

# Inhaltsverzeichnis

## I Grundkurs

<b>1</b>	<b>Rolle der Echokardiografie in der Kardiologie und Indikationen zur echokardiografischen Untersuchung</b>	18			
1.1	<b>Zum Einstieg</b>	18	1.3.3	Indikation zur transösophagealen Echokardiografie	19
1.2	<b>Rolle der Echokardiografie in der Inneren Medizin und Kardiologie</b>	18	1.3.4	Systematische oder „gezielte“ Echokardiografie?	19
1.3	<b>Indikationsstellung</b>	18	1.3.5	Tragbare Echokardiografiegeräte	20
1.3.1	Häufigste Indikationen	18	<b>1.4</b>	<b>Stellenwert echokardiografischer Befunde in der kardiovaskulären Diagnostik</b>	20
1.3.2	Klinische Situationen ohne Routine-Indikation zur Echokardiografie	19			
<b>2</b>	<b>Physikalische und technische Grundlagen</b>	22			
2.1	<b>Zum Einstieg</b>	22	2.5.2	DICOM	41
2.2	<b>Ultraschall</b>	22	<b>2.6</b>	<b>Artefakte</b>	41
2.2.1	Eigenschaften des Schalls	22	2.6.1	Suboptimale Fokussierung und endliche Schnittebenenschichtdicke („beam width artifacts“) bzw. durch Nebenkeulen	41
2.2.2	Akustische Impedanz	22	2.6.2	Schallschatten	42
2.3	<b>Echokardiografiegerät</b>	23	2.6.3	Reverberationsartefakte	42
2.3.1	Prinzip der Echokardiografie	23	2.6.4	Nahfeldartefakt	42
2.3.2	Erzeugung von Ultraschall durch das Echokardiografiegerät	24	2.6.5	Klicks	44
2.3.3	Gepulster Ultraschall	26	<b>2.7</b>	<b>Wirkungen von diagnostischem Ultraschall auf Gewebe</b>	44
2.3.4	Empfang und Darstellung von Ultraschall-signalen durch das Echokardiografiegerät	26	2.7.1	Erwärmung	44
2.4	<b>Echokardiografische Verfahren</b>	29	2.7.2	Kavitationen	44
2.4.1	M-Mode	29	<b>2.8</b>	<b>Einige hydrodynamische Grundbegriffe</b>	44
2.4.2	2-D-Verfahren	29	2.8.1	Erhaltung der Masse	44
2.4.3	3-D-Echokardiografie	30	2.8.2	Erhaltung der Energie	44
2.4.4	Dopplerverfahren	31	2.8.3	Kontinuitätsprinzip	45
2.4.5	Speckle Tracking	36	2.8.4	Berechnung von Gradienten aus Strömungsgeschwindigkeiten:	
				die Bernoulli-Gleichung	47
2.5	<b>Speicherung echokardiografischer Daten</b>	41	2.8.5	Laminare und turbulente Strömung	47
2.5.1	Speicherplatz	41			
<b>3</b>	<b>Untersuchungstechnik</b>	49			
3.1	<b>Zum Einstieg</b>	49	3.2.1	Untersuchungsraum	49
3.2	<b>Voraussetzungen</b>	49	3.2.2	Patientenlagerung	49
			3.2.3	Geräteeinstellung	51
			3.2.4	Untersuchungsdokumentation	62
			3.2.5	Befundung	63

<b>3.3</b>	<b>Ablauf der echokardiografischen Untersuchung</b>	66	<b>3.3.5</b>	Parasternaler Langachsenschnitt des rechtsventrikulären Einflusstrakts	82
3.3.1	Schallfenster	66	3.3.6	Parasternale Kurzachsenschnitte	82
3.3.2	Integration von M-Mode und Doppler in den Untersuchungsgang	66	3.3.7	Apikale Schnittebenen	88
3.3.3	Nomenklatur der Schnittebenen	67	3.3.8	Subkostale Schnittebenen	94
3.3.4	Parasternaler Langachsenschnitt	69	3.3.9	Suprasternales Schallfenster	97
			3.3.10	Rechtsparasternales Fenster	98

## II Aufbaukurs

<b>4</b>	<b>Linker Ventrikel und Kardiomyopathien</b>				100
<b>4.1</b>	<b>Zum Einstieg</b>	100	<b>4.2.6</b>	Echokardiografische Befunde bei Herztransplantation	128
<b>4.2</b>	<b>Linker Ventrikel: globale und regionale Veränderungen</b>	100	<b>4.2.7</b>	Anhang	128
4.2.1	Funktionelle Anatomie	100	<b>4.3</b>	<b>Kardiomyopathien</b>	130
4.2.2	Echokardiografische Morphologie und Funktionsbeurteilung	100	4.3.1	Einteilungen	130
4.2.3	Eingeschränkte linksventrikuläre Funktion	115	4.3.2	Dilatative Kardiomyopathie	131
4.2.4	Andere umschriebene pathologische Veränderungen und Zusatzstrukturen	124	4.3.3	Hypertrophe Kardiomyopathie	133
4.2.5	Häufige echokardiografische Fehler	126	4.3.4	Restriktive Kardiomyopathien	139
			4.3.5	Non-Compaction-Kardiomyopathie	141
			4.3.6	Takotsubo-Kardiomyopathie (Stress-Kardiomyopathie)	142
<b>5</b>	<b>Mitralklappe</b>				144
<b>5.1</b>	<b>Zum Einstieg</b>	144	<b>5.4</b>	<b>Erkrankungen der Mitralklappe</b>	150
<b>5.2</b>	<b>Funktionelle Anatomie</b>	144	5.4.1	Degenerative Veränderungen der Mitralklappe	150
5.2.1	Klappenapparat	144	5.4.2	Mitralprolaps	150
5.2.2	Mitralring	144	5.4.3	Infektiöse Endokarditis	154
5.2.3	Segel	144	5.4.4	Abakterielle Endokarditiden	157
5.2.4	Chordafäden und Papillarmuskeln	144	5.4.5	Mitralstenose	158
5.3	<b>Echokardiografische Beurteilung der Mitralklappe</b>	146	5.4.6	Mitralinsuffizienz	165
5.3.1	Morphologische Beurteilung	146	5.4.7	Angeborene Erkrankungen	174
5.3.2	Funktionsbeurteilung	147	<b>5.5</b>	<b>Transmittrales Flussgeschwindigkeitsprofil und diastolische Funktion des linken Ventrikels</b>	174
			<b>5.6</b>	<b>Häufige Untersuchungsfehler</b>	174
<b>6</b>	<b>Aortenklappe</b>				175
<b>6.1</b>	<b>Zum Einstieg</b>	175	<b>6.3</b>	<b>Echokardiografische Beurteilung der Aortenklappe</b>	175
<b>6.2</b>	<b>Funktionelle Anatomie</b>	175	6.3.1	Morphologische Beurteilung	175
6.2.1	Klappenapparat	175	6.3.2	Funktionsbeurteilung (Doppler)	177
6.2.2	Bikuspide Aortenklappe	175			

## Inhaltsverzeichnis

<b>6.4</b>	<b>Erkrankungen der Aortenklappe .....</b>	182	6.4.2	Aortenstenose .....	182
6.4.1	Degenerative Veränderungen der Aortenklappe .....	182	6.4.3	Aorteninsuffizienz.....	189
			6.4.4	Infektiöse Endokarditis der Aortenklappe.	193
<b>7</b>	<b>Linker Vorhof .....</b>				196
<b>7.1</b>	<b>Zum Einstieg .....</b>	196	7.4.2	Linkes Herzohr.....	200
<b>7.2</b>	<b>Funktionelle Anatomie .....</b>	196	7.4.3	Transösophageale Untersuchung des linken Vorhofs und vorhofnaher Strukturen .....	201
7.2.1	Strukturen .....	196	<b>7.5</b>	<b>Pathologische Befunde .....</b>	203
7.2.2	Funktionen.....	196	7.5.1	Vergrößerung des linken Vorhofs .....	203
7.2.3	Füllung und Entleerung .....	196	7.5.2	Thromben und Spontankontrast.....	203
<b>7.3</b>	<b>Echokardiografische Morphologie.....</b>	196	7.5.3	Persistierende linke obere Hohlvene .....	204
<b>7.4</b>	<b>Vorhofseptum .....</b>	199	7.5.4	Tumoren .....	204
7.4.1	Lungenvenen und pulmonalvenöses Flussprofil.....	199	7.5.5	Cor triatriatum.....	206
<b>8</b>	<b>Rechter Ventrikel, Pulmonalklappe und Pulmonalarterie .....</b>				207
<b>8.1</b>	<b>Zum Einstieg .....</b>	207	8.4.4	Koronare Herzkrankheit.....	214
<b>8.2</b>	<b>Funktionelle Anatomie .....</b>	207	8.4.5	Pulmonale Hypertonie .....	215
8.2.1	Rechter Ventrikel.....	207	8.4.6	Kardiomyopathien .....	217
8.2.2	Pulmonalklappe.....	208	8.4.7	Zusatzstrukturen im rechten Ventrikel .....	219
8.2.3	Pulmonalarterie.....	208	8.4.8	Ventrikelseptumdefekte.....	219
<b>8.3</b>	<b>Echokardiografische Morphologie.....</b>	208	<b>8.5</b>	<b>Erkrankungen der Pulmonalklappe .....</b>	222
8.3.1	Rechter Ventrikel.....	208	8.5.1	Pulmonalstenose.....	222
8.3.2	Pulmonalklappe und Pulmonalarterie .....	212	8.5.2	Pulmonalisinsuffizienz .....	223
<b>8.4</b>	<b>Erkrankungen des rechten Ventrikels .....</b>	213	<b>8.6</b>	<b>Weitere kongenitale Shunt-Erkrankungen .....</b>	224
8.4.1	Dilatation des rechten Ventrikels .....	213	8.6.1	Offener Ductus Botalli .....	224
8.4.2	Hypertrophie des rechten Ventrikels .....	214	8.6.2	Fallot-Tetralogie.....	224
8.4.3	Eingeschränkte systolische Funktion des rechten Ventrikels.....	214	8.6.3	Komplette Transposition der großen Gefäße.....	224
<b>9</b>	<b>Rechter Vorhof, Vorhofseptum und Trikuspidalklappe .....</b>				226
<b>9.1</b>	<b>Zum Einstieg .....</b>	226	<b>9.3</b>	<b>Echokardiografische Morphologie .....</b>	228
<b>9.2</b>	<b>Funktionelle Anatomie .....</b>	226	9.3.1	Schnittebenen .....	228
9.2.1	Rechter Vorhof .....	226	9.3.2	Transösophageale Untersuchung des rechten Vorhofs, des Vorhofseptums und der Trikuspidalklappe .....	229
9.2.2	Vorhofseptum .....	227	<b>9.4</b>	<b>Erkrankungen der Trikuspidalklappe .....</b>	230
9.2.3	Trikuspidalklappe .....	228	9.4.1	Trikuspidalstenose .....	230
			9.4.2	Trikuspidalinsuffizienz.....	230

9.4.3	Trikuspidalendokarditis .....	232	<b>9.6</b>	<b>Pathologische Befunde im rechten Vorhof und der unteren Hohlvene .....</b>	239
9.4.4	Morbus Ebstein .....	232			
<b>9.5</b>	<b>Shuntverbindungen: offenes Foramen ovale und Vorhofseptumdefekte .....</b>	233	9.6.1	Zusatzstrukturen im rechten Vorhof: Thromben, Tumoren und Fremdkörper ..	239
9.5.1	Offenes Foramen ovale .....	233	9.6.2	Fehlender inspiratorischer Kollaps der unteren Hohlvene .....	240
9.5.2	Vorhofseptumdefekte .....	234			
9.5.3	Vorhofseptumaneurysma .....	238			
<b>10</b>	<b>Aorta .....</b>				242
10.1	<b>Zum Einstieg .....</b>	242	<b>10.4</b>	<b>Erkrankungen der Aorta .....</b>	246
10.2	<b>Funktionelle Anatomie .....</b>	242	10.4.1	Dilatation und Aneurysma .....	246
10.3	<b>Echokardiografische Morphologie .....</b>	242	10.4.2	Atherosklerose .....	248
10.3.1	Aortenwurzel und Aorta ascendens .....	242	10.4.3	Aortendissektion .....	248
10.3.2	Aortenbogen und Aorta descendens .....	244	10.4.4	Marfan-Syndrom .....	251
10.3.3	Wichtigste Befunde .....	245	10.4.5	Traumen .....	251
10.3.4	Transösophageale Darstellung der Aorta ..	245	10.4.6	Aortenisthmusstenose .....	251
10.3.4	Transösophageale Darstellung der Aorta ..	245	10.4.7	Aortitis .....	252
<b>11</b>	<b>Perikard .....</b>				254
11.1	<b>Zum Einstieg .....</b>	254	<b>11.4</b>	<b>Erkrankungen des Perikards .....</b>	254
11.2	<b>Funktionelle Anatomie .....</b>	254	11.4.1	Perikarderguss .....	254
11.3	<b>Echokardiografische Morphologie .....</b>	254	11.4.2	Perikardtamponade .....	258
			11.4.3	Pericarditis constrictiva .....	261
			11.4.4	Andere Erkrankungen .....	262

### III Abschlusskurs

<b>12</b>	<b>Echokardiografische Notfalldiagnostik .....</b>				264
12.1	<b>Zum Einstieg .....</b>	264	<b>12.3</b>	<b>Echokardiografische Differenzialdiagnose nach Leitsymptomen .....</b>	264
12.2	<b>Notfallindikationen .....</b>	264	<b>12.4</b>	<b>Dringliche Indikationen .....</b>	266
12.2.1	Leitsymptome .....	264	12.4.1	Kardiale Emboliequellensuche .....	266
12.2.2	Methodische Besonderheiten .....	264			
<b>13</b>	<b>Herzklappenprothesen .....</b>				267
13.1	<b>Zum Einstieg .....</b>	267	<b>13.3</b>	<b>Prothesentypen .....</b>	268
13.2	<b>Besonderheiten der Echokardiografie von Herzklappenprothesen .....</b>	267	13.3.1	Mechanische und biologische Klappen ..	268
13.2.1	Artefakte .....	267	13.3.2	Komplikationen bei Klappenprothesen ..	268
13.2.2	Strömungsphysikalische Eigenheiten .....	267	13.3.3	Untersuchungsgang und wichtige Fragestellungen .....	268
13.2.3	Grundkrankung .....	267	13.3.4	Besteht eine Protheseninsuffizienz? ..	269
13.2.4	Transösophageale Echokardiografie .....	267	13.3.5	Besteht eine Obstruktion der Prothese? ..	271
			13.3.6	Liegen Anzeichen für eine infektiöse Endokarditis vor? .....	272

13.3.7	Liegt eine Prothesenthrombose oder Pannusbildung vor? .....	272	<b>13.4</b>	<b>Besonderheiten der verschiedenen Klappenpositionen .....</b>	274
			13.4.1	Mitralprothesen .....	274
			13.4.2	Aortenprothesen .....	275
			13.4.3	Trikuspidalprothesen .....	276
<b>14</b>	<b>Transösophageale Echokardiografie .....</b>				277
<b>14.1</b>	<b>Zum Einstieg .....</b>	277	14.2.5	Vollständigkeit der Untersuchung .....	282
<b>14.2</b>	<b>Grundlagen .....</b>	277	14.2.6	Reinigung und Kontrolle der Sonde .....	282
14.2.1	Prinzip der transösophagealen Untersuchung; Schallkopf und Schnittebenen ..	277	<b>14.3</b>	<b>Durchführung der transösophagealen Untersuchung .....</b>	283
14.2.2	Ausbildung des Untersuchers .....	279	14.3.1	Vorbereitung und Einführen des Geräts ..	283
14.2.3	Indikationen, Kontraindikationen und Kautelen .....	280	14.3.2	Typischer Ablauf der transösophagealen Echokardiografie .....	285
14.2.4	Risiken und Komplikationen .....	281			
<b>15</b>	<b>Stressechokardiografie .....</b>				295
<b>15.1</b>	<b>Zum Einstieg .....</b>	295	<b>15.3</b>	<b>Durchführung der Belastung .....</b>	297
<b>15.2</b>	<b>Grundlagen .....</b>	295	15.3.1	Bildgewinnung und -interpretation .....	297
15.2.1	Diagnose der koronaren Herzkrankheit in der Ruheechokardiografie .....	295	15.3.2	Hilfsmaßnahmen bei schlechter Bildqualität .....	299
15.2.2	Prinzip der Stressechokardiografie .....	295	15.3.3	Belastungsformen .....	299
15.2.3	Wandbewegungsstörungen .....	295	15.3.4	Vitalitätsdiagnostik .....	301
15.2.4	Normale Veränderung der systolischen Funktion des linken Ventrikels unter Belastung .....	295	<b>15.4</b>	<b>Stärken und Schwächen der Stressechokardiografie .....</b>	302
	Indikationen, Kontraindikationen und Kautelen .....	296			
<b>16</b>	<b>Kontrastechokardiografie .....</b>				303
<b>16.1</b>	<b>Zum Einstieg .....</b>	303	16.3.4	Unerwünschte Wirkungen der Kontrastgabe .....	306
<b>16.2</b>	<b>Technische Grundlagen .....</b>	303	<b>16.4</b>	<b>Untersuchungen mit Linksherzkontrastmittel .....</b>	306
16.2.1	Kontrastmittel der Rechtsherzkontrast-echokardiografie .....	303	16.4.1	Linksherzkontrastmittel .....	306
<b>16.3</b>	<b>Untersuchungen mit Rechtsherzkontrastmittel .....</b>	304	16.4.2	Indikationen und Kontraindikationen ..	307
16.3.1	Shuntdiagnostik .....	304	16.4.3	Endokardabgrenzung .....	307
16.3.2	Persistierende linksseitige V. cava superior .....	305	16.4.4	Doppler .....	307
16.3.3	Echokontrast bei Perikardpunktion .....	305	16.4.5	Myokardiale Durchblutung .....	308

**IV Anhang**

<b>17</b>	<b>Häufig benutzte Formeln in der Echokardiografie</b>	310
17.1	<b>Ventrikelfunktion</b>	310
17.1.1	Ejektionsfraktion	310
17.1.2	Zirkumferenzielle Verkürzungsfraktion	310
17.1.3	Schlagvolumen	310
17.1.4	Schlagvolumenindex	310
17.1.5	Rechtsventrikuläre Flächenverkürzungsfaktion	310
17.2	<b>Masse/Geometrie des linken Ventrikels</b>	310
17.2.1	Relative Wanddicke	310
17.2.2	Linksventrikuläre Masse	310
17.2.3	Klappenfehler	311
17.2.4	Aortenklappenöffnungsfläche nach Kontinuitätsgleichung	311
17.2.5	Mitralstenose: Öffnungsfläche nach Dopplerhalbwertzeit	311
17.2.6	Proximale Konvergenzzone/PISA-Formel	311
17.2.7	Regurgitationsvolumen	311
17.2.8	Regurgitationsfraktion	311
<b>18</b>	<b>Normwerte</b>	312
<b>19</b>	<b>Literatur</b>	315
	<b>Sachverzeichnis</b>	317