

Inhaltsverzeichnis

I Grundlagen

1 Physikalische und technische Grundlagen

F. A. Flachskampf

1.1	Schall	3	1.3.2	Kontinuierlicher Doppler.	13
1.2	Echokardiografie	4	1.3.3	Gepulster Doppler	14
1.2.1	Prinzip der Methode	4	1.3.4	Farbdoppler.	16
1.2.2	Gewinnung morphologischer Daten . . .	5	1.3.5	Strömungsdynamische Grundbegriffe . .	17
1.2.3	Darstellungsweisen	6		Anwendungen des Satzes von der	
1.2.4	Schallfeld	8		Erhaltung der Masse auf Strömungs-	
1.2.5	Räumliche und zeitliche Auflösung . . .	9		querschnittverengungen	17
1.2.6	Harmonische Bildgebung	9		Anwendung des Satzes von der Erhaltung	
1.2.7	Kompression („dynamic range“)	10		der Energie: Berechnung von Gradienten	
1.2.8	Dokumentation.	11		aus Strömungsgeschwindigkeiten	18
	Analoge Speicherung	11		Laminare und turbulente Strömung . . .	19
	Digitale Bildspeicherung			Andere Ansätze zur Quantifizierung	
	und -übermittlung	11		von Fluss und Strömungsverengungen .	20
1.3	Dopplerechokardiografie	12	1.4	Bioeffekte von Ultraschall	21
1.3.1	Prinzip.	12			

2 Digitale Verarbeitung und Speicherung echokardiografischer Daten

W. Fehske und H.-J. Goldschmidt

2.1	Hintergrund	23		DICOM-kompatible Vernetzung	28
2.2	Digitale Aufzeichnung von echokardio-			DICOM-definierter Arbeitsablauf	28
	grafischen Untersuchungen	24		Konformität mit dem	
2.2.1	Postprocessing echokardiografischer			DICOM-3.0-Standard	28
	Signale	24		Allgemeine Standards.	28
2.2.2	Digitale Aufzeichnung von Bildschirm-			Heutige Bedeutung des DICOM-Standards	
	informationen	26		für die medizinischen Anwender,	
	Speicherbedarf	26		Chancen und Limitationen	29
	Datenkompression durch Selektion		2.3	Grundelemente eines digitalen	
	einzelner Bildschleifen bzw. Loops	26		Echokardiografielabors	30
	Digitale Datenkompression	26	2.3.1	Basisausstattung und Arbeitsablauf . . .	30
	Langzeitspeichermedien	27	2.3.2	Erweiterung der Grundfunktionen	30
2.2.3	DICOM-Standard.	27	2.3.3	Umstellung von einem konventionellen	
	DICOM-Bildformate.	27		auf ein digitales Echolabor	31
	DICOM-kompatible Speichermedien . . .	28			

II Neuere Techniken

3 Transösophageale Echokardiografie

H. Lethen

3.1 Technische Voraussetzungen	35		
3.1.1 Entwicklung der transösophagealen Echokardiografie	35	3.5.2	Linksventrikulärer Ausflusstrakt und Aortenklappe
3.1.2 Charakteristischer Sondaufbau und Schallkopftechnologie	36		44
3.1.3 Dreidimensionale Rekonstruktion	37		3.5.2 Schnittführung aus dem unteren Ösophagus
3.1.4 Sicherheitsbestimmungen	38		45
3.1.5 Reinigung und Gerätekontrolle	38		Koronarvenensinus und Trikuspidal-klappe
3.2 Indikationen, Kontraindikationen und Komplikationen	39		45
3.2.1 Indikationen der TEE	39		Kurzachsendarstellung der Mitralklappe und linksventrikulärer Ausflusstrakt
3.2.2 Kontraindikationen der TEE	39	3.5.3	45
3.2.3 Nebenwirkungen und Komplikationen	40		Schnittführung aus dem mittleren Ösophagus
3.3 Vorbereitung, Nachbetreuung und Dokumentation	40		46
3.3.1 Anforderungen an den Untersucher	40		Vier- und Zweikammerblick, linksventrikulärer Ausflusstrakt und Mitralklappe
3.3.2 Aufklärung, Medikation und Nachbetreuung	40		46
3.3.3 Dokumentation und Archivierung	41		Linker und rechter Vorhof, Vorhofseptum
3.4 Systematische Untersuchung	42	3.5.4	48
3.4.1 Ösophagusintubation	42		Schnittführung aus dem oberen Ösophagus
3.4.2 Schnittebenen bei der TEE-Standarduntersuchung	42		49
3.5 Systematik der Schnittebenen	44		Rechtsventrikulärer Ausflusstrakt und Aortenklappe (kurze Achse)
3.5.1 Transgastrische Schnittebene	44		50
Linker und rechter Ventrikel	44		Aortenklappe (Längsachse) und Aorta ascendens
			50
			Linkes Herzohr
			50
			Obere Hohlvene und rechtes Herzohr
			51
			Pulmonalarterie und Pulmonalklappe
			52
			Lungenvenen
			52
			Koronararterien
			53
			Thorakale Aorta
			54

4 Quantifizierung der Myokardfunktion

J.-U. Voigt

4.1 Entwicklung der Methoden	57	4.2.5	Mustererkennungsverfahren (Tracking)	72
4.2 Technische Grundlagen	58		Funktionsprinzip	72
4.2.1 Physikalische Größen der Myokardfunktion	58		Geräteeinstellung und mögliche Fehlerquellen	73
Geschwindigkeit und Bewegung	58		Bilddatenanalyse mittels Tracking	74
Verformung, Spannung, Elastizitätsmodul	58	4.2.6	Funktionsanalyse des linken Ventrikels mittels dreidimensionaler Echokardiografie	74
Rotation, Twist, Torsion	58		3 D-Datenakquisition	74
Ejektionsfraktion, Global Strain	59		3 D-Funktionsanalyse durch Konturerkennung	75
Abgeleitete Größen	59		3 D-Funktionsanalyse durch Mustererkennung („Tracking“)	76
4.2.2 Techniken der Funktionsanalyse	59		Multiplane Bildgebung mittels 3 D-Schallköpfen	76
4.2.3 2 D-Bild und M-Mode	60		Stärken und Schwächen verschiedener Messverfahren der regionalen Myokardfunktion	78
Funktionsprinzip	60	4.2.7		
Probleme und Fehlerquellen	60			
4.2.4 Gewebedopplerverfahren	60	4.2.8	Moderne Methoden zur mehrdimensionalen Bewegungsanalyse des Blutes	78
Funktionsprinzip	60		Grundlagen	78
Wahl des Gewebedopplerverfahrens	64			
Erfassbare Bewegungskomponenten	65			
Datenakquisition im Spektralgewebedoppler	65			
Datenakquisition im Farbgewebedoppler	65			
Auswertung von Farbdopplerdaten	67			

	Tracking des Blutflusses	78		Physiologische Stressreaktion	90
	Flussmusteranalyse durch			Ischämieereaktion	91
	Farbdopplerauswertung	78		Vitalitätsdiagnostik	91
4.3	Normale Myokardfunktion	80	4.4.3	Risikostratifizierung	91
4.3.1	Faserarchitektur und räumliche		4.4.4	Diastolische Funktionsstörung	92
	Bewegung des Herzens	80		Hypertrophie	93
4.3.2	Myokardgeschwindigkeit			Athleten, hypertoniebedingte Hyper-	
	und -bewegung	81		trophie und hypertrophe Kardio-	
	Kurvenformanalyse und typische			myopathie	93
	Messwerte	81		Andere Myokarderkrankungen	
	Normwerte und physiologische			mit Hypertrophie	94
	Einflussgrößen	83	4.4.5	Restriktive und konstriktive	
4.3.3	Myokardverformung			Kardiopathien	94
	und -verformungsrate	84		Restriktive Störungen	94
	Unterschiede zwischen Geschwindigkeits-			Amyloidose	94
	und Verformungsmessung	84	4.4.6	Konstriktion	94
	Interpretation von Strain- und			Klappenvitien	95
	Strain-Rate-Daten	84		Vitien mit Druckbelastung	95
	Kurvenformanalyse und typische			Vitien mit Volumenbelastung	95
	Messwerte	84	4.4.7	Herztransplantation	95
	Normalbefunde und physiologische		4.4.8	Chemo- und Radiotherapie	95
	Einflussgrößen	86	4.4.9	Erregungsleitungsstörungen	96
4.3.4	Weitere Parameter	86		Präexzitationssyndrome	96
	Global Strain	86		Schenkelblockbilder	96
	Synchronizitätsparameter	87		Resynchronisationstherapie	96
	Ventrikuläre Torsion	87	4.4.10	Myokardbeteiligung bei anderen	
4.3.5	Rechter Ventrikel	87		Erkrankungen	100
	Normale RV-Funktion	87		Diabetes mellitus	100
4.4	Gestörte Myokardfunktion	88	4.4.11	Gestörte RV-Funktion	100
4.4.1	Ischämische Herzerkrankung	88		Druckbelastung	100
	Akute Ischämie	88		Volumenbelastung	101
	Chronische Ischämie, Narbengewebe	90		Ischämie	101
4.4.2	Myokardfunktion bei			Rechtsventrikuläre Dysplasie	101
	Belastungsuntersuchungen	90	4.5	Zusammenfassung	101

5 Kontrastechokardiografie

H. von Bibra

5.1	Einsatzgebiete im Überblick	105	5.6	Myokardiale Kontrastecho-	
5.2	Ultraschallkontrastmittel	105		kardiografie	114
5.2.1	Intraarterielle Kontrastmittel	106	5.6.1	Physikalische Effekte von Mikro-	
5.2.2	Intravenöse Linksherzkontrastmittel	106		bläschen im akustischen Feld	115
5.3	Shuntdiagnostik	107		Lineare und nichtlineare Reaktionen.	115
5.3.1	Vorhofseptumdefekt	107		Intermittent Imaging	115
5.3.2	Persistierendes Foramen ovale	109	5.6.2	Aufnahmetechniken	116
5.3.3	Pulmonale AV-Fistel	109		High-Power-Aufnahmetechniken	116
5.3.4	Persistierende linke obere Hohlvene	110		Low-Power-Aufnahmetechniken	
5.4	Kontrastverstärkung von Farb- und			(Real Time Perfusion Imaging).	117
	Spektraldoppler	111	5.6.3	Limitationen für die Abbildung	
5.4.1	Unzureichende Flussdetektion			von Mikrobläschen	118
	durch Sensitivitätsprobleme	111	5.6.4	Visuelle vs. quantifizierende	
5.4.2	Klinische Anwendungsbereiche	111		Beurteilung	118
5.5	Verbesserte Endokarderkennung	113	5.6.5	Erprobte klinische Anwendungsgebiete	
5.5.1	Bestimmung der globalen links-			Akutes Koronarsyndrom	120
	ventrikulären Funktion	113		Chronisches Koronarsyndrom	121
5.5.2	Bestimmung der regionalen links-			Vitalität und „hibernating myocardium“	121
	ventrikulären Funktion	114		Metabolisches Syndrom	
				ohne und mit KHK	121
			5.6.6	Ausblick	122

6 Spezielle Techniken der Myokardkontrastechokardiografie

H. Becher, S. Kuntz-Hehner und K. Tiemann

6.1	Harmonic Imaging: Prinzip	126	6.4.2	Entstehung von Dopplersignalen durch Änderungen/Auflösung der Mikrobläschen	133
6.2	Harmonic Imaging ohne Kontrastmittel: Tissue Harmonic Imaging/Puls-inversionsverfahren	126	6.4.3	Selektive Abbildung und Quantifizierung von Kontrastmittel im Gewebe	133
6.2.1	Entstehung harmonischer Frequenzen durch nicht lineare Ausbreitung des Schalls im Gewebe	126	6.4.4	Indikationen und Untersuchungstechnik	135
6.2.2	Verbesserung der Bildqualität durch Registrierung der zweiten harmonischen Schwingung	127	6.4.5	Limitationen	135
6.2.3	Untersuchungstechnik und Indikationen für Tissue Harmonic Imaging und Puls-inversion	129	6.5	Myokardkontrastechokardiografie	137
6.2.4	Limitationen im Nah- und Fernfeld	130	6.5.1	Beurteilung der Myokardperfusion – Prinzip	137
6.3	Harmonic Imaging mit Kontrastmittel I: Harmonic B-Mode/Pulsinversionsverfahren	130		Vitalitätsdiagnostik	137
6.3.1	Entstehung harmonischer Frequenzen durch asymmetrische Schwingungen der Kontrastbläschen	130		Ischämiediagnostik	137
6.3.2	Untersuchungstechnik und Indikationen für kontrastverstärktes Harmonic B-Mode/Pulsinversion	131	6.5.2	Myokardkontrastechokardiografie – eine Ergänzung und Alternative zur konventionellen Stressechokardiografie Vereinfachter Nachweis signifikanter Koronarstenosen	138
6.3.3	Limitationen durch Schallabschwächung und Auflösung der Mikrobläschen	132		Ischämieereaktion nicht notwendig	138
6.4	Harmonic Imaging mit Kontrastmittel II: Power-Doppler/Power-Pulsinversion/Power-Modulation	133		Vitalitäts-(Ischämie-)Diagnostik ohne Stress	139
6.4.1	Bedeutung der Power	133	6.5.3	Praxis der Myokardkontrastechokardiografie	139
				Geeignete Ultraschallverfahren	139
			6.5.4	Normale Myokardperfusion	140
				Pathologische Befunde bei der Myokardkontrastechokardiografie	142
				Reversibler Perfusionsdefekt	142
				Fixierter Perfusionsdefekt	142
			6.6	Fazit	144

7 Zukunftsperspektiven in der Kontrastechokardiografie

K. Tiemann, J. Stypmann, A. Ghanem

7.1	Physikalische Grundlagen	145	7.2.3	Sonothrombolyse	148
7.2	Potenzielle Anwendungsgebiete	145	7.2.4	Sonoporation	148
7.2.1	Molekulare Bildgebung	145	7.2.5	Gentherapie	149
7.2.2	Nutzung der Gewebeeffekte von Microbubbles	147			

8 3 D-Echokardiografie

A. Franke

8.1	Technik	152	8.2	Klinische Einsatzgebiete	157
8.1.1	Aufnahmetechniken	152	8.2.1	Klappenvitien	157
	3 D-Rekonstruktion	152		Mitralklappeninsuffizienz	157
	Echtzeit-3 D-Echokardiografie	153		Mitral- und Aortenklappenstenosen	159
8.1.2	Auswertung der 3 D-echokardiografischen Daten	154	8.2.2	Angeborene Herzfehler	159
	Qualitative, morphologische Beurteilung	154	8.2.3	Linksventrikuläre Volumina und Massen	160
	Quantitative Auswertung	155	8.2.4	Linksventrikuläre Wandbewegungsstörungen und Kontraktionsablauf	160
				Regionale Wandbewegungsanalyse/ 3 D-Stressechokardiografie	161

8.2.5	Asynchroniebeurteilung des linken Ventrikels.	161	8.3	Limitationen	163
	Peri-interventioneller Einsatz der Echtzeit-3 D-Echokardiografie	162	8.4	Zusammenfassung	163

9 Echokardiografische Gewebecharakterisierung

C. E. Angermann und T. Hayes

9.1	Prinzip und Entwicklung	165	9.3.1	Koronare Herzkrankheit	171
9.2	Methoden und Gerätetechnik	168		Integrierte echokardiografische Diagnostik.	171
9.2.1	Methoden zur echokardiografischen Gewebecharakterisierung.	168	9.3.2	Kardiomyopathien	175
	Myokardiale Backscatter-Analysen	168		Dilatative Kardiomyopathie (DCM).	175
	Tissue Harmonic Imaging.	169		Diabetes mellitus, Hypertonie	176
	Speckle Tracking.	169		Hypertrophe Kardiomyopathie (HCM).	177
	Dopplertechniken	169		Kardiale Amyloidose, Hämochromatose, Morbus Fabry	177
	Dreidimensionale Gewebe- charakterisierung	169	9.3.3	Myokarditis, akute Abstoßungsreaktion.	179
9.2.2	Gerätetechnische Weiterentwicklungen.	169	9.3.4	Intrakardiale Raumforderungen	180
9.2.3	Determinanten der myokardialen akustischen Eigenschaften	170	9.3.5	Ultraschallbasierte Gewebecharakteri- sierung an arteriellen Gefäßen.	180
9.3	Echokardiografische Gewebe- charakterisierung bei kardio- vaskulären Erkrankungen	171	9.4	Schlussfolgerung	182

III Kardiovaskuläre Strukturen

10 Linker Ventrikel: Morphologie, Funktion und pathologische Veränderungen

F. A. Flachskampf und T. Buck

10.1	Normale Morphologie des linken Ventrikels	187		Zirkumferenzielle Verkürzungsfraction.	195
10.1.1	Form und Charakteristika.	187		Berechnung der linksventrikulären Druckanstiegs- und Abfallgeschwindig- keit (dp/dt)	196
10.1.2	Ein- und Ausflusstrakt	187		Tei-Index (Myocardial Performance Index).	196
10.1.3	Segmententeilung	188		Gewebedopplerparameter und Verformungsbildgebung; Torsion	196
10.1.4	Schallreflexmuster des Myokards	189		Herzzeitvolumen	197
10.2	Pathologische Strukturen im linken Ventrikel und Ausflusstrakt	190	10.4.2	Regionale systolische Funktion	198
10.2.1	Pathologische Strukturen im Ventrikel.	190		Regionale Wandbewegung	198
	Thromben	190		Ursachen von Wandbewegungs- störungen	199
	Tumoren, Vegetationen und Fremdkörper	190	10.4.3	Diastolische Funktion	200
	Aberrierende Sehnenfäden.	190		„Diastolische Herzinsuffizienz“	200
10.2.2	Pathologische Veränderungen im Ausflusstrakt	191	10.4.4	Diastolische globale Funktionsparameter Transmitrales Einstromprofil	201
	Systolische Vorwärtsbewegung der Mitralklappe.	191		Isovolumische Relaxationszeit (IVRT)	204
	Subaortale Membran.	191		Pulmonalvenöses Einstromprofil	205
10.3	Wanddicke, Masse, Hypertrophie	191		Gewebedoppler	206
10.3.1	Hypertrophietypen	191		Diastolische Belastungsuntersuchung	206
10.3.2	Berechnung der Muskelmasse.	192		Messung der Ausbreitungsgeschwin- digkeit des Einstroms in den linken Ventrikel: „velocity of flow propagation“	206
10.4	Funktion des linken Ventrikels	194		Praktisches Vorgehen	206
10.4.1	Globale systolische Funktion.	194			
	Volumina und Ejektionsfraction	194			

10.4.5	Variabilität quantitativer Parameter der linksventrikulären Morphologie und Funktion	208	10.5.2	Morphologie und Funktion des linken Ventrikels bei arterieller Hypertonie. . .	212
10.5	Pathologische Veränderungen des linken Ventrikels bei KHK und anderen Erkrankungen	209	10.5.3	Linksventrikuläre Hypertrophie bei Athleten	214
10.5.1	Linker Ventrikel bei koronarer Herzkrankheit	209	10.5.4	Kardiomyopathie bei Diabetes mellitus. .	214
	Akutes Koronarsyndrom	209	10.5.5	Linker Ventrikel bei Adipositas	214
	Komplikationen des Myokardinfarkts durch Myokardruptur	210	10.5.6	Morphologie und Funktion des linken Ventrikels bei Herzinsuffizienz	214
	Chronische KHK und Umbauvorgänge nach Myokardinfarkt	212	10.5.7	Myokarditis und andere entzündliche Myokarderkrankungen	217

11 Stressechokardiografie zur Ischämiediagnostik

R. Hoffmann

11.1	Stellenwert in der Ischämiediagnostik	221	11.4.2	Ursachen für eine falsche Beurteilung eines Belastungsechokardiogramms . . .	232
11.2	Indikationen	222	11.5	Diagnostische Genauigkeit	232
11.3	Verschiedene Belastungsverfahren . . .	222	11.5.1	Belastungsechokardiografie bei koronaren Interventionen	234
11.3.1	Physikalische Belastungsechokardiografie	222	11.6	Prognostische Genauigkeit	236
11.3.2	Pharmakologische Belastungsverfahren . .	224	11.6.1	Prognostischer Wert vor gefäßchirurgischer Operation	236
	Dobutamin-Belastungsechokardiografie . .	224	11.6.2	Prognostischer Wert nach Myokardinfarkt	236
	Adenosin-Belastungsechokardiografie . .	226	11.6.3	Prognostischer Wert bei chronischer stabiler koronarer Herzkrankheit	237
	Dipyridamol-Belastungsechokardiografie	227	11.7	Neue Entwicklungen	238
11.3.3	Transösophageale Vorhofstimulation . . .	227	11.7.1	Einsatz der Kontrastechokardiografie, des Harmonic Imaging und der 3 D-Echokardiografie	238
11.3.4	Transösophageale Belastungsechokardiografie	228	11.7.2	Quantifizierung von belastungsechokardiografischen Befunden	239
11.3.5	Wahl des optimalen Belastungsverfahrens	229			
11.4	Interpretation von Belastungsechokardiogrammen	229			
11.4.1	Beurteilung von regionalen Wandbewegungsstörungen	231			

12 Vitalitätsdiagnostik

U. Nixdorff

12.1	Entwicklung und Bedeutung	243		Limitationen	250
12.2	Pathophysiologische Grundlagen	243	12.4.3	Dipyridamol-Echokardiografie	251
12.3	Klinischer Nutzen und Indikationen . .	245	12.4.4	Ergometrische Belastungsechokardiografie	251
12.4	Echokardiografische Nachweisverfahren	246	12.4.5	Nitrat-Echokardiografie	251
12.4.1	Ruheechokardiografie	246	12.4.6	Gewebedoppler-Echokardiografie	251
12.4.2	Dobutamin-Echokardiografie	247	12.4.7	Myokard-Kontrastechokardiografie . . .	252
	Entwicklung der Methode	247	12.4.8	Vergleich zu nicht echokardiografischen Methoden	252
	Prädiktion der LV-Funktionserholung nach Revaskularisation	247		Nuklearmedizinische Techniken	252
	Differenzierung von Stunned und Hibernating Myocardium	248		Magnetresonanztomografie (MRT)	253
			12.5	Schlussfolgerungen	254

13 Dilatative Kardiomyopathie

R. Engberding und B. Gerecke

13.1	Definition	257	13.3.5	Transösophageale Echokardiografie . . .	268
13.2	Klinik, Diagnostik, Differenzial-diagnosen	257	13.4	Komplikationen	268
13.2.1	Klinische Befunde	257	13.4.1	Mitral- und Trikuspidalinsuffizienz. . .	268
13.2.2	Diagnostik	257	13.4.2	Thromben.	269
13.2.3	Differenzialdiagnosen	258	13.5	Prognoseparameter	271
13.3	Echokardiografische Befunde	259	13.6	Seltenere Kardiomyopathien	272
13.3.1	M-Mode-Echokardiografie	260	13.6.1	Arrhythmogene rechtsventrikuläre Kardiomyopathie (ARVC).	272
13.3.2	2 D-Echokardiografie	262	13.6.2	Unklassifizierte Kardiomyopathie, Isolated Noncompaction of Ventricular Myocardium (INVM), persistierende isolierte myokardiale Sinusoide	272
13.3.3	3 D-Echokardiografie und Gewebedoppler	264	13.6.3	Takotsubo-Kardiomyopathie	273
13.3.4	Dopplerechokardiografie	265			
	Systolische Flussprofile	265			
	Diastolische Flussprofile.	266			

14 Hypertrophe Kardiomyopathie

S. Reith und H. G. Klues

14.1	Pathophysiologie	277	14.2.5	Transösophageale Echokardiografie bei HCM	294
14.2	Echokardiografische Befunde	282	14.2.6	Gewebedoppler bei HCM	294
14.2.1	2 D-Echokardiografie bei HCM	282	14.2.7	Echokardiografie nach Myektomie/Myotomie bei HCM	295
14.2.2	M-Mode-Echokardiografie bei HCM.	285	14.2.8	Kontrastmittelechokardiografie bei HCM	297
14.2.3	SAM-Phänomen	286			
14.2.4	Dopplerechokardiografie bei HCM.	289			

15 Restriktive Kardiomyopathien

F. A. Flachskampf

15.1	Pathophysiologie und Ätiologie	300	15.2.3	Idiopathische restriktive Kardiomyopathie, Endomyokardfibrose (Endokardfibroelastose), Löffler-Endokarditis, eosinophile Endokarditis	305
15.2	Echokardiografisches Bild	301	15.3	Differenzierung restriktive Kardiomyopathie – konstriktive Perikarditis	305
15.2.1	Amyloidose	301			
15.2.2	Hämochromatose und Sarkoidose	302			

16 Erkrankungen der Mitralklappe

E. Schwammenthal

16.1	Funktionelle Anatomie des Mitralklappenapparates	308		Kontinuitätsgleichung.	316
16.1.1	Mitralanulus.	308		Flussfläche	316
16.1.2	Mitralsegel.	310		Proximale Flusskonvergenzmethode. . .	316
16.1.3	Papillarmuskeln und Chordae.	310		Wertung	318
16.2	Untersuchung der Mitralklappe	311	16.3.3	Hämodynamische Auswirkungen der Mitralkstenose.	318
16.3	Mitralstenose	312	16.3.4	Echokardiografie und Valvuloplastie. . .	318
16.3.1	Rheumatische Mitralstenose.	312	16.4	Mitralklappeninsuffizienz	319
16.3.2	Quantifizierung der Mitralstenose.	312	16.4.1	Quantifizierung der Mitralklappeninsuffizienz	319
	Gradientenbestimmung.	312		Regurgitationsjet und Jetfläche	319
	Planimetrie	313		Proximaler Jetdurchmesser	320
	Druckhalbwegszeitmethode.	314		Proximale Flusskonvergenzmethode. . .	321

Konventionelle Dopplerechokardiografie	322	16.4.7	Rolle der Echokardiografie bei Mitralklappenchirurgie	336
CW-Doppler	322	16.4.8	Mitralklappenregurgitation bei hypertropher Kardiomyopathie	336
Pulmonalvenöser Fluss	322	16.4.9	Mitralklappenapparat bei dilatativer Kardiomyopathie – funktionelle Mitralklappenregurgitation	338
Automatische Quantifizierung des Farbdopplersignals	323		Linksventrikuläre Dilatation vs. Dysfunktion	338
Wertung	323		Ventrikuläre vs. anuläre Dilatation	340
16.4.2 Hämodynamische Auswirkungen der Mitralsuffizienz	325		Konstante vs. dynamische Regurgitationsöffnung	341
16.4.3 Integrativer Ansatz zur Schweregradbeurteilung der Mitralklappeninsuffizienz	326		Mitralklappeninsuffizienz bei koronarer Herzkrankheit	344
16.4.4 Mechanismen der Mitralklappeninsuffizienz (Prinzip)	327		Funktionelle Mitralklappeninsuffizienz bei regionaler Wandbewegungsstörung – „Papillarmuskelsyndrom“	344
16.4.5 Rheumatische Mitralklappeninsuffizienz	327		Papillarmuskeldruptur	344
16.4.6 Mitralklappenprolaps – myxomatöse Mitralklappenerkrankung	328	16.4.10	Mitralklappeninsuffizienz bei infektiöser Endokarditis	346
Diagnostische Kriterien	328	16.4.11	Mitralringkalzifizierung	346
Papillarmuskelszug	330	16.5	Angeborene Mitralklappenerkrankungen	346
Mechanismus von Prolaps und Mitralklappenregurgitation	331			
Prolaps vs. Flail	331			
Anatomisch exakte Diagnose des prolabierenden Mitralsegels	332			
17 Erkrankungen der Aortenklappe				
<i>W. Voelker</i>				
17.1 Aortenstenose	349		Rationale der Stressechokardiografie bei Patienten mit Aortenstenose	366
17.1.1 Prävalenz und Ätiologie	349	17.1.8	Therapieentscheidung bei Aortenstenosen – Bedeutung der Echokardiografie	368
17.1.2 Klinische Fragestellung	349		Normale LV-Funktion	368
17.1.3 Klappenmorphologie	350		Eingeschränkte LV-Funktion	368
Bikuspide vs. trikuspide Klappe	350	17.2 Aorteninsuffizienz		369
Sklerose vs. Stenose einer Aortenklappe	351	17.2.1	Klinische Fragestellung	369
Verkalkungsgrad	352		„Primärdiagnostik“	369
17.1.4 Quantifizierung des Stenosegrades	352		Ätiologie der Insuffizienz	369
Separation der Klappensegel	353		Akute vs. chronische Aorteninsuffizienz	369
Maximale Flussgeschwindigkeit	353	17.2.2	Echokardiografische Untersuchungsparameter	370
Maximaler und mittlerer Druckgradient	354	17.2.3	Quantifizierung der Aorteninsuffizienz	370
Ursachen für Diskrepanzen zwischen Doppler- und Kathetergradienten	355		Methoden und Geräteeinstellungen	370
Aortenklappenöffnungsfläche	357		Farbfläche	371
Zusätzliche Dopplerparameter	360		Druckhalbwegszeit	371
Zusammenfassung – Stellenwert der Dopplerechokardiografie	362		Fluss in der Aorta thoracalis	371
17.1.5 Prognose der Aortenstenose – Stellenwert der Echokardiografie	362		Vena contracta	372
Bedeutung des initialen Stenosegrades	362		Direkte Darstellung der Regurgitationsfläche	374
Bedeutung der Progressionsgeschwindigkeit	363		Quantitativer Doppler	374
17.1.6 LV-Remodeling bei Aortenstenosen	364		Proximale Konvergenzzone	375
Pathomechanismus	364	17.2.4	Zusammenfassung	376
Stellenwert der Echokardiografie	364		Therapieentscheidung bei Aorteninsuffizienz – Bedeutung der Echokardiografie	377
17.1.7 Belastungs-/Stressechokardiografie bei Aortenstenosen	365			
Körperliche Belastung	365			
Stressechokardiografie mit Dobutamin	365			
Einfluss des transvalvulären Flusses auf die Aortenklappenöffnungsfläche	365			

18 Klappenprothesen

H. Baumgartner

18.1	Stellenwert der Echokardiografie	383	18.4.5	Kippscheibenprothesen	413
18.2	Klappentypen und operative Techniken des Klappenersatzes	384	18.4.6	Kugelprothesen	414
18.2.1	Mechanische Prothesen	384	18.5	Aspekte der Klappenposition	415
	Kugelprothese	384	18.5.1	Aortenposition	415
	Doppelflügelprothese	384	18.5.2	Mitralposition	415
	Kippscheibenprothesen	384	18.5.3	Trikuspidalposition	416
18.2.2	Biologische Prothesen	386	18.5.4	Pulmonalposition	416
	Schweineklappen	386	18.5.5	Klappentragendes Conduit	416
	Perikardprothesen	386	18.6	Echokardiografie bei prothesen-assoziierten Komplikationen	417
	Homograft	386	18.6.1	Prothesenfunktionsstörung durch Thrombose oder Pannusbildung	417
	Autograft	386	18.6.2	Klappenthrombose ohne Funktionsstörung	418
18.3	Methodische Grundlagen zur Beurteilung von Klappenprothesen	387	18.6.3	Prothesenendokarditis	418
18.3.1	Bildgebende Methoden	387	18.6.4	Paravalvuläre Insuffizienz	419
	2 D-Echokardiografie	387	18.6.5	Prothesenversagen	420
	M-Mode-Echokardiografie	388		Bioprothesendegeneration	420
18.3.2	Dopplersonografische Funktionsbeurteilung von Klappenprothesen	388		Versagen von mechanischen Prothesen	421
	Transvalvuläre Flussgeschwindigkeiten und Druckgradienten	389	18.6.6	Operationstechnische Probleme	421
	Berechnung der Klappenöffnungsfläche	403	18.7	Echokardiografie nach Klappenersatz – klinische Aspekte	422
	Druckhalbwegszeit	404	18.7.1	Übersicht über die möglichen Probleme	422
	Insuffizienz von Klappenprothesen	405	18.7.2	Problembezogene Echokardiografie	422
18.3.3	Transösophageale Echokardiografie – Rolle bei Herzklappenersatz	408	18.7.3	Wann und wie oft Echokontrollen nach Klappenersatz?	423
18.3.4	Belastungsechokardiografie	409	18.8	Echokardiografie und katheter-gestützte Aortenklappenimplantation	423
18.4	Echokardiografische Beurteilung der verschiedenen Typen von Klappenersatz	409	18.8.1	Patientenselektion für TAVI	424
18.4.1	Homograft und Autograft („Ross-Operation“)	409	18.8.2	Rolle der Echokardiografie in der Patientenselektion	424
18.4.2	Gerüsttragende Bioprothesen	410	18.8.3	Rolle der Echokardiografie während der Intervention	425
18.4.3	Gerüstfreie Bioprothesen	411	18.8.4	Rolle der Echokardiografie nach TAVI	425
18.4.4	Doppelflügelklappen	411			

19 Rechtsherzerkrankungen

H. Lambert und O. Ekin

19.1	Trikuspidalklappe	430	19.3	Abschätzung einer pulmonalen Hypertonie	436
19.1.1	Echokardiografische Darstellbarkeit	430	19.3.1	Trikuspidalinsuffizienzmethode	436
19.1.2	Trikuspidalstenose	430	19.3.2	Pulmonalklappe und Pulmonalisflussprofil	437
19.1.3	Trikuspidalinsuffizienz	431	19.4	Akutes und chronisches Cor pulmonale	438
19.1.4	Trikuspidalprolaps	432	19.4.1	Akute Lungenembolie	438
19.1.5	Trikuspidalendokarditis	433	19.4.2	Chronisches Cor pulmonale	440
19.2	Pulmonalklappe	433	19.5	Primäre pulmonale Hypertonie	440
19.2.1	Echokardiografische Darstellbarkeit	433	19.6	Kongenitale und erworbene Shuntvitien mit rechtsventrikulärer Volumenbelastung	441
19.2.2	Pulmonalstenose	434	19.6.1	Vorhofseptumdefekt	441
19.2.3	Pulmonalinsuffizienz	434			
19.2.4	Pulmonalklappenendokarditis	436			

19.7	Angeborene Fehlbildungen des rechten Herzens.	443	19.8	Rechtsherzinfarkt	445
19.7.1	Dysplasie des rechten Ventrikels (ARVC, ARVD).	443	19.9	Hypereosinophilie-Syndrom	445
19.7.2	Morbus Ebstein	444			
20	Erkrankungen der Aorta				
	<i>S. Mohr-Kahaly</i>				
20.1	Echokardiografische Beurteilung der Aorta.	448	20.3	Erworbene Aortenerkrankungen	452
20.1.1	Anlotmethoden	448	20.3.1	Dissektionen der Aorta	452
20.1.2	Normwerte	449	20.3.2	Traumatische Aortenrupturen	459
20.2	Kongenitale Fehlbildungen der Aorta .	450	20.3.3	Thorakale Aortenaneurysmen	459
20.2.1	Fehlbildungen des Aortenbogens.	450	20.3.4	Atherosklerose der Aorta	460
20.2.2	Aortenisthmusstenose	450	20.3.5	Entzündliche Aortenerkrankungen	460
20.2.3	Aorta bei Marfan-Syndrom.	451			
20.2.4	Sinus-Valsalvae-Aneurysmen	451			
21	Perikarderkrankungen				
	<i>H. Völler und R. K. Reibis</i>				
21.1	Perikardagenesie	463	21.3.2	Perikardpunktion	470
21.2	Perikardzyste	464	21.4	Pericarditis constrictiva (PC)	471
21.3	Perikarderguss/-tamponade	464	21.4.1	Echokardiografische Befunde.	473
21.3.1	Differenzierung von Perikard- und Pleuraerguss.	469	21.4.2	Konstriktion vs. Restriktion	475
22	Herztumoren und kardiale Zusatzstrukturen				
	<i>R. Engberding</i>				
22.1	Herztumoren.	479		Tumormetastasen des Herzens	489
22.1.1	Inzidenz und Klassifikation	479		Karzinoid	490
22.1.2	Klinische Befunde	479	22.1.5	Stellenwert der transösophagealen Echokardiografie	491
22.1.3	Gutartige Herztumoren	480	22.2	Kardiale Zusatzstrukturen.	492
	Myxome	480	22.2.1	Infiltration	492
	Papilläre Fibroelastome	484		Hypereosinophiles Syndrom	492
	Andere gutartige Herztumoren	486	22.2.2	Zusatzstrukturen im rechten Herzen . .	492
22.1.4	Bösartige Herztumoren	488	22.2.3	Zusatzstrukturen im linken Herzen . . .	494
	Primäre kardiale Sarkome	488	22.2.4	Vorhofseptumaneurysmen	496
	Primäre kardiale Lymphome	489			

IV Übergeordnete klinische Fragestellungen

23 Echokardiografische Emboliequellensuche

F. A. Flachskampf und W. G. Daniel

23.1	Problematisierung kardialer Emboliequellen	501	23.2.7	Emboliequellen der Aorta	506
23.2	Potenzielle kardiale Emboliequellen	501	23.2.8	Mitralprolaps und degenerative Veränderungen der Mitral- und Aortenklappe	506
23.2.1	Vorhofflimmern und Thromben im linken Vorhof	501	23.2.9	Tumoren	507
	Transösophageale Echokardiografie vor Kardioversion	503	23.2.10	Paradoxe Embolien	507
23.2.2	Koronare Herzkrankheit	504		Vorhofseptumdefekte	508
23.2.3	Kardiomyopathien	505		Echokardiografischer Nachweis des offenen Foramen ovale	508
23.2.4	Endokarditis	505		Vorhofseptumaneurysma	510
23.2.5	Klappenprothesen	505	23.3	Praktische Aspekte	510
23.2.6	Mitralvitien im Sinusrhythmus	505			

24 Infektiöse Endokarditis

A. Mügge

24.1	Pathogenese	513		Prothesenendokarditis	519
24.2	Diagnostik	514		Schrittmacherendokarditis	520
24.2.1	Diagnostische Strategie	514		Sensitivität/Spezifität im Vegetationsnachweis	521
24.2.2	Echokardiografische Diagnostik	514		Abszesse	522
	Vegetationsnachweis	514	24.2.3	Prognostische Implikationen/ Operationsentscheidungen	523
	Aortenklappenendokarditis	516	24.2.4	Indikationen zur TEE	525
	Mitralklappenendokarditis	517			
	Trikuspidalklappenendokarditis	518			
	Pulmonalklappenendokarditis	518			

25 Echokardiografie auf der Intensivstation

W. Bocksch und S. Fateh-Moghadam

25.1	Voraussetzungen	528		Akutes Cor pulmonale ~ fulminante Lungenarterienembolie	538
	Technische Voraussetzungen	528	25.2.3	Kardiopulmonale Reanimation	539
	Personelle Voraussetzungen	528	25.2.4	Differenzialdiagnose des akuten Thoraxschmerzes in der internistischen Notaufnahme	539
	Logistische Voraussetzungen	529	25.3	Nicht kardiologische internistische Intensivstation	540
	Sicherheit	529	25.3.1	Temperaturen unklarer Genese	540
25.2	Kardiologische internistische Intensivstation	529	25.4	Stroke Unit	541
25.2.1	Koronare Herzerkrankung – akuter Myokardinfarkt	529	25.4.1	Kardiale und aortale Emboliequellen	541
	Kreislaufstabiler Infarktpatient	529		Linksatriale Emboliequelle	541
	Kreislaufinstabiler Infarktpatient	529		Linksventrikuläre Emboliequelle	542
	Rechtsherzinfarkt	530		Valvuläre Emboliequelle	542
	Mechanische Infarktkomplikationen	530		Aortale Emboliequelle	542
	Linksventrikuläre Thrombenbildung bei Infarkt	532	25.5	Kinderkardiologische Intensivstation	543
	Koronargefäßdiagnostik (Hauptstammstenose)	532	25.6	Allgemeinchirurgische anästhesiologische Intensivstation	544
25.2.2	Therapierefraktäre Herzinsuffizienz	533	25.7	Kardiochirurgische Intensivstation	544
	Systolische und diastolische linksventrikuläre Dysfunktion	533			
	Valvuläre Dysfunktion	536			

Ursprung beider großer Arterien aus dem rechten Ventrikel (Double Outlet right Ventricle – DORV)	600	28.3.3	Singulärer Ventrikel	604
Komplette Transposition der großen Arterien	601	28.4	Befunde nach rekonstruktiver Herzchirurgie	606
Kongenital korrigierte Transposition der großen Arterien	603	28.4.1	Endgültige Palliation nach Fontan	606
		28.4.2	Korrekturoperation nach Rastelli	606
Sachverzeichnis				609