

ecomed Medizin

## Intensivmedizin

Kompendium und Repetitorium zur interdisziplinären Weiter- und Fortbildung

von

Prof. Dr. Joachim Eckart, Prof. Dr. Helmuth Forst, Prof. Dr. Josef Briegel

Grundwerk mit 64. Ergänzungslieferung

ecomed Medizin Heidelberg

Verlag C.H. Beck im Internet:

[www.beck.de](http://www.beck.de)

ISBN 978 3 609 20210 5

# XV – 3 Möglichkeiten und Grenzen der Echokardiographie im Einsatz in der Intensivmedizin

A.C. BORGES, F. KNEBEL und G. BAUMANN

## 1 Einleitung

Im Bereich der Intensivmedizin stehen als *akute spezielle bildgebende Diagnostik* die konventionelle Röntgen-Technik, die Ultraschall-Technik mit der speziellen Methode auf dem Gebiet des Herz-Kreislaufes, die Echokardiographie, die Computertomographie, die Magnetresonanztomographie und die Angiographie zur Verfügung.

In den letzten Jahren hat die *Echokardiographie* durch die technische Weiterentwicklung, insbesondere mit Einführung der Harmonic-Imaging-Technik, der online 3D-Echokardiographie und der Kontrast-Echokardiographie sowie der Weiterentwicklung von Doppler-Techniken und der transösophagealen Untersuchungstechniken immer mehr an Bedeutung zugenommen. Diese Entwicklung wurde durch die Vorzüge der Echokardiographie als schnell verfügbares Verfahren mit hoher diagnostischer Sicherheit, Nichtinvasivität oder Semiinvasivität, mit ihrer Durchführbarkeit am Krankenbett oder im Operationsaal und der Möglichkeit des intraoperativen Monitoring unterstützt.

### 1.1 Diagnoseprinzipien

Die *Echokardiographie* als das bildgebende Verfahren, das mittels Ultraschallwellen in einem Wellenlängenbereich von 1 bis 10 MHz die reflektierenden Strukturen des Herzens abbilden kann, hat aufgrund der großen Aussagefähigkeit, der Nichtinvasivität und beliebigen Wiederholbarkeit eine breite Anwendung

in der Kardiologie, Pädiatrie, Herzchirurgie, Anästhesiologie und Notfallmedizin gefunden. Seitdem Edler und Hertz 1949 erstmals mittels M-Mode-Technik das Bild einer menschlichen Mitralklappe ableiteten, nahm die Echokardiographie eine sprunghafte Entwicklung und stellt heute das wichtigste nichtinvasive Verfahren in der Diagnostik von Herzerkrankungen dar. Das Spektrum reicht von der Diagnostik von komplexen Vitien bis zu den funktionellen Auswirkungen und Risikoabschätzung der koronaren Herzkrankheit.

Wie andere medizinische diagnostische Ultraschallverfahren beruht auch die Echokardiographie auf dem *Impuls-Echo-Prinzip*, wobei die reflektierten Anteile des jeweils ausgesendeten Impulses zur Bildgebung verwendet werden. Aus der Analyse von Veränderungen der Amplitude der reflektierten Wellen im Vergleich zur ausgesandten Welle und der zeitlichen Differenz zwischen Sendee- und Empfangssignal entsteht das Abbild der reflektierenden Strukturen.

Schallfeldgeometrie, Reflexion und Brechung, Streuung und Absorption haben unmittelbaren Einfluss auf die Bildentstehung. Die tiefenselektive Verstärkung sollte so eingestellt werden, dass schallkopfnah und -ferne Bildabschnitte mit gleicher Intensität abgebildet werden. Das *Auflösungsvermögen* wird definiert als der Abstand von zwei benachbarten Punkten, die gerade noch getrennt dargestellt werden können. Als das *axiale* Auflösungsvermögen bezeichnet man das Auflösungsvermögen in Schallausbreitungsrichtung, dieses beträgt

in der echokardiographischen Praxis (Sendefrequenz 2 – 5 MHz) etwa 2 mm.

Unter dem *lateralen* Auflösungsvermögen versteht man die Auflösung senkrecht zur Schallausbreitungsrichtung, und dies ist in der Praxis etwa 2 – 3-mal schlechter als das axiale Auflösungsvermögen und abhängig von der Schallfeldgeometrie. Der Untersucher muss einen Kompromiss zwischen Auflösungsvermögen und der Eindringtiefe eingehen, da beide von der Schallfrequenz abhängig sind, wobei gilt: Je höher die Frequenz, desto besser das Auflösungsvermögen und umso niedriger die Eindringtiefe.

Grundsätzlich kommen in der Echokardiographie zwei unterschiedliche Schallwandler zur Anwendung:

1. Bei einem *elektronischen Sektorschallkopf* („phased array“) liegen die einzelnen piezoelektrischen Elemente nebeneinander und werden zeitlich nacheinander angesteuert. Die Schallfelder der einzelnen Elemente tragen alle zum Bildaufbau bei und bilden eine gemeinsame akustische Achse.
2. Beim *mechanischen Schallkopf* („wobbler“) wird ein kreisscheibenförmiges Element elektronisch gesteuert mit einem Linearmotor um eine Achse in dem bestimmten Sektor gekippt. Zur verbesserten Auflösung und um die Möglichkeit der Änderung des Fokuspunktes zu erreichen, werden einzelne kreisförmige Wandler gleicher Fläche konzentrisch angeordnet und elektronisch angesteuert („annular array“). Der elektronische Schallkopf (in der aktuellen Entwicklung als *Matrix-Array*) hat den mechanischen Schallkopf heute weitgehend abgelöst. Diese neuen Schallköpfe ermöglichen die sekundenschnelle Akquisition von pyramidenförmigen Datensätzen, die die Grundlage zur Echtzeit-3D-Echokardiographie bilden.

Bei der echokardiographischen Bildentstehung unterscheidet man *A*-, *B*- und *M-Mode* vonein-

ander, wobei die beiden letzteren heute nur noch in der medizinischen Diagnostik praktische Bedeutung besitzen. Die *A-Mode*-Darstellung (*A* = amplitude) ist die historisch älteste und einfachste Methode zur Bildentstehung. Diese Amplitudendarstellung der Intensität reflektierter Signale gestattet Entfernungsmessungen.

Beim *B-Mode* (*B* = brightness) werden die verschiedenen Amplituden durch unterschiedliche Helligkeiten ersetzt, wobei gilt: Je höher die Amplitude, desto größer der Helligkeitswert (weiß). Werden mehrere Bildzeilen gleichzeitig nebeneinander in einem Bild dargestellt, so kann ein komplettes Schnittbild entstehen (*B*-Bild). Der Bildaufbau aus den verschiedenen *B-Mode*-Zeilen erfolgt so schnell, dass es gelingt, sog. „real-time“-Darstellungen zu erreichen.

Mit der *M-Mode*-Technik (*M* = motion) gelingt es, schnell bewegende Strukturen in hoher zeitlicher Auflösung in einer eindimensionalen örtlichen Abbildung darzustellen. Durch die Konstanz der Position der akustischen Achse des Schallwandlers kann die Bewegung von Strukturen relativ zum Schallkopf abgebildet werden. Mit Hilfe des *B*-Bildes kann der *M-Mode*-Strahl genau positioniert werden, so dass die jeweilig gewünschte Achse für standardisierte Messungen gewählt werden kann. Auch wenn die *M-Mode*-Echokardiographie die historisch ältere Methode darstellt, die in der Anwendung bei vielen Fragestellungen durch die *B-Mode*-Darstellung abgelöst wurde, ist ihre Bedeutung bei vielen speziellen Fragestellungen noch unverändert hoch und hat z.B. auf dem Gebiet der Beurteilung der regionalen kontraktilen Funktion eine Renaissance erfahren.

Bei der *transösophagealen Echokardiographie* kann man aufgrund der direkten und näheren Anschallung des Herzens durch den Ösophagus und Magen auch durch die Wahl höherfrequenter Schallköpfe (5 und 7,5 MHz) die Strukturen des Herzens mit einer größeren Auflösung darstellen, als es mittels transthorax-

kaler Anschallung möglich ist. Die *monoplane* Untersuchungstechnik erlaubt die Darstellung in der Transversalebene, durch Schallkopflageänderung ist eine veränderte Betrachtung in verschiedenen Blickwinkeln möglich. Die *bipplane* transösophageale Technik ermöglicht Darstellungen in der Transversal- und Longitudinallebene, und erst mit der *multiplanen* Sonde ist die Darstellung der Herzstrukturen in allen Schnittebenen von 0 – 180° möglich geworden. Die meisten multiplanen Sonden erlauben auch die Doppler-echokardiographischen Messungen sehr hoher Geschwindigkeiten, aber grundsätzlich bleibt das Problem der korrekten Anschallung in Flussrichtung bestehen und begrenzt die derzeitigen technischen Möglichkeiten.

## 1.2 Handheld- und High-End-Geräte

Eine neue technische Entwicklung stellen die miniaturisierten Echokardiographie-Geräte (sog. *Handheld Echokardiographie*) dar. Die neueren Geräte sind bereits mit CW/PW-Doppler und Harmonic Imaging ausgestattet und haben eine akzeptable Bildqualität. Die Handheld-Geräte erlauben eine schnelle und hochwertige echokardiographische Diagnostik mit einem erweiterten diagnostischen Spektrum, welches nicht nur morphologische, sondern auch funktionelle Fragestellungen umfasst. Durch diese schnelle und genaue Diagnostik sowie die hohe Mobilität und dadurch rasche Einsetzbarkeit ist insbesondere der Einsatz in der Intensivmedizin sinnvoll. Diese Geräte zeigen eine hohe diagnostische Übereinstimmung mit den konventionellen Echokardiographie-Geräten [1].

Die *intrakardiale Echokardiographie* ermöglicht über den intravasalen, venösen Zugang ein intrakardiales Monitoring mit sehr hoher räumlicher Auflösung.

## 1.3 Vorteile und Limitationen der Echokardiographie

Der große Vorteil besteht in der prinzipiellen Nichtinvasivität und der Ungefährlichkeit für den Patienten und für den Untersucher, das Assistenzpersonal, Schwangere sowie Kinder aufgrund einer fehlenden Strahlenbelastung. Alle vier Herzhöhlen, die Herzklappen, Perikard und die großen herznahen Gefäße lassen sich mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung beurteilen. Eine Beurteilung in jeder frei wählbaren Ebene, in 3D-Form und bewegtem 3D-Bild ist möglich. Die Speicherung in digitaler Form erhöht die Reproduzierbarkeit und den uneingeschränkten Datenaustausch. Aufgrund der breiten Verfügbarkeit, Transportabilität und der relativ geringen Kosten (im Vergleich zu MRT oder Nuklearmedizin und Herzkatheter) hat die Echokardiographie sich als eine der wichtigsten diagnostischen Methoden in der Intensivmedizin durchgesetzt.

**Merke:** Limitationen ergeben sich vor allem aus dem mangelhaften Durchgangsvermögen von Ultraschall durch Knochen, durch verkalkte Gewebe, metallische Implantate und durch Luft. Dies kann bei einzelnen Patienten die Bildqualität erheblich durch Schallschatten, Artefakte oder andere Bildstörungen einschränken („Schallbarkeit“).

Wie für alle diagnostischen Methoden gilt auch für die Echokardiographie die Notwendigkeit der Ausbildung und das Weitergeben und Sammeln von Erfahrungen in der klinischen Praxis. Aufgrund der fehlenden Schädlichkeit des Ultraschalls ergibt sich die Gefahr der zu häufigen Anwendung der Echokardiographie durch unerfahrene Untersucher und des Auftretens von Fehldiagnosen. Dies kann nur durch ein adäquates Trainingsprogramm anhand der Richtlinien der Fachgesellschaften verhindert werden.

## 2 Systolische und diastolische Funktion

Obwohl die Trennung zwischen systolischer und diastolischer Funktion des Myokards oft nur technisch und artifiziell zu treffen ist und letztendlich klinisch die diastolische myokardiale Dysfunktion als integraler Bestandteil der systolischen Herzinsuffizienz betrachtet werden muss, wird hier aus systematischen Gründen die diastolische getrennt von der systolischen Dysfunktion beschrieben [2].

### 2.1 Systolische Funktion

Die Beurteilung der globalen linksventrikulären systolischen Funktion ist eine der wichtigsten Einsatzgebiete der *Echokardiographie* in der Intensivmedizin. Der geübte Untersucher schätzt die linksventrikuläre Funktion und Kinetikstörungen zunächst visuell ein. In der M-mode-Echokardiographie lassen sich in der parasternalen langen Achse die linksventrikulären Durchmesser und die Wanddicken darstellen.

**Merke:** Zur Objektivierung der linksventrikulären Funktion wird im M-mode die Verkürzungsfraction (Fractional Shortening) berechnet nach der Formel: Fractional Shortening [%] =  $\frac{LVEDD - LVESD}{LVEDD}$  [Normal: 25 – 45 %]

Eine Limitation der Bestimmung der Verkürzungsfraction liegt jedoch bei septalen und inferioren oder anderen regional unterschiedlich ausgeprägten Kinetikstörungen vor, wo es nach dieser Methode zu falsch niedrigen Werten kommt.

Die Berechnung der linksventrikulären Ejektionsfraction nach Simpson erfolgt nach der Scheibensummationsmethode im apikalen Vierkammerblick. Die Berechnung ist bei den aktuellen Echokardiographiegeräten automatisiert. Bei eingeschränkter Erkennung der En-

dokardgrenzen ist die Genauigkeit dieser Methode eingeschränkt. Durch Gabe von Echo-Kontrastmitteln lässt sich die Erkennung von Endokardgrenzen verbessern.

**Merke:** LVEF nach Simpson [%] =  $\frac{\text{enddiastolisches Volumen (EDVol)} - \text{endsystolisches Volumen (ESVol)}}{\text{EDVol}} \times 100$  [Normal > 55 %]

Des Weiteren kann als Ausdruck der systolischen Funktion der Herzindex anhand der PW-Doppler-Kurve im LVOT bestimmt werden (siehe Kapitel „Hämodynamik“). Eine weitere sensitive Methode zur Beurteilung der systolischen Funktion ist die Messung von myokardialen Geschwindigkeiten im Gewebedoppler von apikal; dies erlaubt u.a. eine Quantifizierung der longitudinalen Verkürzung. Die Registrierung von parasternal erlaubt eine Quantifizierung der radialen Verkürzung in einzelnen Segmenten [3].

Weitere echokardiographische Methoden zur Bestimmung der linksventrikulären myokardialen Funktion sind der Tei-Index und der myocardial performance index (MPI), die auch prognostische Aussagen über die Entwicklung einer reduzierten LVEF zulassen [4,5]. Diese Parameter haben jedoch noch keinen etablierten Stellenwert in der intensivmedizinischen Anwendung der Echokardiographie.

### 2.2 Diastolische Funktion

**Merke:** Als diastolische Dysfunktion wird eine vermehrte Steifigkeit des linken Ventrikels und daraus resultierend eine Relaxationsstörung bezeichnet. Per definitionem haben Patienten mit diastolischer Dysfunktion eine noch normale linksventrikuläre Ejektionsfraction, eine linksventrikuläre Hypertrophie und eine Zunahme der linksventrikulären Masse.

Als ätiologische Faktoren werden der arterielle Hypertonus und der Diabetes mellitus angese-

hen. Klinisch haben die Patienten die Symptome einer Herzinsuffizienz, ohne dass eine reduzierte LVEF nachgewiesen werden kann. Als Beispiel der isolierten diastolischen Dysfunktion sind hier die perikardiale Erkrankung und die Mitralklappenstenose zu erwähnen.

Die *Echokardiographie* spielt eine Schlüsselrolle bei der non-invasiven Diagnose der diastolischen Dysfunktion. Nachdem eine erhaltene LVEF ( $> 45\%$ ) nachgewiesen wurde, folgt die Beurteilung des transmitralen Flussprofils in der Doppler-Echokardiographie. Beim Gesunden zeigen sich zwei Komponenten des transmitralen diastolischen Einstroms: Die E- (= early, früher Einstrom) und die spätdiastolische A- (= atriale Kontraktion) Welle, wobei die E-Welle höhere maximale Geschwindigkeiten als die A-Welle hat. Die E-Welle hängt sehr

stark von der linksatrialen Vorlast ab. Bei der Pseudonormalisierung des transmitralen Flussprofils ist wie beim Gesunden  $E > A$ . Zur Differenzierung sollte zusätzlich eine Tissue-Doppler-Analyse des Mitralklappen-Annulus sowie eine Doppler-Analyse des Pulmonalvenen-Einstroms in den linken Vorhof durchgeführt werden, um zwischen normalem und pseudonormalem Einstrom zu differenzieren. In der Tabelle 1 sind die unterschiedlichen Muster der linksventrikulären Füllung dargestellt [7].

Bei Vorhofflimmern entfällt die A-Welle im transmitralen Einstrom. Um eine Aussage über die diastolische Funktion bei Vorhofflimmern zu machen, wird  $E/E'$  berechnet oder die transmitrale Propagationsgeschwindigkeit gemessen.

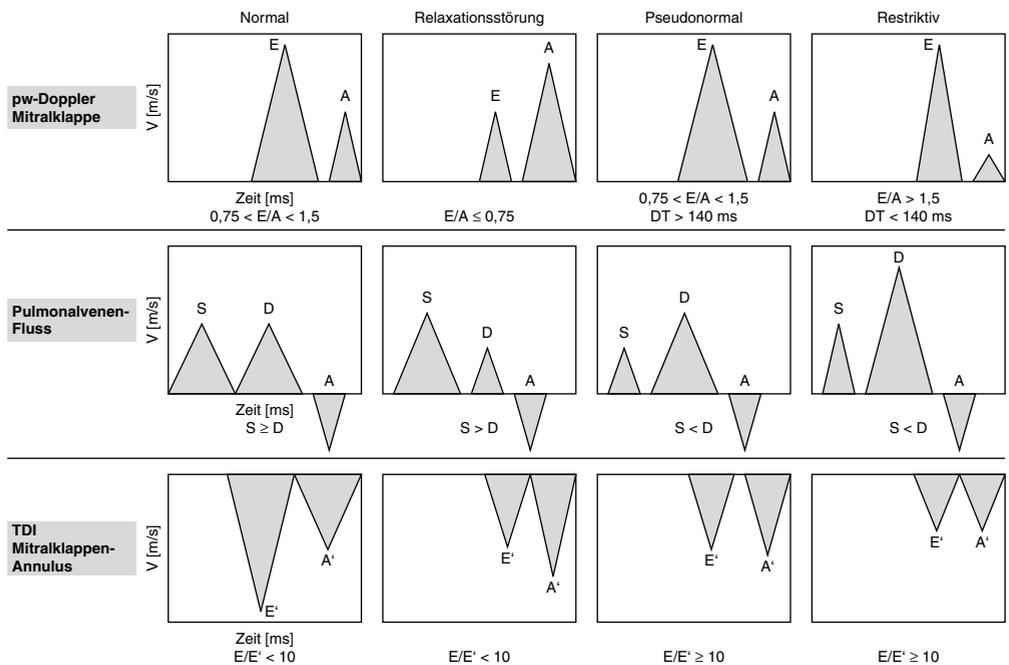


Abb. 1: Klassifizierung der diastolischen Funktion

Tab. 1: Die diastolische Dysfunktion wird in 4 Stadien eingeteilt [6].

Diastolische Dysfunktion		Echokardiographische Kriterien
Stadium 1	Reduzierte Relaxation	$E / A < 0,75$ $DT > 200 \text{ msec}$
Stadium 2	Pseudonormalisierung	$E = A$ $DT < 150 \text{ msec}$ $E / E' > 10$
Stadium 3	Reversibel restriktiv	$E / A > 1,5$ $E / E' > 10$
Stadium 4	Fixiert restriktiv	Wie Stadium 3, jedoch unter Valsalva-Manöver nicht reversibel

### 3 Hämodynamik

Mittels echokardiographischer Methoden lassen sich eine Vielzahl hämodynamischer Parameter non-invasiv abschätzen. Dadurch kann eine schnelle Ermittlung der hämodynamischen Situation des Patienten und ggf. der Verzicht auf invasive Messungen erreicht werden. In Tabelle 2 sind die verschiedenen hämodynamischen Parameter dargestellt, die mittels Echokardiographie berechnet werden können [8 – 11]. Es ist zu beachten, dass eine systema-

tische Überprüfung der Korrelation der echokardiographischen und der invasiven Messungen nicht für alle Parameter erfolgt ist. Die non-invasiv gemessenen Parameter eignen sich eher zur intra-individuellen Verlaufskontrolle. Goldstandard der hämodynamischen Messungen bleibt in der Intensivmedizin der Swan-Ganz-Katheter. Vor- und Nachlast, Klappeninsuffizienzen und -stenosen sowie die linksventrikuläre Funktion lassen sich aber zuverlässig und klinisch vertretbar echokardiographisch abschätzen.

Tab. 2: Übersicht über echokardiographisch bestimmbare hämodynamische Parameter [8–11]

Hämodynamischer Parameter	Abkürzung	Messung	Normalwerte	Lit.
Cardiac Output	CO	Geschwindigkeits-Zeit-Integral des PW-Doppler im LVOT		[8]
Linksventrikulärer end-diastolischer Druck	LVEDP	$LVEDP = 1,9 + (1,24 E/E')$ ( $E/E'$ : E-transmitral/ $E'$ -septaler Mitralring mittels Tissue Doppler)	$E/E' > 10$ entspricht einem PCWP $> 15 \text{ mmHg}$ , Sensitivität 92 %, Spezifität 80 %	[9]
		$[0,93 \text{ Dez. Rate VE} - 0,15 \text{ syst. fraction of PVF} + 0,03 + 0,87 E/A + 16,2] \text{ mmHg}$		
Zentraler Venendruck	ZVD	5 mmHg bei V.cava-Kollapsindex (bei Inspiration) von $> 45 \%$ , 9 mmHg bei Index 35 – 45 %, 16 mmHg bei Index $< 35 \%$		[8]