



Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Pädiatrische Kardiologie

Korrespondenzadresse:
Prof. Dr. med. Hans-Heiner Kramer
Direktor der Klinik für Kinder-
kardiologie
Christian-Albrechts-Universität
zu Kiel
Schwanenweg 20
24105 Kiel
Telefon (04 31) 5 97 17 28
Fax (04 31) 5 97 17 28
E-mail:
kramer@pedcard.uni-kiel.de

Qualitätsstandards für die Echokardiographie bei Kindern und Jugendlichen Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Pädiatrische Kardiologie (DGPK) zur Durchführung von echokardio- graphischen Untersuchungen im Kindes- und Jugendalter

Erarbeitet von der Echokardiographie-Kommission
der **Deutschen Gesellschaft für Pädiatrische Kardiologie (DGPK)**

unter Beteiligung nachfolgender Mitglieder:

Prof. Dr. K. G. Schmidt, Heidelberg (Vorsitz)

Dr. C. Beyer, Hamburg

PD Dr. H.-J. Häusler, Leipzig

PD Dr. M. Hofbeck, Erlangen

Prof. Dr. D. Redel, Bonn

Prof. Dr. M. Vogel, Berlin

PD Dr. I. Warnecke, Mannheim

Vorwort

In den vergangenen zwei Jahrzehnten hat sich die Echokardiographie mit ihren verschiedenen Modalitäten zur wichtigsten nichtinvasiven Methode für die Diagnostik und Verlaufsbeobachtung von Kindern und Jugendlichen mit Herzerkrankungen entwickelt. Sie ermöglicht eine rasch durchführbare, beliebig oft wiederholbare und den Patienten dabei nicht belastende Untersuchung zur Beurteilung der Anatomie und Funktion des kindlichen Herzens und der herznahen großen Gefäße.

Bei dieser Bedeutung der Echokardiographie ist ein hoher Qualitätsstandard zu fordern, der allen aus heutiger Sicht geltenden Ansprüchen an die Methode gerecht wird. International (1) und national (2) sind daher 1997 Empfehlungen zur Ausbildung des Untersu-

chers sowie zu Indikationsstellung, Durchführung, Dokumentation und Befundung echokardiographischer Untersuchungen publiziert worden, die sich vorwiegend mit Erfordernissen bei erwachsenen Patienten beschäftigen; in vergleichbarer Weise soll dies mit den hier vorgelegten Empfehlungen für das Kindes- und Jugendalter geschehen.

Wenn eine Abweichung von dem in dieser Empfehlung formulierten Vorgehen im Einzelfall auch gerechtfertigt sein mag, so hält die Kommission – ähnlich wie in den internistischen Empfehlungen (2) – die Beschreibung der Untersucherqualifikation für einen unverzichtbaren Teil der Qualitätssicherung in pädiatrischer Echokardiographie.

1 Qualifikation des Untersuchers

Echokardiographische Untersuchungen an Kindern und Jugendlichen werden von Ärzten vorgenommen und befundet, die eine den nachfolgenden Spezifikationen entsprechende Qualifikation erworben haben. Technische Assistenz kann teilweise erforderlich sein, die Durchführung der Untersuchung selbst kann jedoch nicht vom Arzt an nicht-ärztliches Assistenzpersonal delegiert werden.

Korrespondenzadresse:
Prof. Dr. med. Klaus G. Schmidt
Abteilung für Pädiatrische Kardiologie
Universitäts-Kinderklinik Heidelberg
Im Neuenheimer Feld 150
69120 Heidelberg
Tel: 0 62 21/56 23 11
Fax: 0 62 21/56 57 90
E-mail: Klaus_Schmidt@med.uni-heidelberg.de

1.1 Voraussetzungen für 2-D- und TM-Echokardiographie

Der Untersucher ist Facharzt für Kinderheilkunde und hat ferner eine Weiterbildung im Schwerpunkt Kinderkardiologie erfolgreich abgeschlossen; in diesem Rahmen hat er 400 Echokardiographien an herzkranken Kindern selbstständig durchgeführt und befundet.

Alternativ ist er Facharzt für Kinderheilkunde oder einer anderen Fachrichtung und hat als Fachkundenachweis in der Echokardiographie 500 Untersuchungen an Kindern selbstständig durchgeführt und befundet. Zusätzlich hat er im Rahmen seiner Weiterbildung 12 Monate (Facharzt für Kinderheilkunde) bzw. 18 Monate (sonstige Ärzte) in einer Abteilung für Kinderkardiologie ständig und ganztägig klinisch gearbeitet.

1.2 Voraussetzungen für Doppler- und Farbdoppler-Echokardiographie

Gleiche Voraussetzungen wie unter 1.1; zusätzlich hat der Kinderkardiologe 300 dopplersonographische Untersuchungen an herzkranken Kindern selbstständig durchgeführt und befundet.

Der Facharzt für Kinderheilkunde bzw. der sonstige Arzt mit Fachkundenachweis in der Echokardiographie hat zusätzlich 500 dopplersonographische Untersuchungen selbstständig durchgeführt und befundet.

1.3 Voraussetzungen für transösophageale und Kontrast-Echokardiographie

Gleiche Voraussetzungen wie unter 1.1 und 1.2; zusätzlich hat der Kinderkardiologe 50, der Facharzt für Kinderheilkunde/sonstige Arzt 100 transösophageale echokardiographische Untersuchungen an Kindern selbstständig durchgeführt und befundet.

Für die Kontrast-Echokardiographie ergibt sich im Kindesalter nur eine begrenzte Indikation; sie sollte nur von

Kinderkardiologen durchgeführt werden, die selbstständig 50 Untersuchungen vorgenommen und befundet haben.

1.4 Voraussetzungen für fetale Echokardiographie

In zunehmendem Maße werden Kinderkardiologen konsiliarisch auch in die Durchführung von echokardiographischen Untersuchungen an Feten miteinbezogen. Bei Vorliegen der Voraussetzungen unter 1.1 und 1.2 muß der Kinderkardiologe 200 echokardiographische Untersuchungen an Feten selbstständig durchgeführt und befundet haben.

1.5 Sonstige Verfahren

Die Belastungsechokardiographie, die dreidimensionale (3-D-) Echokardiographie und andere, in Erprobung befindliche echokardiographische Untersuchungsverfahren werden derzeit routinemäßig in der Kinderkardiologie noch nicht verwendet; ihr jeweiliger Stellenwert muß zunächst wissenschaftlich geklärt und definiert werden.

1.6 Alternativer Weg zum Befähigungsnachweis für kinder-kardiologische Echokardiographie

Alternativ zu den unter 1.1–1.3 genannten Mindestanforderungen kann der Befähigungsnachweis für die Durchführung der kinder-kardiologischen Echokardiographie von Fachärzten für Kinderheilkunde durch erfolgreiches Absolvieren von Kursen erbracht werden.

Für die 2-D- und TM-Echokardiographie muß an einem Grund-, Aufbau- und Abschlußkurs von jeweils 48 Stunden Unterrichtsdauer teilgenommen werden. Für Doppler- und Farbdoppler-Echokardiographie müssen zusätzlich ein Grund-, Aufbau- und Abschlußkurs von jeweils 30 Stunden absolviert werden. Zwischen Beginn des Grund- und

erfolgreicher Beendigung des Abschlußkurses muß ein Zeitraum von wenigstens 12 Monaten liegen.

Ein Grundkurs soll dabei jeweils die Darstellung von Normalbefunden, ein Aufbaukurs die Befunde der 10 häufigsten angeborenen Herzfehler und ein Abschlußkurs die Befunde von seltenen, komplexen kongenitalen Herzfehlbildungen sowie postoperative Befunde und Langzeitprobleme zum Inhalt haben. Diese Kurse können nur von Kinderkardiologen mit entsprechender Befugnis organisiert und abgehalten werden; sie werden jeweils durch ein Testat abgeschlossen. Zusätzlich muß der Arzt 600 2-D-/TM- und 600 Doppler-/Farbdoppler-Echokardiographien an herzkranken Kindern selbstständig durchgeführt und befundet haben, die nicht Bestandteil der absolvierten Kurse sind.

2 Apparative Voraussetzungen

Für alle im folgenden beschriebenen echokardiographischen Untersuchungstechniken sollen ausschließlich mechanische oder elektronische Sektor-Scanner eingesetzt werden. Nur bei Früh- und Neugeborenen oder auch bei fetalen Untersuchungen kann in Einzelfällen ein hochauflösender Linearschallkopf (5 MHz oder mehr) verwendet werden, da hier auf Grund der noch inkompletten Verknöcherung des Thoraxskelettes eine gute Darstellung der im Nahbereich befindlichen kardialen Strukturen möglich ist. Bei mechanischen Schallköpfen sollen die Kristalle nach dem Annular-Array-Prinzip angeordnet sein. Elektronische Schallköpfe sollen mindestens 64, besser 128 oder 256 Kristalle und eine gleiche Anzahl von getrennten Kanälen besitzen.

Auf Grund der variablen Körpergröße von Kindern müssen Schallköpfe mit unterschiedlichen Frequenzbereichen zur Verfügung stehen (Frühgeborene 7,0 MHz oder mehr, Neugeborene 5,0 MHz oder mehr, Kleinkinder 5 MHz, Schulkinder und Jugendliche 2,0–3,5 MHz). Für die Untersuchung soll

der Schallkopf mit der höchstmöglichen Frequenz verwendet werden. Methodenspezifische Empfehlungen werden nachfolgend unter den einzelnen Verfahren angegeben.

Die Bildfrequenz muß so hoch sein, daß eine Echtzeit-Darstellung möglich ist; sie muß daher mindestens 25 Bilder pro Sekunde betragen. Bei Neugeborenen ist auf Grund der höheren Herzfrequenzen eine Bildfrequenz von mindestens 50/Sekunde zu empfehlen. Der Bildsektor soll möglichst variabel sein und einen maximalen Sektorwinkel von 80–90° aufweisen, um einen ausreichenden Überblick zu gewährleisten. Durch Verkleinerung des Sektors auf 30–60° soll eine Erhöhung der Bildfrequenz möglich sein.

Die echokardiographische Untersuchung soll in der Regel mit simultaner EKG-Registrierung erfolgen, um eine herphasengesteuerte Interpretation durch die R-Zacken-Erkennung zu ermöglichen.

3 Dokumentation

3.1 Monitorbild

Auf dem Monitorbild müssen Untersuchungsdatum und Uhrzeit, die Institution, an der die Untersuchung erfolgt, der Untersucher und der Patient erkennbar sein. Die Patientenidentifikation kann in Form von Klartext (Patienten-Name), einer Erkennungsnummer oder von Patienteninitialen mit Geburtsdatum erfolgen.

3.2 Dokumentation der Untersuchung

Für die 2-D-Echokardiographie ist derzeit noch die Speicherung auf Videoband ausreichend (kontinuierliche Aufzeichnung, vorzugsweise Super-VHS-System). Wenn eine digitale Speicherung möglich ist, kann die Dokumentation alternativ auch auf digitalen Speichermedien erfolgen. Neben Standbild-

wiedergaben müssen dabei in den Standardschnittebenen aber auch Cineloop-Sequenzen gespeichert werden.

Eine zusätzliche Dokumentation von Standbildern als Papierausdruck ist für den internen Gebrauch, für zuweisende Kollegen sowie für Aus- und Fortbildungszwecke hilfreich. Aufgrund des entstehenden Informationsverlustes im unbewegten Bild reicht aber eine abschließliche Dokumentation von Standbildern nicht aus.

Die Dokumentation von TM- und Spektraldopplerkurven erfolgt auf Videoband, auf digitalen Speichermedien oder als Papierausdruck.

Die Dauer der Aufbewahrung von Dokumentationen echokardiographischer Untersuchungen muß den speziellen Erfordernissen der pädiatrischen Kardiologie Rechnung tragen, die im Fall einer angeborenen Angiokardiopathie in der Regel mit lebenslangen Problemen eines noch sehr jungen Patienten zu rechnen hat.

3.3 Befundbericht

- a) Angaben zur Patienten- und Untersucheridentifikation: Name, Geburtsdatum, Echo-Nr., Datum der Untersuchung, Untersucher.
- b) Angabe der klinischen Diagnose und der Fragestellung/Indikation.
- c) Angabe zur technischen Qualität der Untersuchung, etwa als: 1 = gute Echoqualität, 2 = zufriedenstellende Echoqualität, 3 = schlechte Echoqualität.
- d) Qualitative und quantitative Befundbeschreibung (siehe unten).
- e) Zusammenfassende Interpretation der Befunde und Beurteilung.
- f) Eigenhändige Unterschrift des Untersuchers.

4 Zweidimensionale (2-D-) und Time-Motion-(TM-)Echokardiographie

In der Regel kann die Untersuchung am wachen Patienten erfolgen. Gelegentlich kann jedoch bei abwehrenden Säug-

lingen und Kleinkindern eine Sedierung erforderlich sein. Da unter einer derartigen Medikation paradoxe Exzitationszustände, verzögerte Sedierung oder Erbrechen auftreten können, muß im Anschluß an die Untersuchung eine Überwachung des Patienten bis zum Ende der Wirkung des Sedativums gewährleistet sein (3).

4.1 2-D-Echokardiographie

Die Abbildungsqualität erfordert mindestens 256 Graustufen. Eine abgestufte Tiefenverstärkung muß möglich sein. Zur Kalibrierung muß auf dem Monitor ein Zentimeter-Maßstab eingeblendet sein.

Die Untersuchung dient der Darstellung aller kardialen Konnektionen, der intrakardialen Anatomie sowie der Darstellung der großen Gefäße. Im Rahmen einer sequentiellen Analyse erfolgt die Bestimmung des viszeroatrialen Situs und der Lage des Herzens, der venoatrialen Konnektion, der Vorhofanatomie, der atrioventrikulären Konnektion, der Ventrikelanatomie, der ventrikuloarteriellen Konnektion, der Anatomie der großen Arterien sowie die Darstellung begleitender Fehlbildungen des Herzens und der großen Gefäße (4).

Bei einer Erstuntersuchung ist die Darstellung und Dokumentation aller von der American Society of Echocardiography empfohlenen Standardschnittebenen erforderlich (5); hierzu zählen die parasternalen Längs- und Querschnitte, der apikale 4-Kammer- und 2-Kammer-Blick, die suprasternale lange und kurze Achse des Aortenbogens sowie die subkostalen langen, kurzen und schrägen Schnittebenen (3, 4). Zusätzliche Schnittebenen ergeben sich durch pathologische Befunde sowie durch Lageanomalien des Herzens.

Bei pathologischen Befunden sollen Bestimmungen von Durchmesser oder Flächen relevanter Strukturen im 2-D-Standbild den optischen Eindruck substantiieren (Durchmesser von Vorhof- und Ventrikelseptumdefekten, Durch-

Tab. 1 TM-Echokardiographie – Normalwerte von Neugeborenen

Gewicht (kg)	RVWd (mm)	RVDd (mm)	IVSd (mm)	LVDd (mm)	PWd (mm)	AOd (mm)	LA _s (mm)
2,0	2,4 ± 0,9	8,4 ± 4,4	3,5 ± 1,3	17,1 ± 2,1	2,7 ± 0,8	8,2 ± 1,3	11,5 ± 3,2
2,5	2,5 ± 1,1	8,4 ± 4,4	3,5 ± 1,3	18,1 ± 3,0	3,2 ± 1,0	8,8 ± 1,4	12,1 ± 3,5
3,0	2,5 ± 1,1	8,5 ± 4,4	3,6 ± 1,3	18,2 ± 3,1	3,5 ± 1,1	9,1 ± 1,6	12,6 ± 3,2
3,5	2,6 ± 1,1	8,6 ± 4,5	3,7 ± 1,4	18,8 ± 3,4	3,6 ± 1,1	9,3 ± 1,8	13,2 ± 3,0
4,0	2,6 ± 1,1	8,6 ± 4,5	3,8 ± 1,4	19,9 ± 3,4	3,7 ± 1,1	9,6 ± 2,0	13,7 ± 3,2

Durchmesserangaben als Mittelwert ± 2 SD (nach 16).

Abkürzungen: AO = Aorta, d = diastolisch, IVS = Ventrikelseptum, LA_s = linksatrialer systolischer Durchmesser, LVD = linksventrikulärer Durchmesser, PW = linksventrikuläre Hinterwand, RVD = rechtsventrikulärer Durchmesser, RVW = rechtsventrikuläre Vorderwand

messer von Klappenringen der Herzklappen, Durchmesser von großen Gefäßen, Fläche von Vorhof- und Ventrikel). Im Gegensatz zur TM-Echokardiographie werden Durchmesserbestimmungen im 2-D-Echokardiogramm nicht nach der „Leading-edge“-Methode (Außenwand zu Innenwand), sondern von Innenwand zu Innenwand der betreffenden Strukturen vorgenommen (1).

Volumenbestimmungen des linken Ventrikels und der Ejektionsfraktion werden am besten nach der Scheibchen-Summations-Methode („Simpson's rule“) vorgenommen; dies erfolgt durch Planimetrie des linken Ventrikels in apikalen 4- und 2-Kammer-Schnitten mit gemeinsamer langer Achse des linken Ventrikels (3). Im Säuglingsalter ist mit derselben Methodik bei Verwendung von subkostalen Koronar- und Sagittalschnittebenen auch die rechtsventrikuläre Volumenbestimmung möglich (6, 7).

Zum Ausschluß struktureller Herzerkrankungen ist im Kindesalter immer eine Kombination der 2-D-Registrierung mit den Verfahren der Dopplersonographie (PW-/CW- und Farbdoppler-Echokardiographie) notwendig. Bei Patienten, die bereits vollständig nichtinvasiv (Echokardiographie) oder invasiv (Herzkatheterung) untersucht wurden, kann sich eine erneute Untersuchung und deren Dokumentation auf eine spezielle Fragestellungen (z. B. Überprüfung der kardialen Funktion, Kontrolle von Druckgradienten) beschränken.

4.2 TM-Registrierung

Die Abbildungsqualität erfordert mindestens 64 Graustufen. Um eine korrekte Plazierung der Meßlinie zu gewährleisten, erfolgt die TM-Registrierung unter Kontrolle durch das 2-D-Echokardiogramm. Zur genauen zeitlichen Zuordnung der Signale ist ferner eine simultane EKG-Registrierung erforderlich. Die Registrierung muß eine Zeitmarkierung zur Orientierung enthalten; die Registriergeschwindigkeit soll mindestens 50 mm/s betragen, in bestimmten Fällen (Messung von Zeitintervallen, hohe Herzfrequenz) können 100 mm/s erforderlich sein. Die TM-Registrierung kann in der parasternalen langen Achse erfolgen, zur Bestimmung der linksventrikulären Durchmesser wird jedoch im Kindesalter die parasternale kurze Achse bevorzugt (3). Die Auswertung erfolgt nach Empfehlungen der American Society of Echocardiography (8) am gespeicherten Standbild. Die Dokumentation kann dann auf Papier, Videoband oder digitalen Speichermedien vorgenommen werden.

Die TM-Registrierung dient der Durchmesser- und Bewegungsanalyse von rechtem und linkem Ventrikel, Ventrikelseptum, linksventrikulärer Hinterwand, Aortenbulbus, linkem Vorhof, Mitralklappe, rechtsventrikulärer Vorderwand und gegebenenfalls einem Perikarderguß. Aus enddiastolischem und endsystolischem Durchmesser des linken Ventrikels kann die Verkürzungsfraktion als ein klinisch häufig verwendetes Maß für die linksventrikuläre systolische Funktion be-

stimmt werden (3). Kalibermessungen des Aortenbogens, der Pulmonalarterien, sowie die Beurteilung der Trikuspidal- und Pulmonalklappe erfolgen in der Regel durch direkte Messungen am Standbild im Rahmen der 2-D-Echokardiographie. Zum Vergleich werden Normwerte, die auf das Gewicht oder die Körperoberfläche bezogen sind, herangezogen. Weitere Untersuchungsmöglichkeiten mit der TM-Registrierung liegen in der Bestimmung von systolischen Zeitintervallen beider Ventrikel (3).

4.3 Auswertung

Der Auswertung des Befundes sollte eine Qualitätsbeurteilung des Echokardiogrammes vorangehen (siehe Kapitel 3.3 Befundbericht). Die Auswertung von 2-D- und TM-Echokardiogrammen erfolgt entsprechend den Richtlinien der American Society of Echocardiography (8, 9). Ein Teil der Auswertung geschieht numerisch durch die Angabe von ermittelten Meßwerten, vor allem der TM-Registrierung, die mit größenbezogenen Normalwerten verglichen werden (Tab. 1–4).

Der deskriptive Teil der 2-D-Auswertung beschreibt den Situs und die Herzlage, die einzelnen Herzsegmente (Vorhöfe, Hauptkammern, große Gefäße), ihre jeweiligen Konnektionen sowie das Vorliegen von begleitenden Fehlbildungen wie Klappenanomalien oder Shuntverbindungen (Lage und Größe eines Vorhof- oder Kammer-scheidewanddefektes).

Tab. 2 TM-Echokardiographie – Normalwerte von Säuglingen, Klein- und Schulkindern

KO (m ²)	RVWd (mm)	RVDd (mm)	IVSd (mm)	LVDd (mm)	PWd (mm)	AOd (mm)	LA _s (mm)
0,25	2,6 ± 1,2	8,7 ± 4,5	3,8 ± 1,4	20,0 ± 3,6	3,6 ± 1,0	10,4 ± 2,4	14,0 ± 3,5
0,30	2,7 ± 1,1	8,7 ± 4,4	3,9 ± 1,4	22,9 ± 3,9	4,1 ± 1,3	11,3 ± 2,3	15,3 ± 3,8
0,40	2,7 ± 1,1	8,9 ± 4,5	4,1 ± 1,5	26,0 ± 5,0	4,2 ± 1,3	12,9 ± 2,0	16,8 ± 3,8
0,50	2,8 ± 1,1	9,3 ± 4,5	4,3 ± 1,6	29,0 ± 5,6	4,6 ± 1,5	14,9 ± 2,7	18,7 ± 4,2
0,60	2,8 ± 1,1	9,6 ± 4,4	4,8 ± 1,5	31,6 ± 5,6	4,8 ± 1,5	15,6 ± 2,8	20,1 ± 4,0
0,70	2,8 ± 1,1	10,1 ± 4,4	5,0 ± 1,5	33,9 ± 6,5	5,2 ± 1,7	16,9 ± 3,4	21,2 ± 5,0
0,80	2,8 ± 1,1	10,5 ± 4,7	5,2 ± 1,6	35,8 ± 6,2	5,7 ± 2,1	17,9 ± 3,4	22,5 ± 6,0
0,90	2,8 ± 1,1	11,0 ± 4,6	5,6 ± 1,8	37,1 ± 6,1	5,9 ± 2,2	18,7 ± 3,6	23,2 ± 6,2
1,0	2,8 ± 1,1	11,2 ± 4,8	5,8 ± 1,8	38,5 ± 6,8	5,9 ± 2,2	19,9 ± 3,6	25,0 ± 5,8
1,1	2,9 ± 1,1	11,8 ± 4,4	6,2 ± 1,9	39,4 ± 6,9	6,3 ± 2,4	20,9 ± 3,4	25,2 ± 5,7
1,2	2,9 ± 1,1	12,4 ± 4,8	6,5 ± 1,8	41,7 ± 6,2	6,6 ± 2,5	21,0 ± 3,5	26,0 ± 5,1
1,3	3,0 ± 1,1	13,5 ± 5,0	6,6 ± 1,8	42,4 ± 6,6	6,9 ± 2,6	21,7 ± 4,2	27,3 ± 5,6
1,4	3,0 ± 1,1	14,0 ± 5,0	6,7 ± 1,8	43,3 ± 6,0	6,9 ± 2,6	22,7 ± 4,8	28,2 ± 5,4
1,5	3,1 ± 1,2	15,6 ± 5,6	7,4 ± 2,2	45,4 ± 6,4	7,7 ± 2,8	23,6 ± 5,4	29,9 ± 6,2
1,75	3,1 ± 1,2	16,5 ± 6,2	8,0 ± 2,4	46,8 ± 6,0	8,1 ± 3,0	24,4 ± 6,2	30,4 ± 6,6
2,0	3,1 ± 1,2	17,5 ± 6,0	8,3 ± 2,5	53,4 ± 8,0	8,1 ± 3,0	27,4 ± 4,4	32,5 ± 8,8

Durchmesserangaben als Mittelwert ± 2 SD (nach 16).

Abkürzungen: AO = Aorta, d = diastolisch, IVS = Ventrikelseptum, LA_s = linksatrialer systolischer Durchmesser, LVD = linksventrikulärer Durchmesser, PW = linksventrikuläre Hinterwand, RVD = rechtsventrikulärer Durchmesser, RVW = rechtsventrikuläre Vorderwand

Bei auffälligen Befunden ist die zusätzliche Angabe objektiver Meßparameter sinnvoll, welche mit altersentsprechenden Normalwerten verglichen werden (Tab. 4). Für weitere 2-D-Meßwerte im Kindesalter liegen umfangreiche Normalwerte vor (3, 10–12). Insbesondere können Durchmesserbestimmungen der Klappenringe von Aorten-, Pulmonal-, Mitral- und Trikuspidal-klappe sowie die Volumenmessung des

linken Ventrikels (13) sinnvolle Zusatzinformation liefern (siehe 4.1, 2-D-Echokardiographie).

5 Doppler-Echokardiographie

5.1 Gepulster (PW-) und kontinuierlicher (CW-)Doppler

Die Ultraschallgeräte müssen mit Schallköpfen ausgestattet sein, die eine kombinierte, simultane Doppler- und 2-D-echokardiographische Untersuchung ermöglichen. Um eine gute Registrierung der Dopplerspektren in allen Altersstufen zu gewährleisten, ist eine Schallfrequenz von 2,0 bis 5,0 MHz erforderlich. Der CW-Strahl soll schwenkbar sein, wobei zusätzlich eine nicht-bildgebende Sonde („pencil probe“) für die CW-Doppler-Untersuchung zu empfehlen ist. Beim PW-Doppler muß die Größe des Meßvolumens von 1–8 mm variabel sein. Die Pulswiederholungsfrequenz (pulse repetition frequency, PRF) soll mindestens 2 KHz betragen. Bei Nutzung der „High pulse repetition frequency“- (HPRF-)Option muß die 3- bis 4fache Pulswiederholungsrate des konventionellen PW-Dopplers erreicht werden.

Bei der Doppler-Echokardiographie sind im Rahmen der Dokumentation zusätzliche Informationen zur aktuellen Filter- und Verstärkungseinstellung des Gerätes (Rauschunterdrückung, Wandfilter, Amplitudenskalierung, Globalverstärkung, Meßvolumengröße, „time gain compensation“ (TGC)) festzuhalten, die dem Monitorbild zu entnehmen sein müssen.

5.2 Farbkodierter Doppler

Mit der farbkodierten, zweidimensionalen Doppler-Echokardiographie erfolgt die simultane Darstellung der Blutströmung, die flächenhaft in das 2-D-Bild eingeblendet wird. Verwendet werden Schallköpfe mit Schallfrequenzen zwischen 2,0 und 5,0 MHz. In das Monitorbild eingeblendete Informationen zu den wichtigsten Parametern der Verstärker- und Filterfunktionen sind unbedingt erforderlich. Der Schallsektor für die farbkodierte Doppleruntersuchung soll bei sich nicht veränderndem angewählten 2-D-Sektor möglichst klein gehalten werden, um so eine möglichst hohe Bildfrequenz und damit eine Echtzeitdarstellung zu erreichen.

Tab. 3 Regressionsgleichungen von normalen TM-Meßwerten

Meßwert	Regressionsgleichung	R ²
RVWd	2,8857 · BSA ^{0,1015}	0,9668
RVDd	7,4461 · e ^{0,4587 · BSA}	0,9898
IVSd	5,8055 · BSA ^{0,3688}	0,9772
LVDd	38,537 · BSA ^{0,4509}	0,9896
PWd	6,0963 · BSA ^{0,3988}	0,9854
AOd	19,443 · BSA ^{0,4578}	0,9981
LA _s	24,695 · BSA ^{0,3911}	0,9975
LVM	107,26 · BSA ^{1,2466}	0,9969

Mittlerer Vorhersagewert in mm („Best fit“-Regressionsgleichungen der Meßgrößen bezogen auf die 50. Perzentile; nach (16)).

Abkürzungen: AO = Aorta, BSA = Körperoberfläche, d = diastolisch, IVS = Ventrikelseptum, LA_s = linksatrialer systolischer Durchmesser, LVD = linksventrikulärer Durchmesser, LVM = linksventrikuläre Masse, PW = linksventrikuläre Hinterwand, RVD = rechtsventrikulärer Durchmesser, RVW = rechtsventrikuläre Vorderwand

Tab. 4 2-D-Echokardiographie – ausgesuchte Normalwerte von Säuglingen, Klein- und Schulkindern

KO (m ²)	Subkostal			Apikal		Para-/Suprasternal	
	UHV (mm)	RVq (mm)	RAq (mm)	LVI (mm)	TV/MV (mm)	PA (mm)	AoB (mm)
0,20	3–6	12–25	12–22	33–50	2,5–5,6	7–12	6–12
0,40	5–9	17–32	16–29	43–63	3,0–7,0	9–16	8–14
0,60	6–12	21–42	19–36	51–77	3,5–7,7	11–19	10–16
0,80	8–14	25–48	22–41	60–90	3,8–8,5	12–22	11–18
1,0	9–16	27–53	25–46	67–98	4,1–9,0	13–25	12–20
1,2	10–18	29–58	27–49	73–105	4,3–9,5	15–27	13–22
1,4	11–21	31–63	29–52	78–112	4,4–10,1	16–29	14–23
1,6	12–22	33–67	31–55	82–119	4,5–10,5	17–31	14–24

Durchmesserangaben als 5. bis 95. Perzentile nach (10).

Abkürzungen: AoB = Aortenbogen, KO = Körperoberfläche, LVI = linksventrikuläre Länge, PA = Pulmonalisstamm, RAq = rechtsatrialer Querdurchmesser, RVq = rechtsventrikulärer Querdurchmesser, TV/MV = Abstand der septalen Insertion der AV-Klappen, UHV = unterer Hohlvenendurchmesser

5.3 Registrierung und Auswertung

Die Registrierung von PW- und CW-Doppler-Frequenzspektren erfolgt ausschließlich durch Geräte mit amplitudengewichteter Spektralanalyse. Die Spektralanalyse der Doppler-Frequenzspektren erfolgt über Fourier-Analyse („fast Fourier transformation“, FFT) oder über Chirp-Z-Transformation. Zeitgleich mit den Dopplerspektralkurven wird ein EKG registriert. Die Registriereschwindigkeit soll mindestens 50 mm/s betragen, in bestimmten Fällen (Messung von Zeitintervallen, hohe Herzfrequenz) sind 100 mm/s erforderlich. Aus den registrierten Spektralkurven des Doppler-Shifts sowie dem simultan aufgezeichneten EKG müssen mit der im Gerät integrierten Meß- und Recheneinheit folgende Parameter ermittelt werden können (Dimension):

- maximale Flußgeschwindigkeit (V_{\max} – (m/s)) an Herzklappen und in Gefäßen (Tab. 5);
- maximale instantane Druckdifferenz (ΔP_{\max} – (mm Hg)) zwischen einzelnen Herzhöhlen und/oder großen Gefäßen,
- Zeitintervalle (s),
- Steilheit von Flußgeschwindigkeitsanstieg oder -abfall (dV/dt – (m/s²)) und
- Geschwindigkeits-Zeit-Integral (velocity time integral, VTI – (m)) oder die mittlere Flußgeschwindigkeit (V_{mean} – (m/s)).

Die bei weitem am häufigsten genutzten Parameter sind die maximale

Flußgeschwindigkeit und die maximale instantane Druckdifferenz. Diese Messungen sind nur verwertbar, wenn die Doppler-Frequenzspektren artefaktfrei und mit klar zu erkennenden Grenzflächen und -punkten registriert werden. Eine derart auswertbare Registrierung ist über optimierte Verstärkungs- und Filtereinstellung (Filterbereich 100–1600 Hz, mindestens 200–800 Hz) zu gewährleisten.

5.4 Untersuchungsablauf

Bei der dopplerechokardiographischen Untersuchung ist ebenso wie bei der 2-D-Echokardiographie im Sinne der sequentiellen segmentalen Analyse vorzugehen; nur so können auch bei einer bereits bestehenden Verdachtsdiagnose

alle flußdynamischen Details erfaßt und die Diagnose dadurch gesichert werden. Im Zusammenhang mit der 2-D-Untersuchung sind daher alle Herzsegmente, Konnektionen und herznahen großen Gefäße mit farbkodierter und/oder konventioneller Doppler-Sonographie (PW-, gegebenenfalls CW-Doppler) zu untersuchen. Dabei werden Strömungsrichtung und -profil orientierend mit der farbkodierten Doppler-Sonographie beurteilt und gegebenenfalls die maximale Flußgeschwindigkeit mit dem PW- und/oder CW-Doppler ermittelt.

Bei beschleunigter Flußgeschwindigkeit kann nach der vereinfachten Bernoulli-Gleichung der maximale instantane Druckgradient abgeleitet werden (3). Bei Vorliegen einer Klappenregurgitation wird die Rückflußgeschwindigkeit und gegebenenfalls auch die

Tab. 5 Doppler-Echokardiographie – Normalwerte von Flußgeschwindigkeiten bei Kindern

Autor Meßort	Snider (3) Vmax (m/s)	Goldberg (17) Vmax (m/s)	Hatle (18) Vmax (m/s)
obere/untere Hohlvene	0,5–1,5*)	0,3–0,8*)	0,5–1,2*)
Trikuspidalklappe:	E	0,4–0,8	0,5–0,8
	A	0,2–0,6	
	E/A	0,6–2,6	
Pulmonalklappe Mitralklappe:		0,7–1,2	0,7–1,2
	E	0,7–1,1	0,3–1,3
	A	0,3–0,7	0,3–0,7
	E/A	1,1–2,7	0,7–1,8
LV-Ausflußtrakt	0,7–1,2		0,7–1,2
Aortenklappe	1,2–1,8	0,8–1,5	1,2–1,8
proximale Aorta descendens	0,8–1,8	0,7–1,4	

Abkürzungen: LV = linker Ventrikel; *) = stark atemabhängig

Ausdehnung eines Regurgitationsjets beurteilt. Gegebenenfalls kann die Abschätzung von Flußvolumina an den Herzklappen durch Ausmessung des Geschwindigkeits-Zeit-Integrals bzw. der mittleren Flußgeschwindigkeit, des Meßortdurchmessers und der Herzfrequenz erfolgen (3).

6 Fetale Echokardiographie

Die fetale Echokardiographie bietet die Möglichkeit, pränatal Fehlbildungen oder Funktionsstörungen des fetalen Herzens zu erkennen und deren Verlauf zu kontrollieren. Die Untersuchung ist bei Risiko-Schwangerschaften indiziert (Tab. 6) und umfaßt sowohl strukturabbildende (2-D-, TM) als auch dopplersonographische Untersuchungstechniken, mit deren Hilfe die Anatomie aller Herzabschnitte und der herznahen großen Gefäße sowie intra- und extrakardiale Blutflußmuster dargestellt werden.

Der günstigste Zeitpunkt für die fetale Echokardiographie durch den Kinderkardiologen liegt bei Risikopatientinnen in der 17.–20. Schwangerschaftswoche. Unabhängig davon soll eine fetale Echokardiographie aber immer dann durchgeführt werden, wenn beim Feten extrakardiale Auffälligkeiten gefunden werden, die gehäuft mit kardialen Anomalien assoziiert sind (14).

Bei der fetalen Echokardiographie wird am besten ein segmentales Vorgehen gewählt, wobei zunächst die Lage des Feten und seine Seitenlokalisation (rechte und linke fetale Seite) bestimmt werden. Anschließend wird der abdominelle Situs nach der Lage der großen Gefäße in Höhe des Zwerchfells beschrieben. Dann müssen schrittweise die venoatrialen, atrioventrikulären und ventrikuloarteriellen Konnektionen mit den dazu gehörigen Herzsegmenten (Vorhöfe, Kammern, große Arterien) im 2-D-Bild erfaßt werden.

Die wichtigste Standardschnittebene ist dabei der fetale 4-Kammer-Blick, der die Lage des Herzens im fetalen Thorax,

Tab. 6 Indikationen zur fetalen Echokardiographie durch den Kinderkardiologen

1. Anamnestisch belastete Schwangerschaft
 - 1.1. Familiäre Belastungen (Geschwister, Eltern)
 - mit Herzfehlbildungen
 - mit vitienassozierten Syndromen
 - 1.2. Schädigende Einfüsse in der Schwangerschaft
 - Einnahme teratogener Medikamente/Substanzen (z. B. Lithium, Antikonvulsiva, Alkohol)
 - mütterliche Erkrankungen (z. B. Diabetes mellitus, Phenylketonurie, Kollagenosen)
 - mütterliche Infektionen/Kontakt mit ionisierenden Strahlen
2. Screening-Befunde mit kardialen Auffälligkeiten
 - 2.1. Sonographischer Verdacht auf Herzfehlbildung
 - 2.2. Kardiovaskuläre Syndrome
 - fetale kardiale Dysrhythmien
 - nichtimmunologischer Hydrops fetalis
3. Screening-Befunde mit potentiell kardialer Assoziation
 - 3.1. Fetale chromosomale Aberration
 - 3.2. Mehrlingsschwangerschaften
 - 3.3. Poly- oder Oligohydramnion
 - 3.4. Singuläre Nabelschnurarterie
 - 3.5. Sonstige fetale Anomalien:
 - Kopf (Mikrozephalie, Hydrozephalus, Spaltbildungen, Ohranomalien)
 - Thorax (Zwerchfellhernie, Ösophagusatresie)
 - Abdomen (Situsanomalien, Omphalocele, Nierenagenesie, Hydronephrose)
 - Skelett (Hand- und Extremitätenfehlbildungen)

das Vorhandensein und die relative Größe der einzelnen Herzkammern sowie der AV-Klappen zeigt. Durch Schallkopfkippung und -drehung müssen ferner aus dem 4-Kammer-Blick heraus die links- und rechtsventrikulären Ausflußtrakte und die nachfolgenden großen Gefäße dargestellt werden.

Die in allen diesen Strukturen vorkommenden Blutflußmuster werden mit der Farbdoppler-Sonographie und – vor allem bei auffälligen Flußmustern – mit dem PW- oder CW-Doppler untersucht. Dabei muß auch das Flußmuster in den für den Feten eigenen Blutflußwegen (Foramen ovale, Ductus arteriosus) erfaßt und analysiert werden. Zur Beurteilung der fetalen Ventrikelfunktion und eventueller fetaler Dysrhythmien wird gegebenenfalls auch die TM-Echokardiographie eingesetzt. Die Dokumentation der fetalen Herzfrequenz gehört zu jeder Basisuntersuchung des fetalen Herzens.

Die Auswertung und Befundung einer fetalen Echokardiographie folgt den oben beschriebenen Grundsätzen postnataler Untersuchungen, wobei nicht eindeutig darstellbare Strukturen oder

Doppler-Parameter vermerkt werden sollen.

7 Transösophageale Echokardiographie

In der pädiatrischen Kardiologie sind die Hauptindikationen für eine transösophageale Echokardiographie zu sehen in

- a) der perioperativ oder während einer interventionellen Katheterung vorgenommenen Untersuchung, die der sofortigen Feststellung der durch den Eingriff entstandenen anatomischen und funktionellen Verhältnisse dient, und
- b) der Untersuchung am älteren Kind, Jugendlichen oder postoperativen Patienten mit eingeschränkten transthorakalen Schallbedingungen.

Die Untersuchung erfordert spezielle Kenntnisse und Erfahrungen mit der Handhabung der Ultraschallsonde, insbesondere mit deren Einführung in den Ösophagus und den Magen sowie der in diesem Zusammenhang zu berücksichtigenden Kontraindikationen und Risiken. Ferner muß der Untersucher Erfahrung in der Erkennung und Interpreta-

tion von transösophagealen Schnittbildern haben; bezüglich der Mindestvoraussetzungen siehe auch 1.3.

Die transösophageale Echokardiographie wird mit einem Gerät vorgenommen, das alle einzelnen Modalitäten der Echokardiographie (2-D- und TM-Echokardiographie; konventionelle und Farbdoppler-Sonographie) ermöglicht. Der verwandte Schallkopf muß den technisch vorgeschriebenen Sicherheitsmerkmalen entsprechen, die Schallkopffrequenz soll mindestens 5 MHz betragen. Der Schallkopf muß regelmäßig auf Leckströme, die Sonde auf Biß- oder sonstige Beschädigungen kontrolliert werden. Die Sonde soll in 2 Ebenen von außen steuerbar sein; ihr Durchmesser muß den Größenverhältnissen des kindlichen Ösophagus angepaßt sein.

Die Untersuchung wird immer zusammen mit einem zweiten Arzt, eventuell zusätzlich auch mit einer entsprechend ausgebildeten technischen Assistenz durchgeführt und erfordert bei Kleinkindern oder jungen Schulkindern die Intubationsnarkose, bei Jugendlichen die lokale Rachenanästhesie und eventuell zusätzliche Sedierung. Grundsätzlich muß ein venöser Zugang für die rasche Applikation von notwendigen Medikamenten oder Kontrastmittel geschaffen werden. Patienten-EKG und O₂-Sättigung werden kontinuierlich überwacht; Notfallmedikamente müssen unmittelbar erreichbar sein.

Der nicht intubierte Patient ist wenigstens 4 Stunden vor der Untersuchung nüchtern. Die lokale Rachenanästhesie wird unmittelbar vor der Untersuchung mit Lidocain-Spray durchgeführt. Bei Patienten mit angeborenem Herzfehler aus der Hochrisikogruppe wird zur Endokarditis-Prophylaxe die Verabreichung eines Antibiotikums empfohlen.

Der nicht intubierte Patient wird in linker Seitenlage untersucht. Die leicht flektierte Sonde wird durch einen Beißring in den Pharynx eingeführt, wobei bei Widerstand dieser Versuch abgebrochen werden und zunächst

nach anatomischen Ursachen für ein Passagehindernis gefahndet werden muß. Bei beatmeten Patienten hat sich die Zuhilfenahme eines Laryngoskopes bei der Einführung der Sonde bewährt.

Folgende Standardschnittebenen müssen von transösophagealen und transgastrischen Schallkopfpositionen aus dargestellt werden:

- kranialer Querschnitt mit Aorta ascendens, Arteria pulmonalis und ihrer Bifurkation, linkem Vorhof und linksseitigen Lungenvenen;
- Vier-Kammer-Blick mit rechtem und linkem Vorhof, Ventrikel und Atrioventrikularklappen sowie hieraus entwickelten Schrägschnitten mit Darstellung des Vorhof- und des Ventrikelseptums, der linksseitigen Lungenvenenmündung und des linken Herzohres;
- Längsschnitte von linkem Ventrikel, linksventrikulärem Ausflußtrakt, Aortenklappe und ascendierender Aorta;
- transgastrischer Querschnitt von linkem Ventrikel.

Perioperativ oder bei interventioneller Katheterung kann die Darstellung auf die interessierenden Details beschränkt werden. Der echokardiographische Teil einer Untersuchung soll fortlaufend auf Videoband dokumentiert werden. Im Befund müssen neben den unter 3.3 angegebenen Details zusätzlich der Ablauf der Untersuchung und die Einführbarkeit der Sonde kommentiert und verabreichte Medikamente sowie eventuelle Komplikationen festgehalten werden. Nach einer lokalen Rachenanästhesie soll das Kind wegen der Aspirationsgefahr für mindestens 2 Stunden keine Nahrung oder Flüssigkeit aufnehmen.

8 Kontrast-Echokardiographie

Die Kontrast-Echokardiographie ist ein äußerst sensitives Nachweisverfahren für das Vorliegen von abnormalen systemvenösen Verbindungen und von intrakardialen oder intrapulmonalen Shunts. Geringere Bedeutung hat sie bei

Kindern als Verstärker des Dopplereffektes bei der Untersuchung von nur gering insuffizienten Herzklappen (Trikuspidalinsuffizienz für die Abschätzung des rechtsventrikulären und pulmonalarteriellen systolischen Druckes).

Als Kontrastmittel werden kristalline oder eiweißhaltige Lösungen verwendet, die unmittelbar vor der Injektion vom Untersucher aufgeschüttelt werden, wobei die den Kontrasteffekt erzeugenden Mikrobläschen entstehen; dies kann auch mit stark verdünntem Eigenblut des Patienten erreicht werden (15). Es kommen für die Kontrast-Echokardiographie auch industriell hergestellte Präparate zur Anwendung.

Vor der Untersuchung muß ein venöser Zugang gelegt werden, der unter Berücksichtigung der speziellen Fragestellung möglichst herznah liegen sollte (Kopf- oder Armvene). Die Darstellung während der Injektion erfolgt meist von apikal, eventuell auch subkostal oder parasternal. Beim Anfluten des Kontrastmittels im rechten Herzen kann durch ein Valsalva-Manöver oder einen Hustenstoß der über einen Septumdefekt erfolgende Kontrastmittelübertritt ins linke Herz verstärkt dargestellt werden. Die Untersuchung wird fortwährend auf Videoband dokumentiert. Bedeutsame Nebenwirkungen der Kontrastechokardiographie sind an pädiatrischen Patienten nicht beschrieben (15).

Literatur

1. ACC/AHA Task Force on Practice Guidelines (1997) ACC/AHA guidelines for the clinical application of echocardiography. *Circulation* 95:1686–1744
2. Arbeitsgruppe Qualitätssicherung, Komitee Echokardiographie der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie (1997) Qualitätsleitlinien in der Echokardiographie. *Z Kardiol* 86:387–403
3. Snider AR, Serwer GA, Ritter SB (1997) *Echocardiography in Pediatric Heart Disease*. 2nd edition. Mosby, St. Louis
4. Higgins CB, Silverman NH, Kersting-Sommerhoff, Schmidt K (1990) *Congenital Heart Disease. Echocardiography and Magnetic Resonance Imaging*. Raven Press, New York
5. Henry WL, DeMaria A, Gramiak R, King DL, Kisslo JA, Popp RL, Sahn DJ, Schiller NB, Tajik A, Teichholz TE, Weyman AE (1980) Report of the American Society of Echocardiography Committee on nomenclature standards in two-dimensional echocardiography. *Circulation* 62:212–217
6. Trowitzsch E, Colan SD, Sanders SP (1985) Two-dimensional echocardiographic evaluation of right ventricular size and function in newborns with severe right ventricular outflow tract obstruction. *J Am Coll Cardiol* 6:388–393
7. Schmidt KG, Cloez JL, Silverman NH (1992) Changes of right ventricular size and function in neonates after valvotomy for pulmonary atresia or critical pulmonary stenosis and intact ventricular septum. *J Am Coll Cardiol* 19:1032–1037
8. Sahn DJ, DeMaria A, Kisslo J, Weymann A (1978) Recommendations regarding quantitation in M-mode echocardiography: Results of a survey of echocardiographic measurements. *Circulation* 58:1072–1083
9. Schiller NB, Shah PM, Crawford M, et al (1989) Recommendations for quantification of the left ventricle by two dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2:358–367
10. Wessel A (1985) Normal values of two-dimensional echocardiographic evaluation of left and right ventricular geometry in children. *Herz* 10:248–254
11. Hanseus K, Björkhem G, Lundström NR (1988) Dimensions of cardiac chambers and great vessels by cross-sectional echocardiography in infants and children. *Pediatr Cardiol* 9:7–15
12. Nidorf SM, Picard MH, Triulzi MO, Thomas JD, Newell J, King ME, Weyman AE (1992) New perspectives in the assessment of cardiac chamber dimensions during development and adulthood. *J Am Coll Cardiol* 19:983–988
13. Silverman NH, Ports T, Snider AR, Schiller NB, Carlsson E, Heilbron D (1980) Determination of left ventricular volume in children: echocardiographic and angiographic comparison. *Circulation* 62:548–557
14. Ulmer HE, Schmidt KG (1992) *Entwicklung fetaler Organe – Herz*. In: Künzel W, Wulf KH (Hrsg) *Klinik der Frauenheilkunde und Geburtshilfe*, Bd. 4, Schwangerschaft I. Urban & Schwarzenberg, München, S 337–360
15. Van Hare GF, Silverman NH (1989) Contrast 2-dimensional echocardiography in congenital heart disease: techniques, indications, and clinical utility. *J Am Coll Cardiol* 13:673–686
16. Kampmann C (1999) Normal values of TM-echocardiographic measurements in a cohort of >2000 healthy infants and children in central Europe. *Heart* (submitted)
17. Goldberg SJ, Allen HD, Marx GR, Donnerstein RL (1988) *Doppler Echocardiography*. 2nd edition, Lea & Febiger, Philadelphia
18. Hatle L, Angelsen B (1985) *Doppler Ultrasound in Cardiology*. 2nd edition, Lea & Febiger, Philadelphia