

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 Erhaltung der Masse auf Strömungsquerschnittsverengungen	17
1.2.4	Schallfeld	8		Anwendung des Satzes von der Erhaltung der Energie: Berechnung von Gradienten aus Strömungsgeschwindigkeiten	18
1.2.5	Räumliche und zeitliche Auflösung	9		Laminare und turbulente Strömung	19
1.2.6	Harmonische Bildgebung	9		Andere Ansätze zur Quantifizierung von Fluss und Strömungsverengungen	20
1.2.7	Kompression („dynamic range“)	10			
1.2.8	Dokumentation	11	1.4	Bioeffekte von Ultraschall	21
	Analoge Speicherung	11			
	Digitale Bildspeicherung und -übermittlung	11			
1.3	Dopplerechokardiografie	12			
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 echokardiografischen Untersuchungen	24	DICOM-definierter Arbeitsablauf	28	
2.2.1	Postprocessing echokardiografischer Signale	24	Konformität mit dem DICOM-3.0-Standard	28	
2.2.2	Digitale Aufzeichnung von Bildschirminformationen	26	Allgemeine Standards	28	
	Speicherbedarf	26	Heutige Bedeutung des DICOM-Standards für die medizinischen Anwender, Chancen und Limitationen	29	
	Datenkompression durch Selektion einzelner Bildschleifen bzw. Loops	26	2.3	Grundelemente eines digitalen 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 auf ein digitales Echolabor	31
	DICOM-Bildformate	27			
	DICOM-kompatible Speichermedien	28			

II Neuere Techniken

3 Transösophageale Echokardiografie

H. Lethen

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

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	4.2.6	Bilddatenanalyse mittels Tracking	74
Verformung, Spannung, Elastizitätsmodul	58		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	4.2.7	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		Moderne Methoden zur mehrdimensionalen Bewegungsanalyse des Blutes	78
Probleme und Fehlerquellen.	60	4.2.8	Grundlagen	78
4.2.4 Gewebedopplerverfahren.	60			
Funktionsprinzip	60			
Wahl des Gewebedopplerverfahrens	64			
Erfassbare Bewegungskomponenten	65			
Datenakquisition im Spektral-gewebedoppler.	65			
Datenakquisition im Farbgewebedoppler	65			
Auswertung von Farbdopplerdaten	67			

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

5 Kontrastechokardiografie

H. von Bibra

5.1 Einsatzgebiete im Überblick	105	5.6 Myokardiale Kontrastechokardiografie	114
5.2 Ultraschallkontrastmittel	105	5.6.1 Physikalische Effekte von Mikrobläschen im akustischen Feld	115
5.2.1 Intraarterielle Kontrastmittel	106	5.6.2 Lineare und nichtlineare Reaktionen	115
5.2.2 Intravenöse Linksherzkontrastmittel	106	5.6.3 Intermittent Imaging	115
5.3 Shuntdiagnostik	107	5.6.4 Aufnahmetechniken	116
5.3.1 Vorhofseptumdefekt	107	5.6.5 High-Power-Aufnahmetechniken	116
5.3.2 Persistierendes Foramen ovale	109	5.6.6 Low-Power-Aufnahmetechniken (Real Time Perfusion Imaging)	117
5.3.3 Pulmonale AV-Fistel	109	5.6.7 Limitationen für die Abbildung von Mikrobläschen	118
5.3.4 Persistierende linke obere Hohlvene	110	5.6.8 Visuelle vs. quantifizierende Beurteilung	118
5.4 Kontrastverstärkung von Farb- und Spektraldoppler	111	5.6.9 Erprobte klinische Anwendungsgebiete	120
5.4.1 Unzureichende Flussdetektion durch Sensitivitätsprobleme	111	5.6.10 Akutes Koronarsyndrom	120
5.4.2 Klinische Anwendungsbereiche	111	5.6.11 Chronisches Koronarsyndrom	121
5.5 Verbesserte Endokarderkennung	113	5.6.12 Vitalität und „hibernating myocardium“	121
5.5.1 Bestimmung der globalen linksventrikulären Funktion	113	5.6.13 Metabolisches Syndrom ohne und mit KHK	121
5.5.2 Bestimmung der regionalen linksventrikulären Funktion	114	5.6.14 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	6.5.2	Vitalitätsdiagnostik	137
6.3.1	Entstehung harmonischer Frequenzen durch asymmetrische Schwingungen der Kontrastbläschen	130	6.5.3	Ischämiediagnostik	137
6.3.2	Untersuchungstechnik und Indikationen für kontrastverstärktes Harmonic B-Mode/Pulsinversion	131	6.5.4	Myokardkontrastechokardiografie – eine Ergänzung und Alternative zur konventionellen Stressechokardiografie	138
6.3.3	Limitationen durch Schallabschwächung und Auflösung der Mikrobläschen	132		Vereinfachter Nachweis signifikanter Koronarstenosen	138
6.4	Harmonic Imaging mit Kontrastmittel II: Power-Doppler/Power-Pulsinversion/Power-Modulation	133		Ischämiereaktion nicht notwendig	138
6.4.1	Bedeutung der Power	133	6.6	Vitalitäts-(Ischämie-)Diagnostik ohne Stress	139
				Praxis der Myokardkontrastechokardiografie	139
				Geeignete Ultraschallverfahren	139
				Normale Myokardperfusion	140
				Pathologische Befunde bei der Myokardkontrastechokardiografie	142
				Reversibler Perfusionsdefekt	142
				Fixierter Perfusionsdefekt	142
				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	Sonoroporation	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	8.2.2	Mitralklappeninsuffizienz	157
8.1.2	Echtzeit-3 D-Echokardiografie	153	8.2.3	Mitral- und Aortenklappenstenosen	159
	Auswertung der 3 D-echokardiografischen Daten	154	8.2.4	Angeborene Herzfehler	159
	Qualitative, morphologische Beurteilung	154		Linksventrikuläre Volumina und Massen	160
	Quantitative Auswertung	155		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 Gewebecharak- terisierung 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 Verkürzungsfraktion	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	Segmenteinteilung	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
	Globale systolische Funktion	194			
	Volumina und Ejektionsfraktion	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				
	<i>R. Hoffmann</i>				
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
11.3.3	Dipyridamol-Belastungsechokardiografie	227	11.7	Neue Entwicklungen	238
11.3.4	Transösophageale Vorhofstimulation	227	11.7.1	Einsatz der Kontrastechokardiografie, des Harmonic Imaging und der 3 D-Echokardiografie	238
11.3.5	Transösophageale Belastungsechokardiografie	228	11.7.2	Quantifizierung von belastungsechokardiografischen Befunden	239
11.4	Interpretation von Belastungsechokardiogrammen	229			
11.4.1	Beurteilung von regionalen Wandbewegungsstörungen	231			
12	Vitalitätsdiagnostik				
	<i>U. Nixdorff</i>				
12.1	Entwicklung und Bedeutung	243			
12.2	Pathophysiologische Grundlagen	243			
12.3	Klinischer Nutzen und Indikationen	245			
12.4	Echokardiografische Nachweisverfahren	246			
12.4.1	Ruheechokardiografie	246			
12.4.2	Dobutamin-Echokardiografie	247			
	Entwicklung der Methode	247			
	Prädiktion der LV-Funktionserholung nach Revaskularisation	247			
	Differenzierung von Stunned und Hibernating Myocardium	248			
			12.4.3	Limitationen	250
			12.4.4	Dipyridamol-Echokardiografie	251
			12.4.5	Ergometrische Belastungsechokardiografie	251
			12.4.6	Nitrat-Echokardiografie	251
			12.4.7	Gewebedoppler-Echokardiografie	251
			12.4.8	Myokard-Kontrastechokardiografie	252
				Vergleich zu nicht echokardiografischen Methoden	252
				Nuklearmedizinische Techniken	252
				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, Differenzialdiagnosen	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	Seltene 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	Mitalsegel	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 Mitralklappenstenose	318
16.3	Mitralklappenstenose	312	16.3.4	Echokardiografie und Valvuloplastie	318
16.3.1	Rheumatische Mitralklappenstenose	312	16.4	Mitralklappeninsuffizienz	319
16.3.2	Quantifizierung der Mitralklappenstenose	312	16.4.1	Quantifizierung der Mitralklappeninsuffizienz	319
	Gradientenbestimmung	312		Regurgitationsjet und Jetfläche	319
	Planimetrie	313		Proximaler Jetdurchmesser	320
	Druckhalbwertszeitmethode	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		Papillarmuskelruptur	344
16.4.6 Mitralklappenprolaps – myxomatöse Mitralklappenerkrankung	328	16.4.10	Mitralklappeninsuffizienz bei infektiöser Endokarditis	346
Diagnostische Kriterien	328	16.4.11	Mitralringkalzifizierung	346
Papillarmuskelzug	330	16.5	Angeborene Mitralklappen-erkrankungen	346
Mechanismus von Prolaps und Mitralklapperegurgitation	331			
Prolaps vs. Flail	331			
Anatomisch exakte Diagnose des prolabilierenden Mitralsegelteils	332			

17 Erkrankungen der Aortenklappe

W. Voelker

17.1 Aortenstenose	349		Rationale der Stressechokardiografie	
17.1.1 Prävalenz und Ätiologie	349		bei Patienten mit Aortenstenose	366
17.1.2 Klinische Fragestellung	349	17.1.8	Therapieentscheidung bei Aortenstenosen – Bedeutung	
17.1.3 Klappenmorphologie	350		der Echokardiografie	368
Bikuspide vs. trikuspidale Klappe	350		Normale LV-Funktion	368
Sklerose vs. Stenose einer Aortenklappe	351		Eingeschränkte LV-Funktion	368
Verkalkungsgrad	352	17.2	Aorteninsuffizienz	369
17.1.4 Quantifizierung des Stenosegrades	352	17.2.1	Klinische Fragestellung	369
Separation der Klappensegel	353		„Primärdiagnostik“	369
Maximale Flussgeschwindigkeit	353		Ätiologie der Insuffizienz	369
Maximaler und mittlerer Druckgradient	354	17.2.2	Akute vs. chronische Aorteninsuffizienz	369
Ursachen für Diskrepanzen zwischen Doppler- und Kathetergradienten	355		Echokardiografische Untersuchungsparameter	370
Aortenklappenöffnungsfläche	357	17.2.3	Quantifizierung der Aorteninsuffizienz	370
Zusätzliche Dopplerparameter	360		Methoden und Geräteeinstellungen	370
Zusammenfassung – Stellenwert der Dopplerechokardiografie	362		Farbfläche	371
17.1.5 Prognose der Aortenstenose – Stellenwert der Echokardiografie	362		Druckhalbwertszeit	371
Bedeutung des initialen Stenosegrades	362		Fluss in der Aorta thoracalis	371
Bedeutung der Progressionsgeschwindigkeit	363		Vena contracta	372
17.1.6 LV-Remodeling bei Aortenstenosen	364		Direkte Darstellung der Regurgitationsfläche	374
Pathomechanismus	364		Quantitativer Doppler	374
Stellenwert der Echokardiografie	364		Proximale Konvergenzzone	375
17.1.7 Belastungs-/Stressechokardiografie bei Aortenstenosen	365		Zusammenfassung	376
Körperliche Belastung	365	17.2.4	Therapieentscheidung bei Aorteninsuffizienz – Bedeutung	
Stressechokardiografie mit Dobutamin	365		der Echokardiografie	377
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	Klappenträgernes 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
	2D-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
	Druckhalbwertszeit	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 kathetergestützte 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. Lambertz und O. Ekinci

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

S. Mohr-Kahaly

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

H. Völler und R. K. Reibis

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

R. Engberding

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	Problematik 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	24.2.3	Abszesse	522
	Vegetationsnachweis	514		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 links-ventrikuläre Dysfunktion	533			
	Valvuläre Dysfunktion	536			

25.8	Chirurgische Rettungsstelle – traumatische Intensivstation	545	Traumatische Aortenverletzung	546
25.8.1	Herzverletzungen	545	Aortenwandverletzungen	546
	Perikard	545	Aortenthromben	547
	Myokard	545	Aortale Fistelbildung	548
	Herzklappen	545		
	Koronararterien	545	25.9 Zusammenfassung	549

26 Tragbare Echokardiografie

F. A. Flachskampf

Technische Aspekte	550
--------------------	-----

27 Echokardiografie nach Herztransplantation

C. E. Angermann und C. Spes

27.1	Kardiale Anatomie und Funktion nach orthotoper Herztransplantation	552	M-Mode- und 2 D-Echokardiografie	
27.1.1	Linksventrikuläre Größe und Pumpfunktion	552	bei akuter Abstoßung	560
27.1.2	Linksventrikuläre diastolische Funktion	553	Doppleruntersuchung des Blutflusses	
27.1.3	Rechtsventrikuläre Größe und Funktion	554	bei akuter Abstoßung	562
27.1.4	Vorhöfe, Mitralklappe und Trikuspidalklappenapparat und Pulmonalvenenfluss	554	Echokardiografische Gewebecharakterisierung bei akuter Abstoßung	562
27.1.5	Adaptationsmechanismen an körperliche Belastung	558	Myokarddoppler bei akuter Abstoßung	563
27.2	Komplikationen nach orthotoper Herztransplantation	559	Transplantatvaskulopathie (TVP)	565
27.2.1	Perikarderguss	559	Ruheechokardiografie bei Transplantatvaskulopathie	565
27.2.2	Arterielle Hypertonie	560	Dobutamin-Stressechokardiografie (DSE) zur Beurteilung der Transplantatvaskulopathie	566
27.2.3	Akute Abstoßungsreaktion	560		
			27.2.4 Zusammenfassung und Limitationen	570

28 Echokardiografie von angeborenen Herzfehlern im Erwachsenenalter

D. A. Redel

28.1	Kongenitale Herzklappenerkrankungen und Gefäßstenosen	573	28.2	Angeborene Shuntvitien	587
28.1.1	Angeborene Erkrankungen der Semilunarklappen	573	28.2.1	Systematik der Shuntvitien	587
	Angeborene valvuläre Aortenstenose – bikuspide Aortenklappe	573	28.2.2	Vorhofseptumdefekte	587
	Angeborene Aorteninsuffizienz	575		Vorhofseptumdefekt vom Ostium-secundum-Typ (ASD II)	588
	Pulmonalklappenstenose	576		Variante des ASD II: offenes Foramen ovale	590
	Pulmonalklappeninsuffizienz	578		Vorhofseptumdefekt vom Ostium-primum-Typ (ASD I)	591
28.1.2	Angeborene Erkrankungen der Atrioventrikularklappen	578		Vorhofseptumdefekt vom Sinus-venosus-Typ	591
	Kongenitale Mitralkstenose	579	28.2.3	Ventrikelseptumdefekt (VSD)	592
	Kongenitale Mitralsuffizienz	580	28.2.4	Persistierender Ductus arteriosus (PDA)	594
	Trikuspidalinsuffizienz	580	28.3	Komplexe angeborene Herzfehler	596
	Ebstein-Anomalie	582	28.3.1	Atrioseptale Defekte	596
28.1.3	Obstruktionen der ventrikulären Ausflussbahnen (subvalvuläre Stenosen)	583		Partieller atrioseptaler Defekt	596
	Subvalvuläre Aortenstenose	583		Kompletter atrioseptaler Defekt	597
	Infundibuläre Pulmonalstenose	584	28.3.2	Konotrunkale Fehlbildungen	598
28.1.4	Periphere Gefäßstenosen	586		Fallot-Tetralogie	599
	Aortenisthmusstenose	586			

Inhaltsverzeichnis

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