die aktive Relaxation der Herzkammer nach Öffnung der Mitralklappe bzw. Trikuspidalklappe wieder; das Verhältnis der Blutflussgeschwindigkeit zu jener des Klappen-Annulus (E/E'-Ratio) korreliert mit dem Füllungsdruck des linken Ventrikels. Diese Methoden geben Einblick in die Myokardbewegung und haben sich bei verschiedenen Erkrankungen (unter anderem Kardiotoxizität durch Chemotherapie, Kawasaki-Syndrom) als sehr sensitive Parameter für eine subklinische Myokardschädigung gezeigt[15]. Neben diesen Geschwindigkeitsmessungen in der longitudinalen Richtung ist es mittlerweile möglich geworden auch die Rotationsbewegung des linken Ventrikels zu erfassen.

Aufgrund des Verlaufes der linksventrikulären Muskelfasern rotiert während der Systole der basale Bereich (also die Ebene der AV-Klappen) in eine Richtung und die Muskelfasern der Herzspitze in die entgegengesetzte Richtung[16]. Dies ergibt eine «wringende» Bewegung (sogenannter twist und daraus berech-

net die Torsion des linken Ventrikels). In der Diastole wird diese gespeicherte Energie mit der Relaxation oder«untwisting» des Ventrikels wieder freigesetzt und fördert dadurch den Einstrom des Blutes vom Vorhof in den Ventrikel. Diese Rotationsbewegung ist nur eingeschränkt mit dem Gewebedoppler (TDI) zu messen, da der Dopplerstrahl in einem optimalen Winkel auf das zu messende Segment treffen muss. Deshalb wird nun in zunehmendem Masse auch für die Messung der diastolischen Funktion die «speckle tracking»-Echokardiographie verwendet, welche unabhängig vom Winkel eines Dopplerstrahls ist und gleichzeitig multiple Parameter misst (twist, torsion, torsion rate etc.).

Weitere Funktionsparameter

Die «tricuspid annular plane systolic excursion» **(TAPSE)** ist ein sehr einfacher mit dem M-mode zu messender Parameter, welcher sehr gut mit der rechtsventrikulären systolischen Funktion korreliert, heute routinemässig gemessen wird[17] und Normwerte vorliegen.

Mit dem **Tei-Index** oder «myocardial performance index» (MPI) wird eine globale Aussage über die Ventrikelfunktion gemacht[18]. Der MPI ist unabhängig von der Geometrie der Herzkammer und z. B. aus dem Gewebedoppler einfach zu berechnen (isovolumetrische Kontraktionszeit + isovolumetrische Relaxationszeit geteilt durch die Ejektionszeit). Für weitere Parameter, die wir aus Platzgründen hier nicht diskutieren, stehen Ihnen die Autoren sehr gerne persönlich und mit Literaturangaben zur Verfügung.

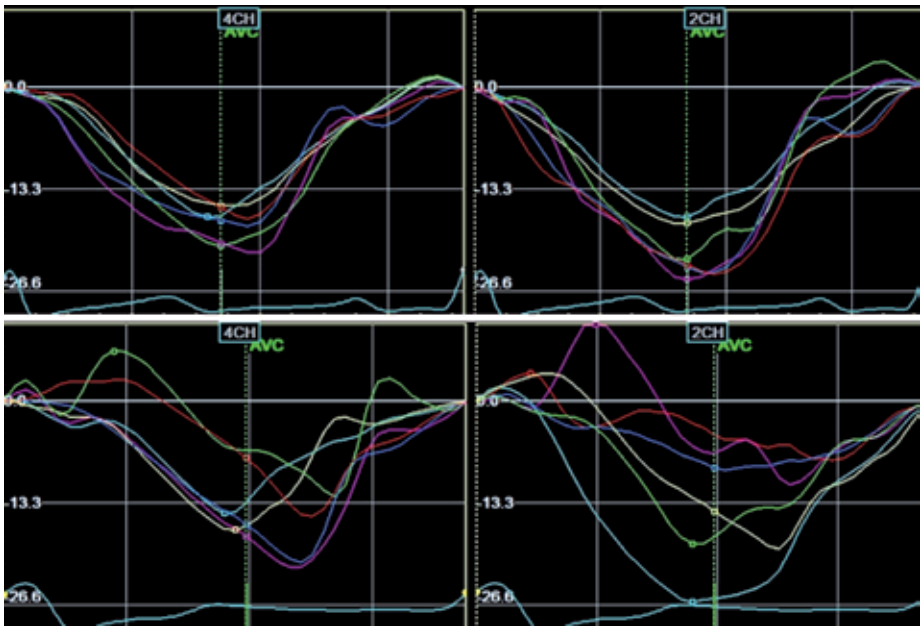


Abb. 15: Longitudinaler strain («speckle tracking», linker Ventrikel apikaler Zwei- und Vier-Kammerblick: die verschiedenen Segmente sind in verschiedenen Farben dargestellt; oben: weitgehend synchrone Bewegung bzw. Verkürzung der Segmente; unten: dyssynchrone Bewegung der Segmente)

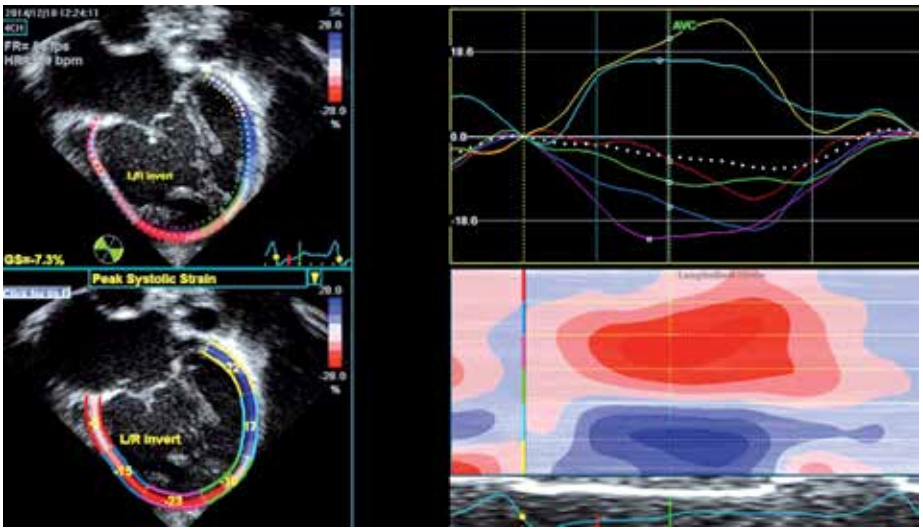


Abb. 16: Longitudinaler strain Hypoplastisches Linksherz-Syndrom («speckle tracking», rechter und linker Ventrikel apikaler Vier-Kammerblick: die verschiedenen Segmente sind in verschiedenen Farben dargestellt; rechts: ausgeprägt dyssynchrone Bewegung der rechts- vs. linksventrikuläre Segmente; oben Kurven, unten farbkodiert, blau = Verlängerung, rot = Verkürzung)

Zusammenfassung

Die Echokardiographie hat in den letzten 4 Jahrzehnten enorme Fortschritte gemacht. Mittlerweile kann das gesamte Herz in einer relativ kurzen Zeit mittels dreidimensionaler Echokardiographie gescannt werden. Diese Möglichkeiten setzen allerdings eine entsprechende Kenntnis der Technik und Ausbildung des Untersuchers voraus, und werden derzeit primär an den grossen kinderkardiologischen Zentren bei präoperativen Untersuchungen und Interventionen angewendet. Für die üblichen strukturellen Fragestellungen ist und bleibt die zweidimensionale Echokardiographie ergänzt durch Doppler-Untersuchungen die am weitesten verbreitete Methode und ist aufgrund ihrer hervorragenden räumlichen und zeitlichen Auflösung völlig ausreichend. Im Hinblick auf die Analyse der Herzfunktion ist es aufgrund der neuen Möglichkeit, mittels «speckle tracking» einzelne Myokardsegmente zu untersuchen, zu einem Paradigmenwechsel gekommen. Der Anspruch ist es, eine Dysfunktion nicht erst im Spätstadium (pathologische Verkürzungsfraktion) zu diagnostizieren, sondern bereits subtile, präklinische Zeichen zu erkennen. Hiervon profitieren alle Patienten, welche ein potentiell reversibles myokardiales Problem haben, z.B. nach kardiotoxischer Chemotherapie oder nephrogener arterieller Hypertonie. Deshalb empfehlen wir für Patienten, welche von einer frühen Diagnose einer subtilen Dysfunktion profitieren könnten, regelmässige Kontrollen mit dieser Untersuchungstechnik an einem Zentrum, das «speckle tracking» anbietet.

Referenzen

1) Lai, WW; Geva, T, Shirali, GS; Frommelt, PC; Humes, RA; Brook, MM; Pignatelli, RH; Rychik, J. Guidelines and Standards for Performance of Pediatric Echocardiogram: A Report from the Task Force of the Pediatric Council of the American Society of Echocardiography J Am Soc Echocardiogr 2006; 19: 1413–1430.
2) Feigenbaum H. Evolution of echocardiography. Circulation 1996; 93: 1321–1327.
3) Lopez, L; Colan, SD; Frommelt, PC; Ensing, GJ; Kendall, K; Younoszai, AK; Lai, WW; Geva, T. Recommendations for Quantification Methods During the Performance of a Pediatric Echocardiogram: A Report From the Pediatric Measurements Writing Group of the American Society of Echocardiography Pediatric and Congenital Heart Disease Council J Am Soc Echocardiogr 2010; 23: 465–95.
4) Qin JX, et al. The development of real time three-dimensional echocardiography is ideally suited for assessment of LV size and function and compares very well to cardiac MRI: 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: 900–907.
5) Quinones MA, Otto CM, Stoddard M, et al. Recommendations for quantification of Doppler echocardiography: a report from the Doppler Quantification Task Force of the Nomenclature and Standards Committee of the American Society of Echocardiography. J Am Soc Echocardiogr 2002; 15: 167–184.
6) Zoghbi WA, Enriquez-Sarano M, Foster E, Grayburn PA, Kraft CD, Levine RA, et al; American Society of Echocardiography. Recommendations for evaluation of the severity of native valvular regurgitation with two-dimensional and Doppler echocardiography. J Am Soc Echocardiogr 2003; 16: 777–802.
7) Zoghbi WA, Enriquez-Sarano M, Foster E, Grayburn PA, Kraft CD, Levine RA, et al; American Society of Echocardiography. Recommendations for evaluation of the severity of native valvular regurgitation with two-dimensional and Doppler echocardiography. J Am Soc Echocardiogr 2003; 16: 777–802.
8) Schiller NB, et al. Left ventricular volume from paired biplane two-dimensional echocardiography. Circulation 1979; 60: 547–555.
9) Schiller NB, et al. Left ventricular volume from paired biplane two-dimensional echocardiography. Circulation 1979; 60: 547–555.
10) Yu CM, Sanderson JE, Marwick TH, et al. Tissue Doppler imaging a new prognosticator for cardiovascular diseases. J AmColl Cardiol 2007; 49: 1903–1914.
11) Lorch SM, Ludomirsky A, Singh GK. Maturational and growth-related changes in left ventricular longitudinal strain and strain rate measured by two-dimensional speckle tracking echocardiography in healthy pediatric population. J Am Soc Echocardiogr 2008; 21: 1207–1215.
12) Khouri SJ, Maly GT, Suh DD, Walsh TE. A practical approach to the echocardiographic evaluation of diastolic function. J Am Soc Echocardiogr 2004; 17: 290–7.
13) Ganame J, Claus P, Eyskens B, et al. Acute cardiac functional and morphological changes after anthracycline infusions in children. Am J Cardiol 2007; 99: 974–977.
14) Sengupta PP, Tajik AJ, Chandrasekaran K, et al. Twist mechanics of the left ventricle: principles and application. JACC Cardiovasc Imaging 2008; 1: 366–376.
15) Eidem BW, O'Leary PW, Tei C, Seward JB. Usefulness of the myocardial performance index for assessing right ventricular function in congenital heart disease. Am J Cardiol 2000; 86: 654–8.
16) Sengupta PP, Tajik AJ, Chandrasekaran K, et al. Twist mechanics of the left ventricle: principles and application. JACC Cardiovasc Imaging 2008; 1: 366–376.
17) Gupta S, Khan F, Shapiro M, Weeks SG, Litwin SE, Michaels AD. The associations between tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE), ventricular dyssynchrony, and ventricular interaction in heart failure patients. Eur J Echocardiogr 2008; 9: 766–71.
18) Eidem BW, O'Leary PW, Tei C, Seward JB. Usefulness of the myocardial performance index for assessing right ventricular function in congenital heart disease. Am J Cardiol 2000; 86: 654–8.

Korrespondenzadresse

mladen.pavlovic@insel.ch

Die Autoren haben keine finanzielle Unterstützung und keine anderen Interessenkonflikte im Zusammenhang mit diesem Beitrag deklariert.