

Funktionsbeurteilung prothetischer Klappen

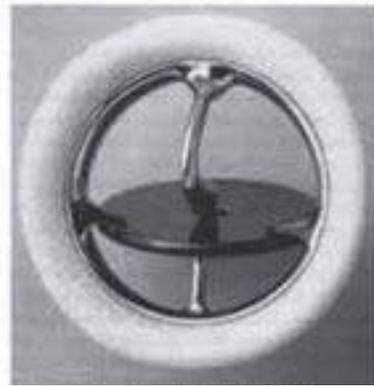
BONOW ET AL., ACC/AHA TASK FORCE REPORT
JACC Vol. 32, No. 5, November 1998:1486-1588

ACC/AHA Guidelines for the Management of Patients With Valvular
Heart Disease

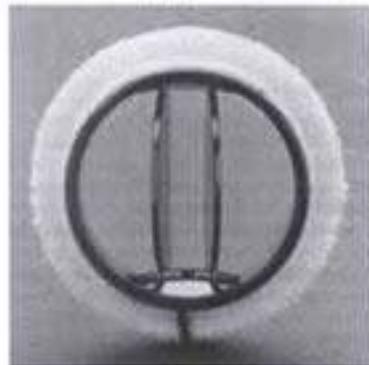
VII. Management of Patients With Prosthetic Heart Valves



A



B



C



D



E

- A. Starr-Edwards Kugel-Käfig-Mitralklappe.
- B. Medtronic Hall Kippscheibenklappe.
- C. St. Jude Doppelflügelklappe.
- D. Hancock Schweineaortenklappe.
- E. Carpentier-Edwards Kalbsperikard-Klappe.

Was muß ich wissen?

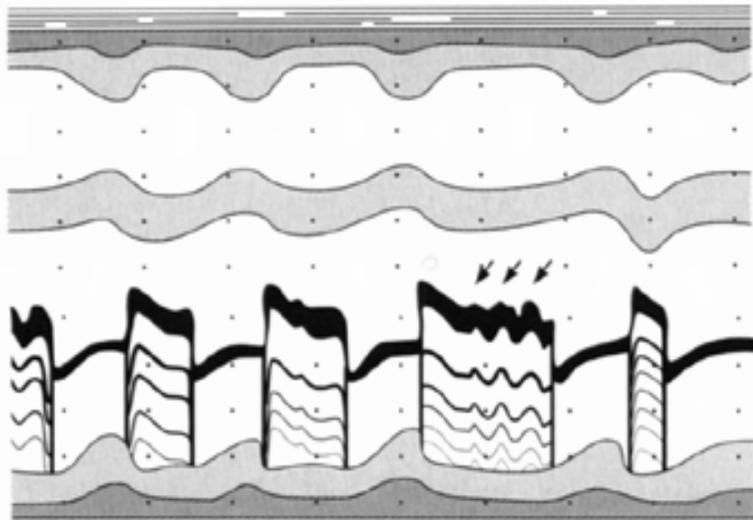
- Prothesenfabrikat und -größe
- Implantationsdatum
- Präoperatives Krankheitsbild
(Indikation?)
- Aktuelles klinisches Bild

Was muß ich tun?

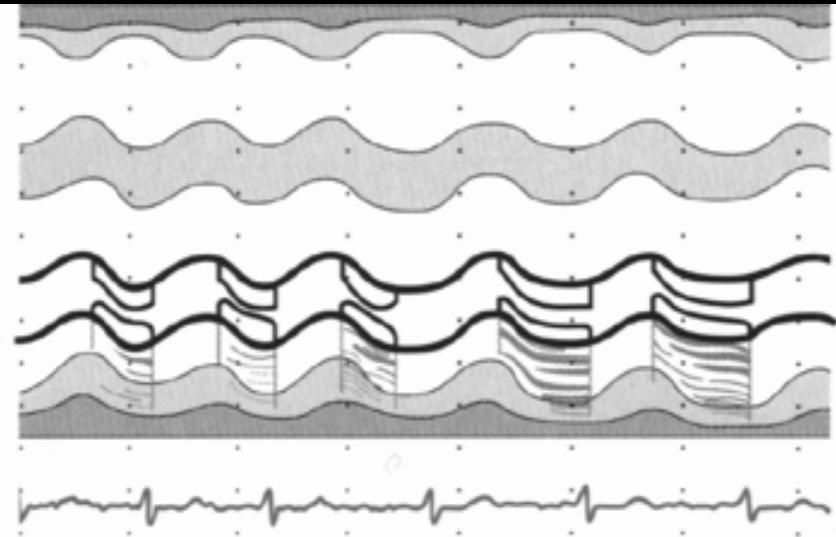
- Doppler-Hämodynamik
 - Normalwerte
 - Pitfalls
- Refluxe, ihre Lokalisierung und annähernde quantitative Abschätzung
- Freie Beweglichkeit der Ventilkörper
 - ggf. transösophagealer Zugang

Funktionsbeurteilung prothetischer Klappen

Mitralklappenprothesen

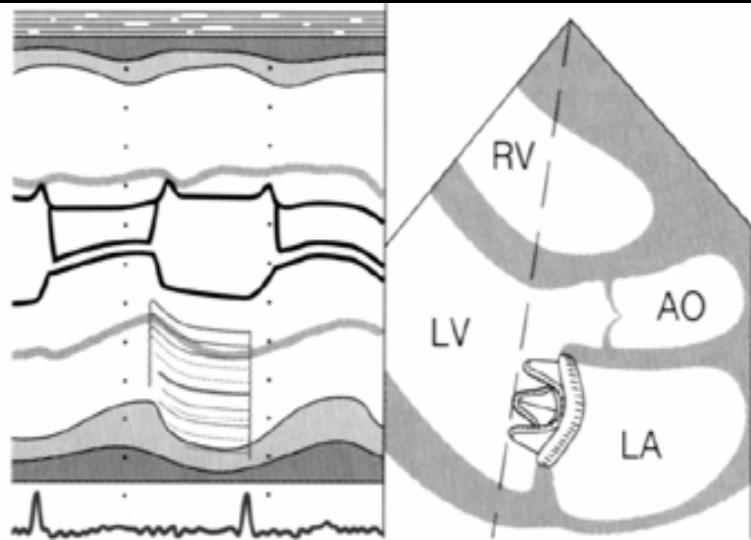


Björk-Shiley-Mitralklappenprothese.

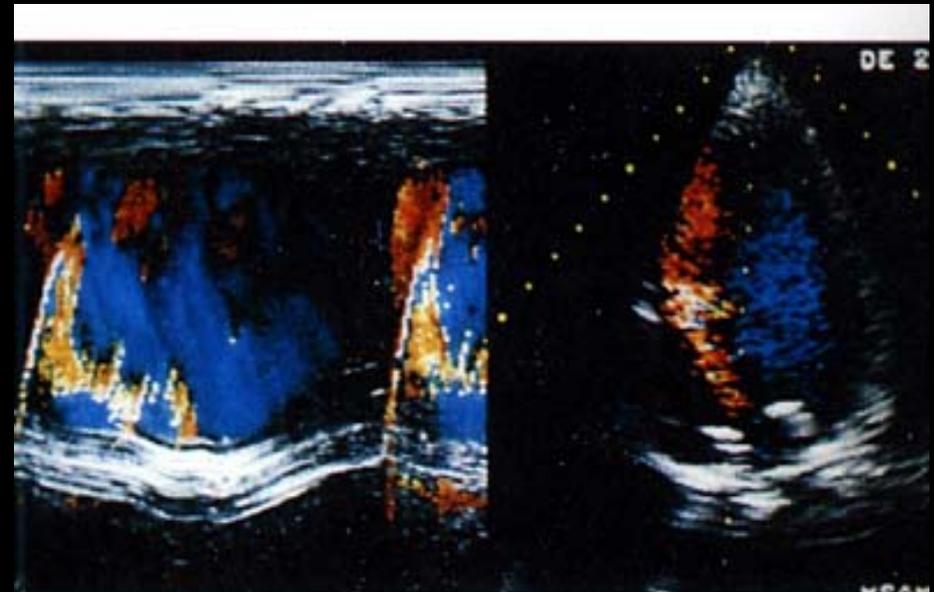


St. Jude-Medical-Mitralklappenprothese.

Öffnung: vorderer Flügel vom transducer weg nach hinten, hinterer Flügel zum transducer hin nach vorn!
 Kriterien: "Scharfkantigkeit", "zeitgerechte" Öffnung und Schließung

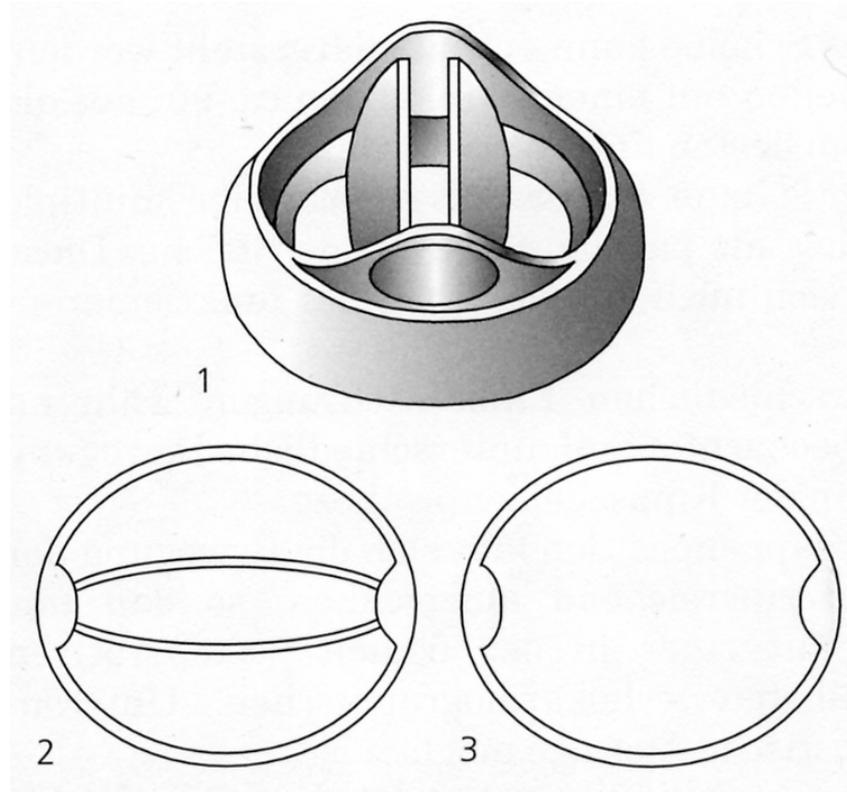


Parallelogrammartig angedeutete Öffnungs- und Schließbewegung der Prothese.



Stents (Haltebügel), jedoch keine Klappentaschen sichtbar.

- d Außendurchmesser (Nahringdurchmesser) (mm)
- A_t totale Prothesenöffnungsfläche (Prothesenringfläche): $(d/2)^2 \times \pi$
- A_{geo} geometrische Prothesenöffnungsfläche (abz. Ventilkörper)
- A_{eff} effektive Prothesenöffnungsfläche: $SV / 51,6 \times \Delta p$ (= MPVA)



Hämodynamik von Mitralklappenprothesen *in vivo* ([20]; modifiziert)

Prothese	d	Fluß	Δp	A_t	A_{geo}	A_{eff}	
Starr-Edwards 6120	30	157 ± 50	6,3 ± 2,0	7,07	2,86	1,8 ± 0,4	R
		251 ± 77	11,9 ± 3,6			2,0 ± 0,4	30 W
Björk-Shiley Standard	29	161 ± 40	4,5 ± 1,6	6,61	4,40	2,2 ± 0,5	R
		316 ± 39	9,4 ± 2,8			2,8 ± 0,6	30 W
Medtronic-Hall	29	148 ± 41	5,2 ± 3,3	6,61	4,52	1,9 ± 0,5	R
		329 ± 93	16,5 ± 1,7			2,3 ± 0,6	30 W
St. Jude-Medical	29	167 ± 42	2,3 ± 0,6	6,61	4,52	3,1 ± 0,8	R
		291 ± 73	6,4 ± 3,0			3,4 ± 0,7	30 W
Ionescu-Shiley	29	149 ± 46	5,3 ± 1,6	6,61	5,07	1,9 ± 0,8	R
		274 ± 31	11,2 ± 2,3			2,1 ± 0,9	30 W
<i>d</i>	<i>Außendurchmesser (Nahringdurchmesser) (mm)</i>						
Δp	<i>transprothetischer Druckgradient (mmHg) (= Δp_{mean})</i>						
A_t	<i>totale Prothesenöffnungsfläche (Prothesenringfläche): $(d/2)^2 \times \pi$</i>						
A_{geo}	<i>geometrische Prothesenöffnungsfläche (Prothesenöffnungsfläche unter Vernachlässigung des Ventilkörpers)</i>						
A_{eff}	<i>effektive Prothesenöffnungsfläche: $SV / 51,6 \times \sqrt{\Delta p}$ (= MPVA)</i>						
R	<i>Ruhe</i>						
30 W	<i>Belastung mit 30 W</i>						
SV	<i>transprothetisches Schlagvolumen (ml)</i>						

Doppler-echokardiografische Befunde für unterschiedliche Mitralklappenprothesen
 ([26]; modifiziert)

	Björk-Shiley (n = 24)	St. Jude-Medical (n = 30)	Duromedics (n = 20)	CE/H/MF (n = 20)
v_{max} (m/s)	1,68 ± 0,28	1,5 ± 0,25	1,54 ± 0,26	1,69 ± 0,29
v_{mean} (m/s)	1,04 ± 0,17	0,91 ± 0,20	0,96 ± 0,16	1,06 ± 0,21
Δp_{max} (mmHg)	11,9 ± 3,7	9,2 ± 3,0	9,7 ± 3,2	11,7 ± 4,1
Δp_{mean} (mmHg)	4,6 ± 1,5	3,5 ± 1,6	3,8 ± 1,2	4,7 ± 1,9
PHT (ms)	88 ± 31	71 ± 12	75 ± 21	95 ± 23
MPVA (cm ²)	2,75 ± 0,82	3,21 ± 0,57	3,11 ± 0,66	2,44 ± 0,61

CE Carpentier-Edwards, H Hancock, MF Mitroflow

v_{max} *maximal-instantane transprothetische Strömungsgeschwindigkeit*

v_{mean} *mittlere transprothetische Strömungsgeschwindigkeit*

Δp_{max} *maximal-instanter transprothetischer Druckgradient*

Δp_{mean} *mittlerer transprothetischer Druckgradient*

PHT *pressure half time, Druckhalbwertzeit*

MPVA *mitral prosthetic valve area, Mitralklappenprothesenöffnungsfläche*

Doppler-Normalwerte für Herzklappenprothesen

(Reisner SA, Meltzer RS. Normal values of prosthetic valve Doppler echocardiographic parameters: A review. J Am Soc Echocardiogr 1988;1:201)

Mitralklappenprothesen

<i>Prothese</i>	<i>Max. Flußgeschwindigkeit</i>	<i>Spitzengradient</i>	<i>mittlere Flußgeschwindigkeit</i>	<i>mittlerer Gradient</i>	<i>Half-time</i>	<i>MVA</i>
Starr-Edwards	1.88 ± 0.40	14.56 ± 5.50	1.07 ± 0.28	4.55 ± 2.40	109.5 ± 26.6	2.01 ± 0.49
St. Jude	1.56 ± 0.29	9.98 ± 3.62	0.88 ± 0.19	3.49 ± 1.34	76.5 ± 17.1	2.88 ± 0.64
Björk-Shirley	1.61 ± 0.30	10.72 ± 2.74	0.84 ± 0.24	2.90 ± 1.61	90.2 ± 22.4	2.44 ± 0.62
Lillehei-Kaster	1.84	13.54	0.92	3.35	125.0 ± 29.0	1.88 ± 0.56
Beall	1.80 ± 0.20	13.40 ± 4.0	1.22 ± 0.20	6.00 ± 2.00	129.4 ± 15.2	1.70 ± 0.20

Mitralklappenbioprothesen

<i>Prothese</i>	<i>Max. Flußgeschwindigkeit</i>	<i>Spitzengradient</i>	<i>mittlere Flußgeschwindigkeit</i>	<i>mittlerer Gradient</i>	<i>Half-time</i>	<i>MVA</i>
Ionescu-Shirley	1.46 ± 0.27	8.53 ± 2.91	0.90 ± 0.19	3.28 ± 1.19	93.3 ± 25.0	2.36 ± 0.75
Carpentier-Edwards	1.76 ± 0.26	12.49 ± 3.64	1.26 ± 3.64	6.48 ± 2.12	89.8 ± 25.4	2.45 ± 0.74
Hancock	1.54 ± 0.26	9.70 ± 3.20	1.07 ± 0.25	4.29 ± 2.14	128.6 ± 30.9	1.71 ± 0.41

SJM-Klappen (nach Größe)

<i>Größe</i>	<i>Max. Flußgeschwindigkeit</i>	<i>Spitzengradient</i>	<i>mittlere Flußgeschwindigkeit</i>	<i>mittlerer Gradient</i>	<i>Half-time</i>	<i>MVA</i>
27 mm	1.59 ± 0.27	10.11 ± 3.43	1.12 ± 0.22	5.00 ± 2.00	137.5	1.6
29 mm	1.54 ± 0.36	9.90 ± 4.49	0.82 ± 0.21	2.71 ± 1.36	78.0 ± 16.0	2.93 ± 0.60
31 mm			1.12 ± 0.34	5.00 ± 3.00	57.9 ± 6.10	3.80 ± 0.40

Doppler-echokardiografische Quantifizierung der Stenosekomponente von Mitralklappenprothesen

- **Druckhalbwertzeitmethode**

$$\text{MPVA (cm}^2\text{)} = 220/\text{PHT (ms)}$$

*MPVA, mitral prosthetic valve area, Mitralklappenprothesenöffnungsfläche
PHT, pressure half time, Druckhalbwertzeit*

- **Vereinfachte Gorlin-Formel**

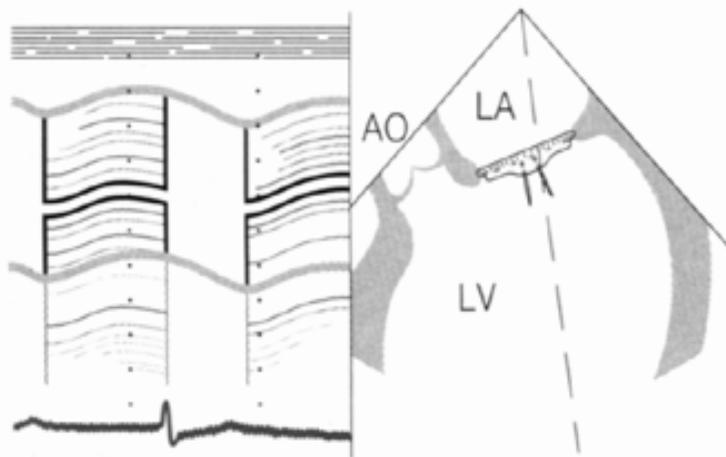
$$\text{MPVA (cm}^2\text{)} = \text{CO(l/min)}/\sqrt{\Delta P_m(\text{mmHg})}$$

CO, cardiac output, Herzminutenvolumen

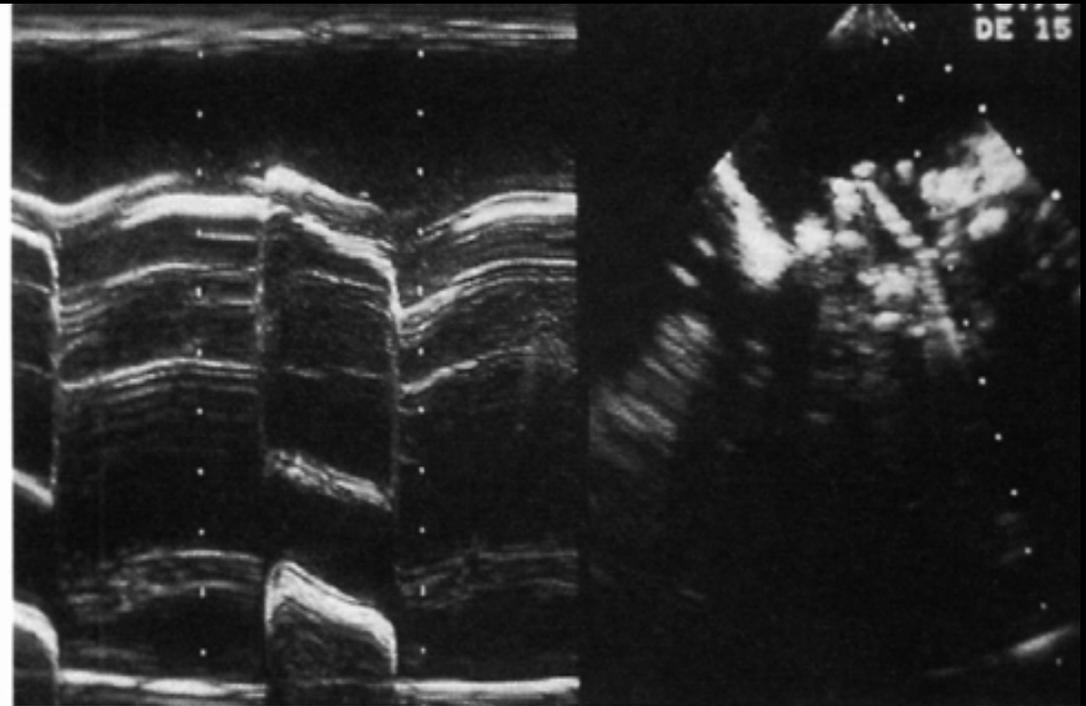
- **Kontinuitätsgleichung**

$$\text{MPVA (cm}^2\text{)} = \text{Prothesenringfläche (v}_1\text{/v}_2\text{)}$$

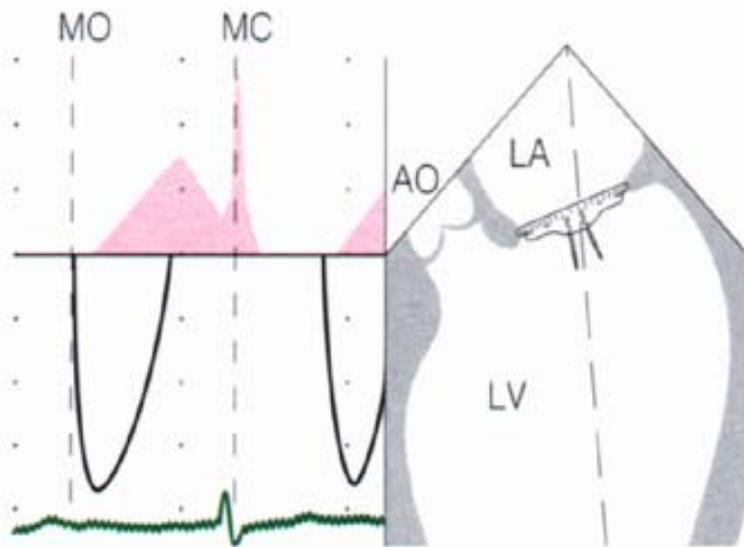
v₁, v₂, prä- bzw. transprothetische Strömungsgeschwindigkeit



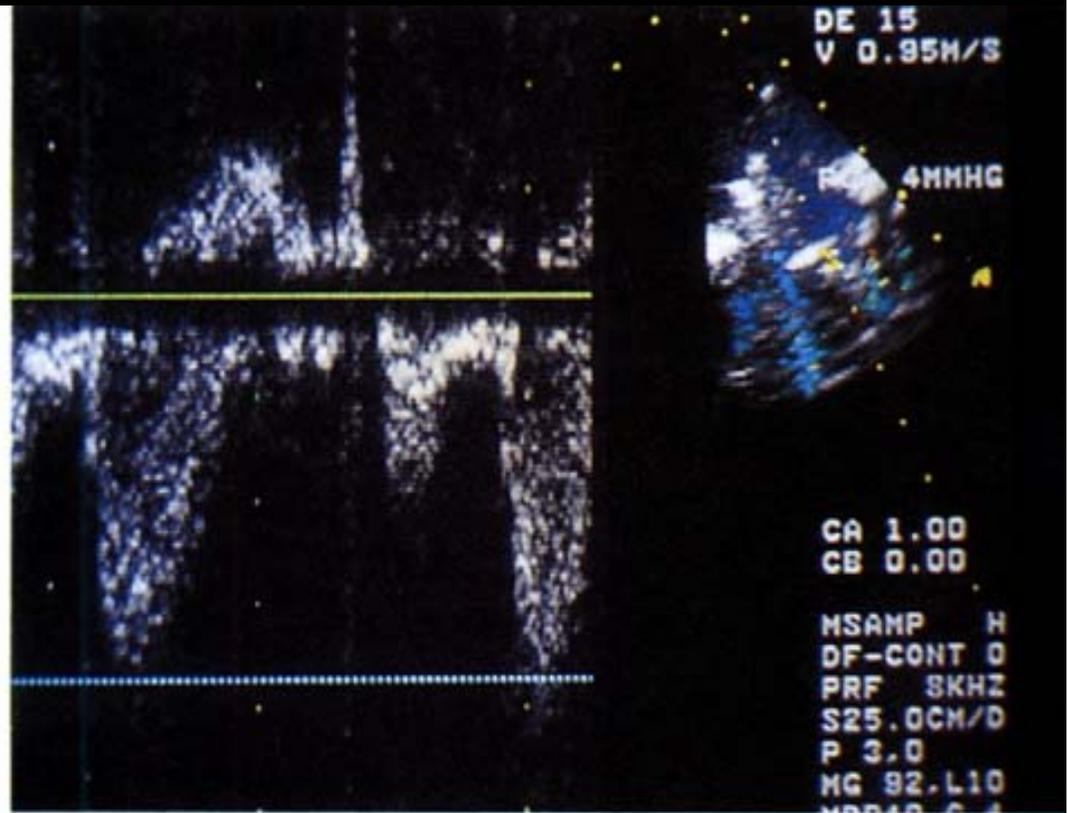
Mitralklappenersatz durch St. Jude-Medical-Prothese. Diastolisch sichtbare Flügel. Reguläre Prothesenfunktion. Mehrfachechos posterior der Prothese in Diastole.



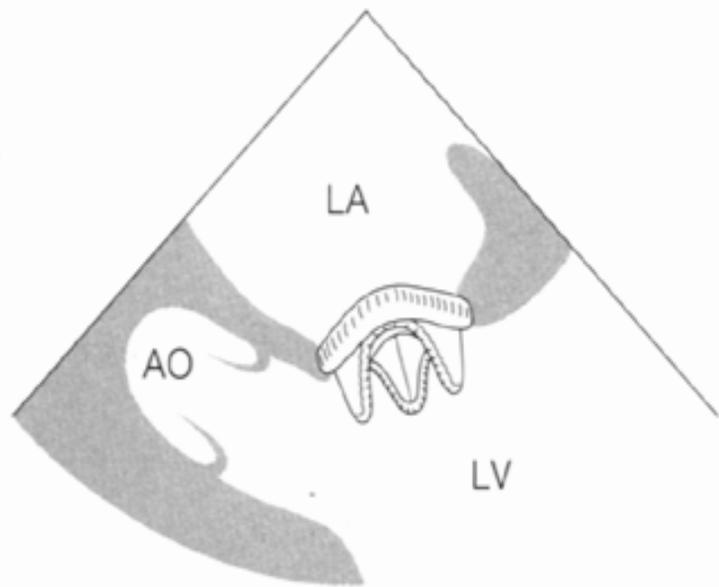
Transösophagealer *b*- und *m-mode*. Transversalschnitt.



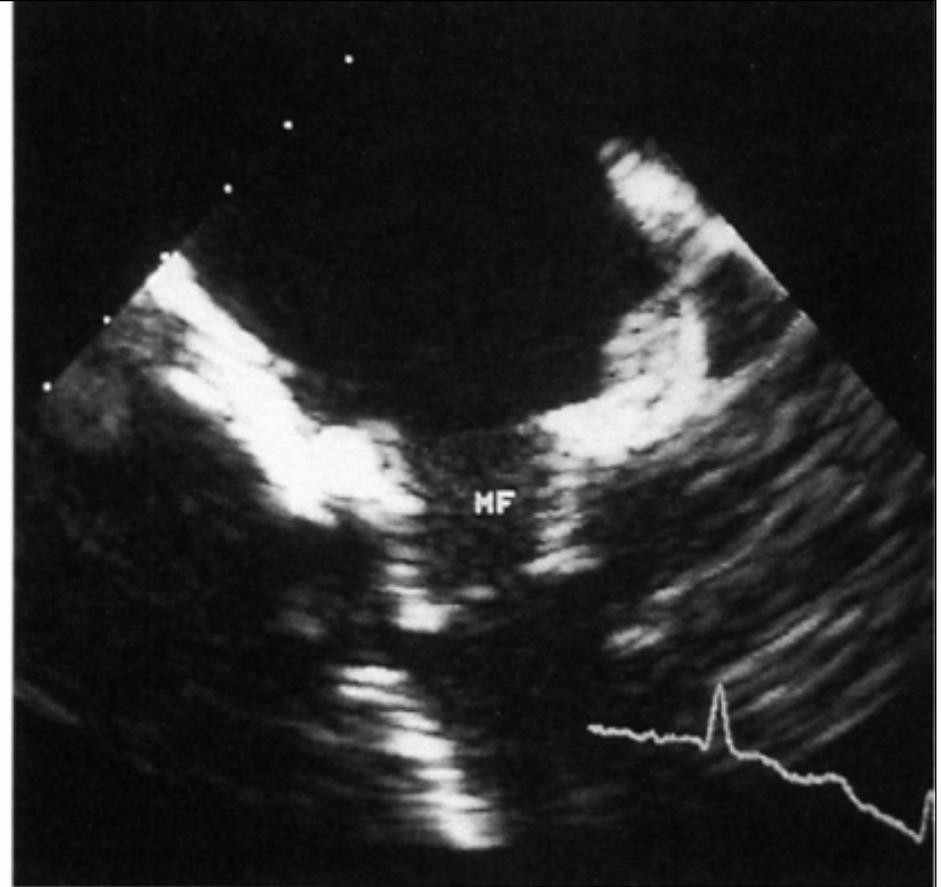
Gleicher Patient. Regulärer diastolischer transprothetischer Fluß, systolisch "closing volume".



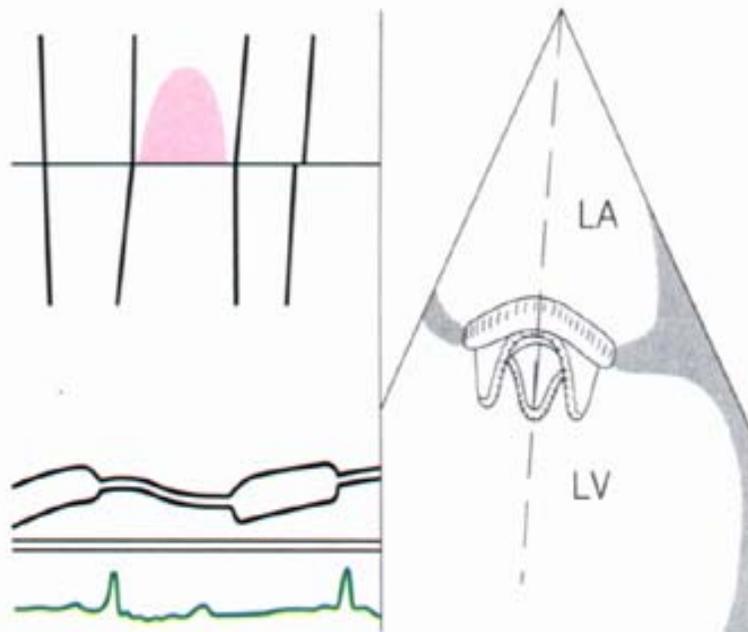
Transösophagealer *b-mode*, Transversalschnitt, farbkodierter PW-Doppler.



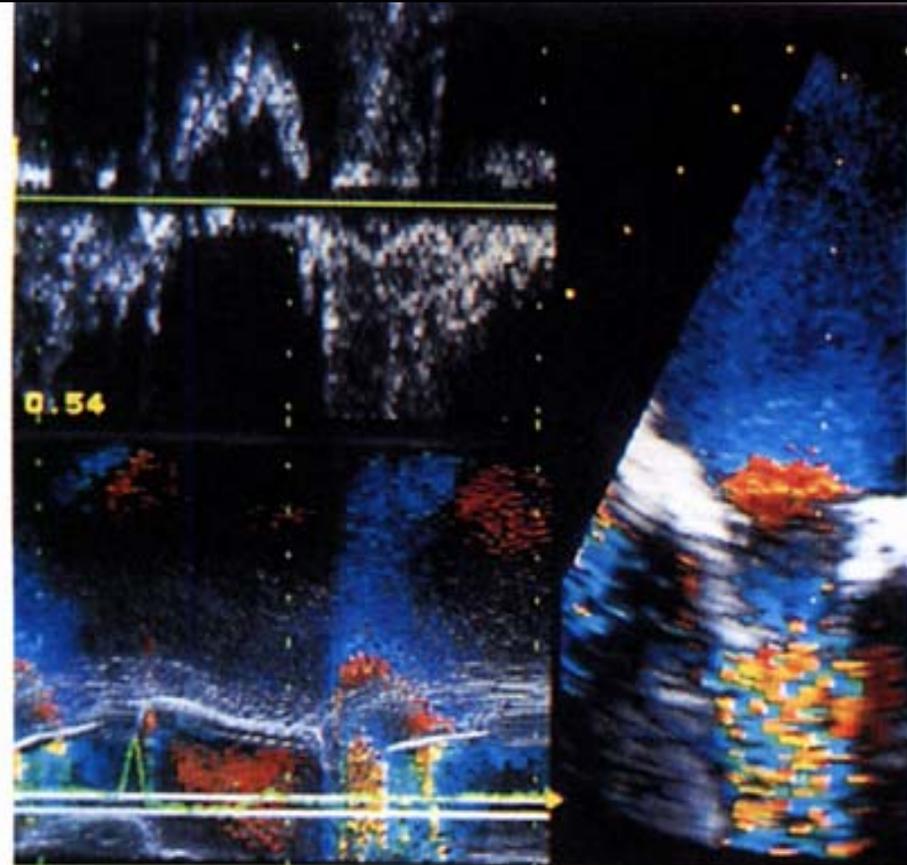
Mitralklappenersatz durch *Mitroflow*-Bioprothese.
Sichtbare Haltebügel. Reguläre Prothesenfunktion.



Transösophagealer *b-mode*, Transversalschnitt.

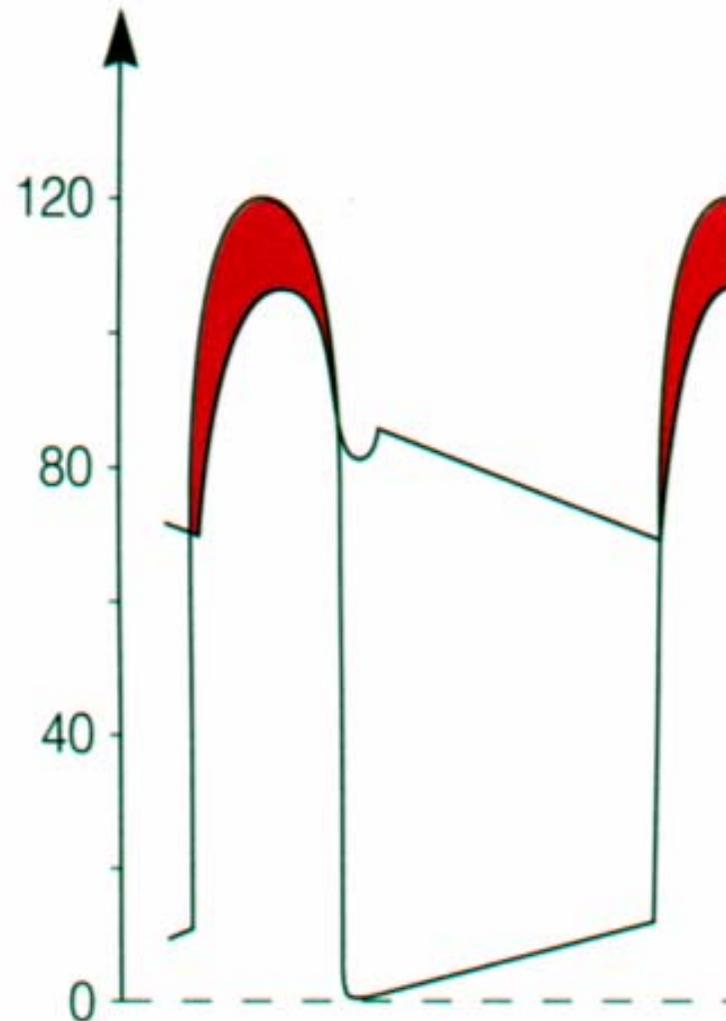


Gleicher Patient. Hochturbulenter diastolischer Fluß, *aliasing* in Prothesenebene und bioprothesentypisches "closing volume".

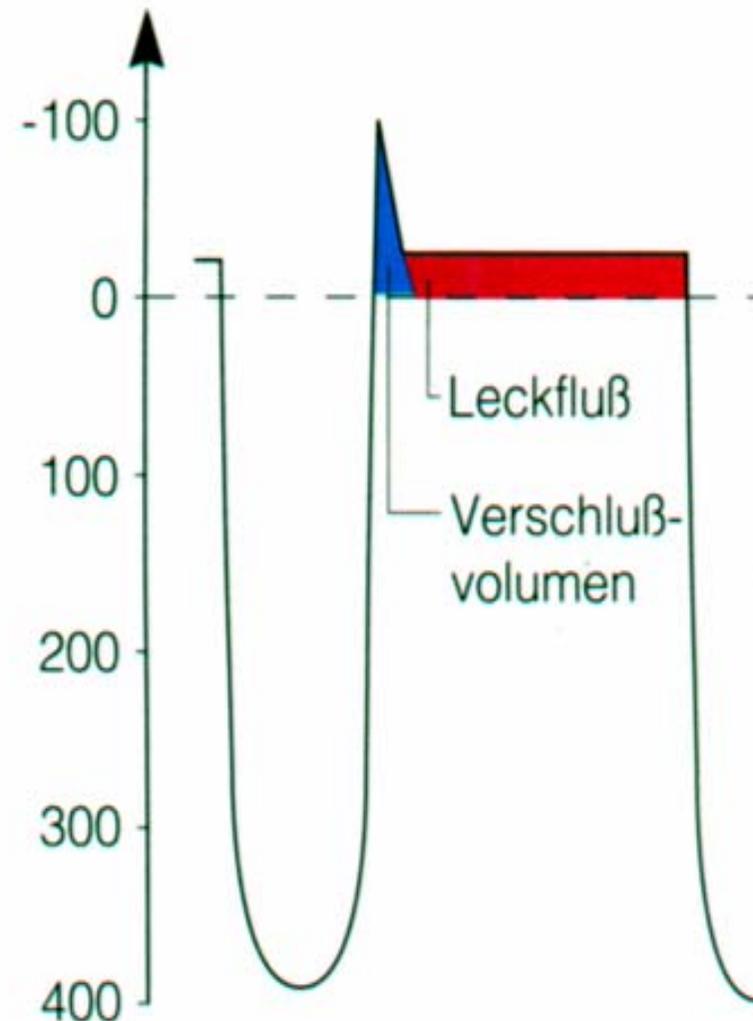


Transösophagealer *b-* und *m-mode* im Transversalschnitt, farbkodiert, PW-Doppler.

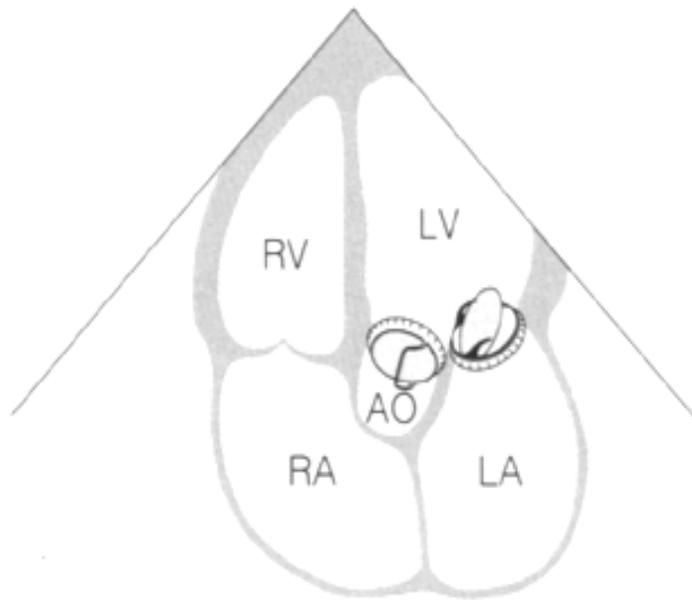
mmHg Druckverlust



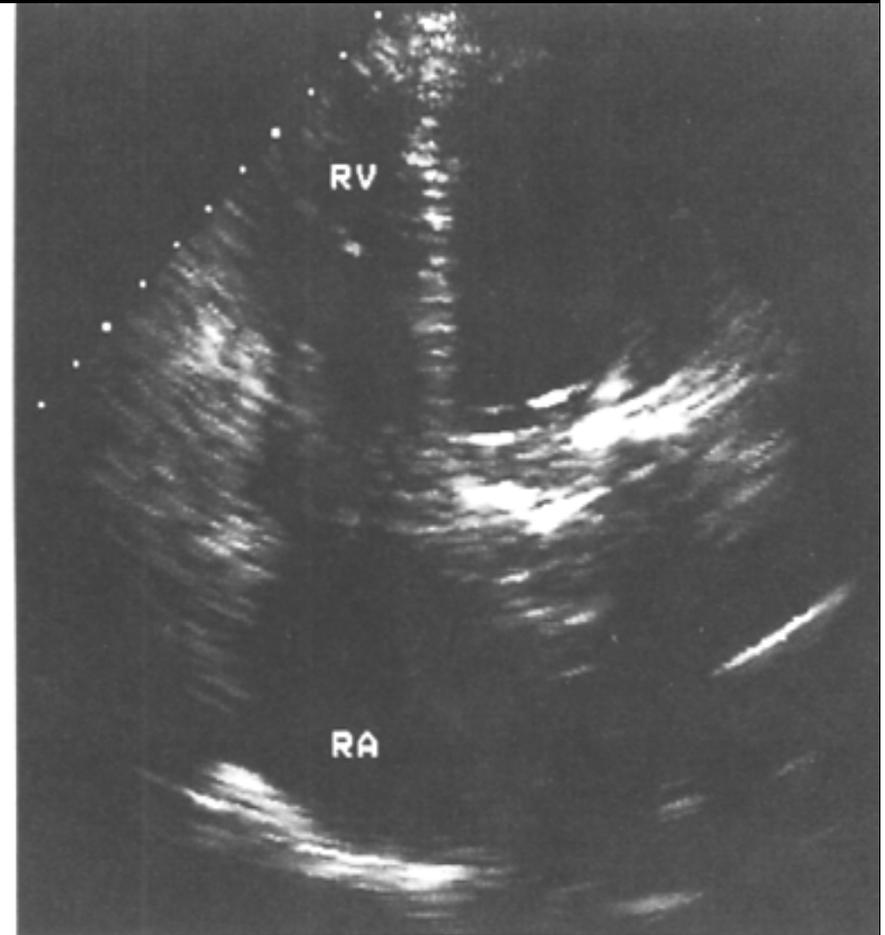
ml/s Volumenverlust



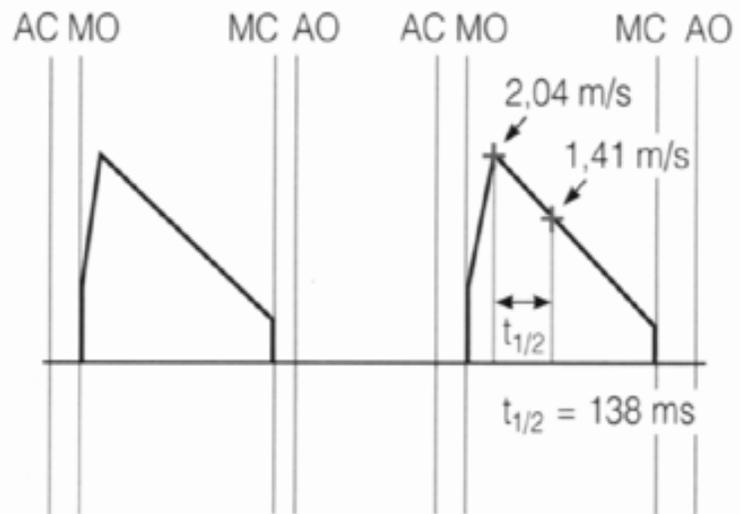
Druck- und Volumenverlust prothetischer Klappen. Dicht schließende Bioprothesen und *allografts* mit den Ring überlappendem Ventilkörper weisen keinen Leckfluß auf.



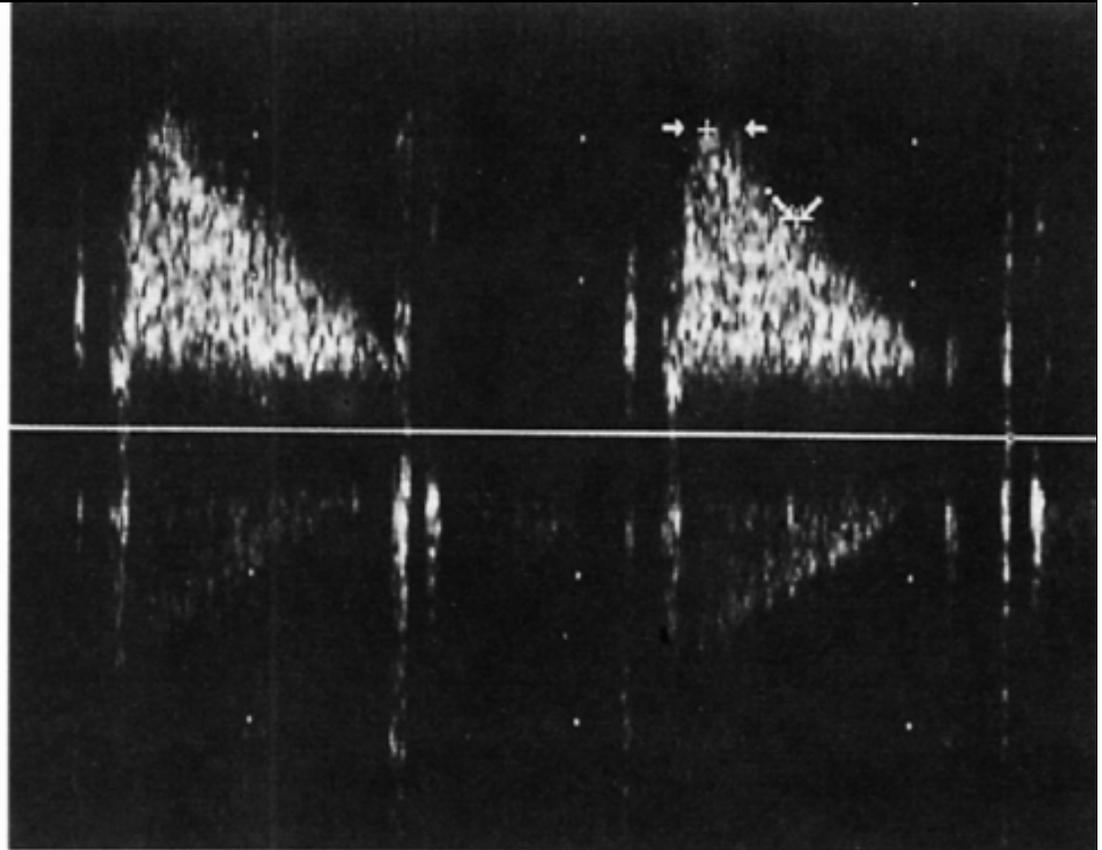
Mitral- und Aortenklappenersatz mit Lillehei-Kaster- bzw. Björk-Shiley-Prothese. Leichtes kombiniertes Trikuspidalvitium. Mitralrestenose.



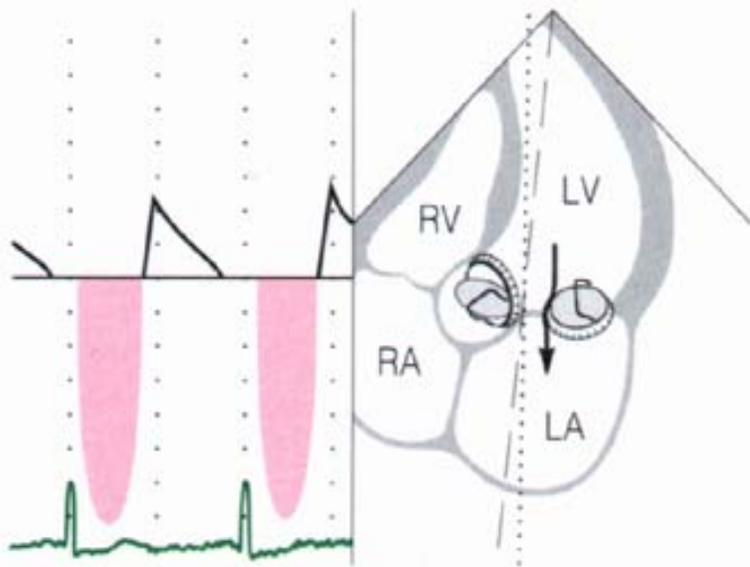
B-mode, apikaler Vierkammerblick.



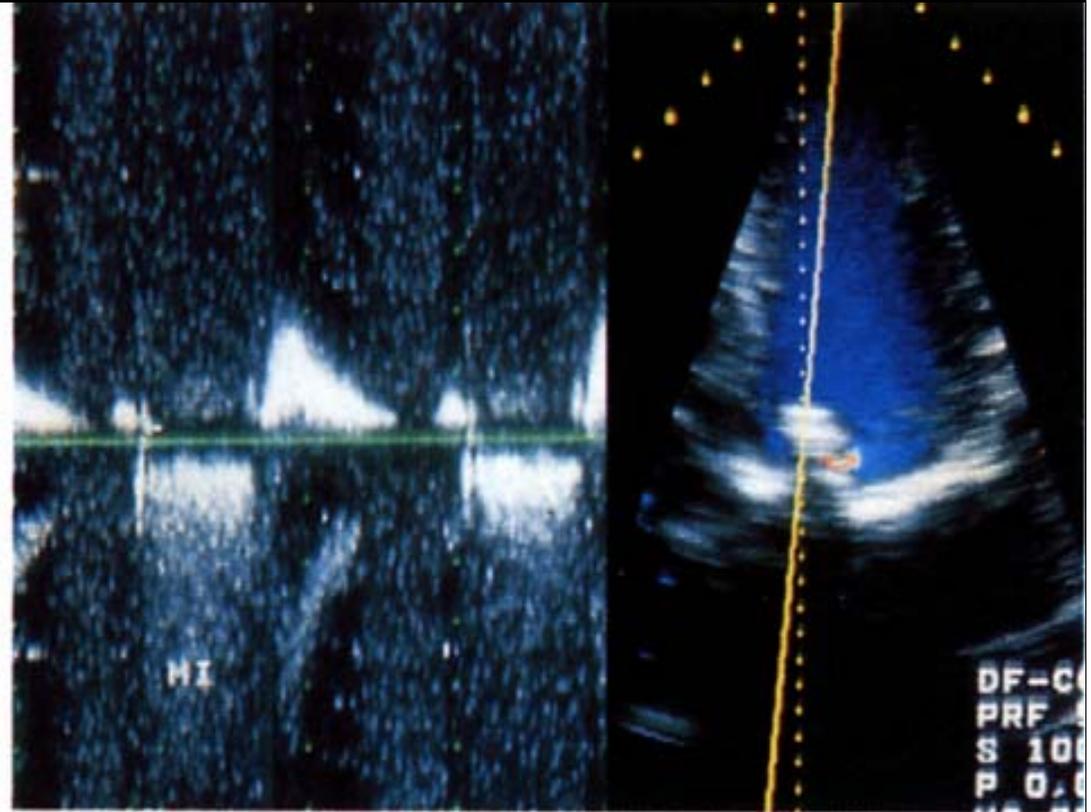
Gleiche Patientin. Maximal-instantaner transprothetischer Druckgradient 17 mmHg. Druckhalbwertzeit 138 ms, effektive Mitralklappenprothesenöffnungsfläche 1,59 cm².



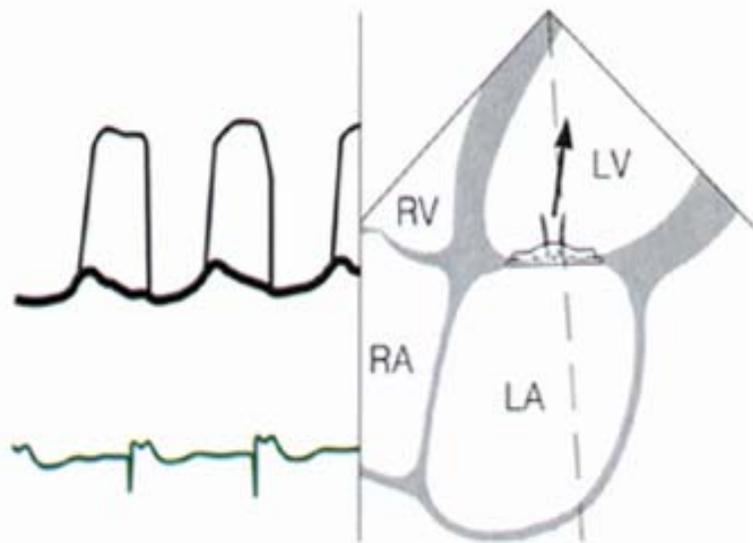
CW-Spektrum.



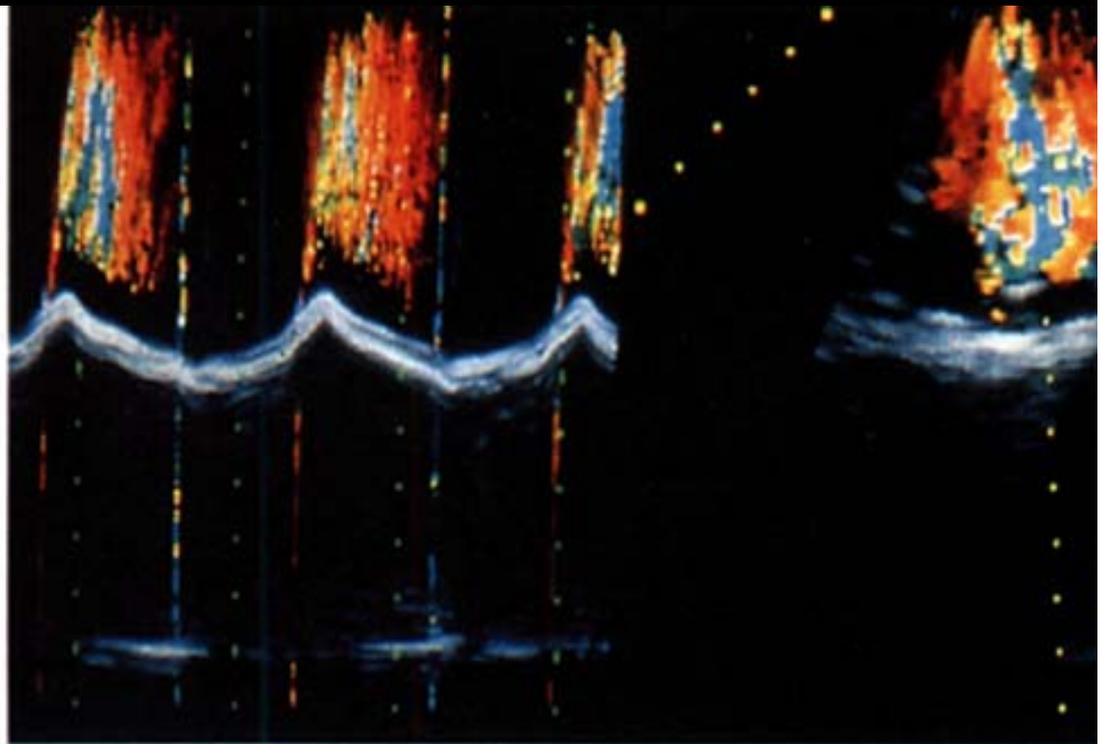
Paraprothetisches Leck einer Björk-Shiley-Mitralklappenprothese bei Z. n. Mitral- und Aortenklappenersatz. Schneller und turbulenter, düsenartiger Regurgitationsjet.



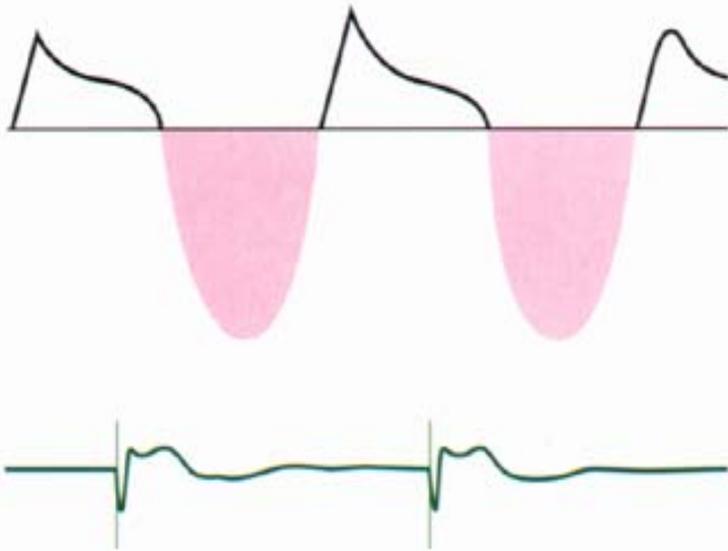
B-mode, apikaler Vierkammerblick. Farbkodierter CW-Doppler.



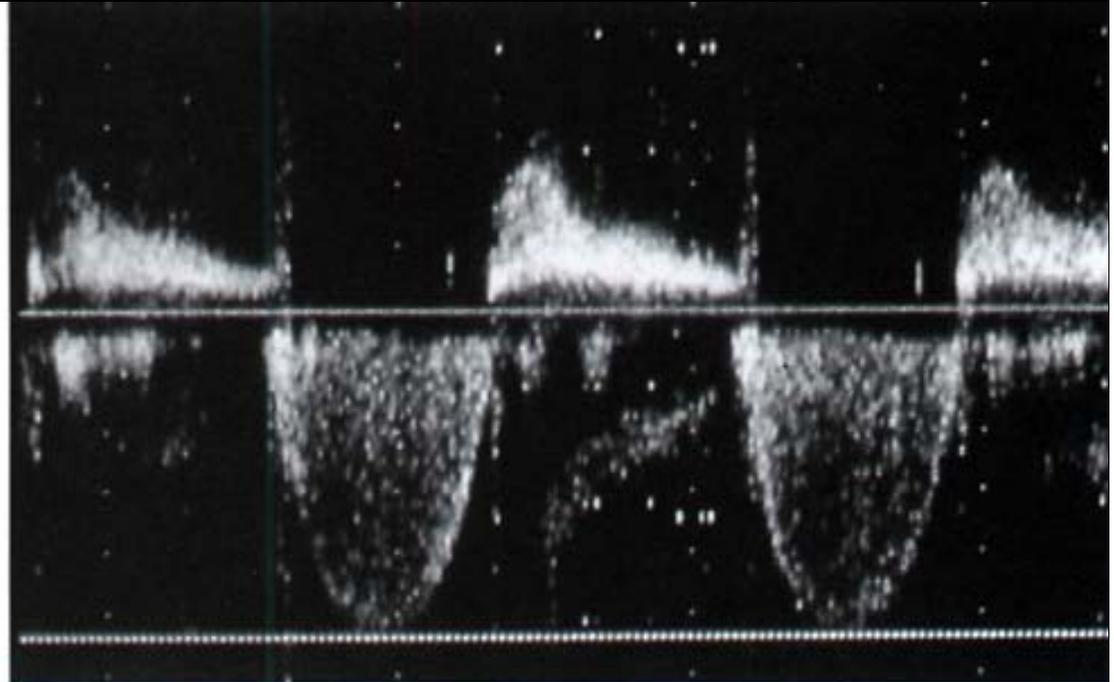
Gleicher Patient. Paraprothetisches Leck einer Duro-medics-Mitralkappenprothese: In der Farbkodierung ist - bei dieser Anlotung - keine Protheseninsuffizienz sichtbar.



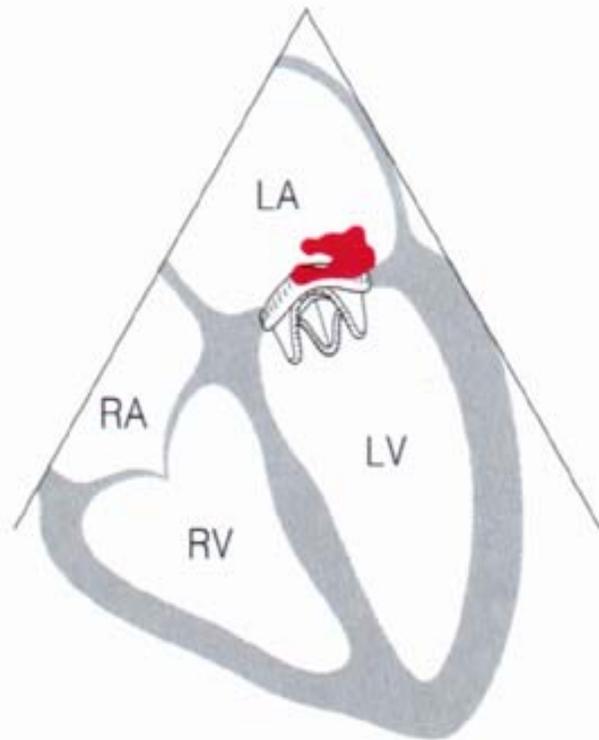
B- und m-mode, apikaler Vierkammerblick, farbkodiert.



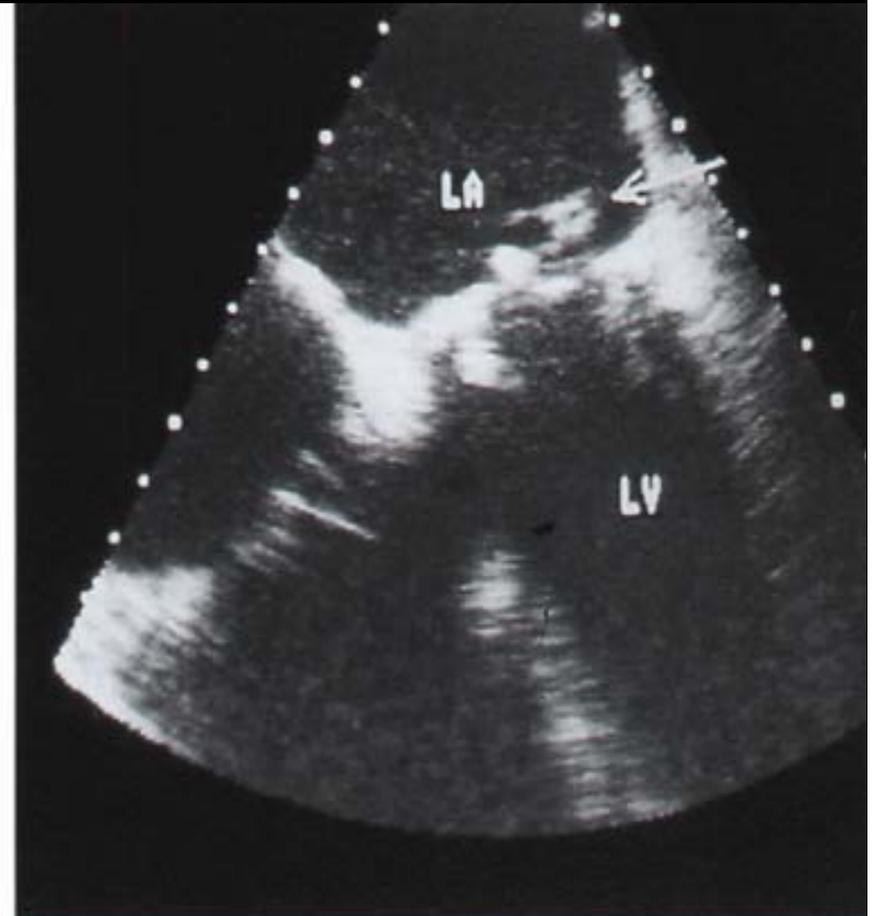
Gleicher Patient. Paraprothetisches Leck einer Duro-medics-Mitralklappenprothese: Protheseninsuffizienz im CW-Doppler.



CW-Dopplerspektrum.



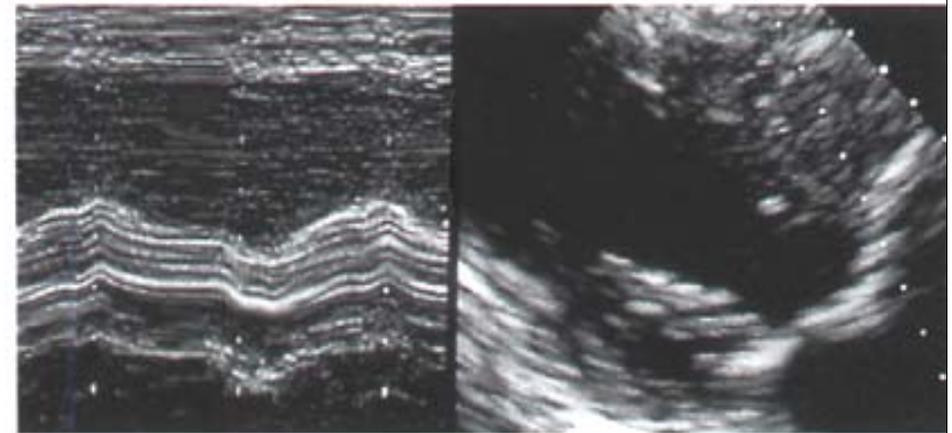
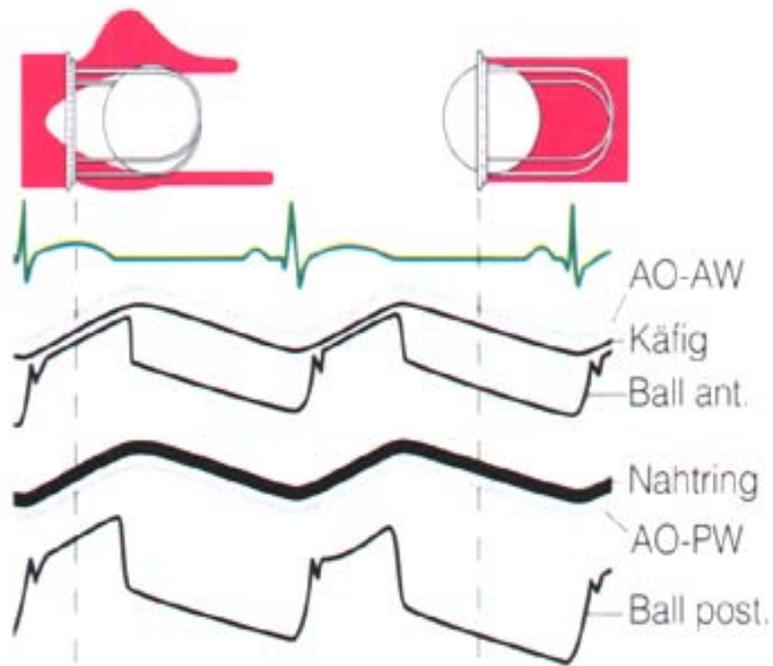
Mitralklappenbioprothesenendokarditis: Lateral der Prothese adhärenente Vegetation.



Transösophagealer *b-mode*, Transversalschnitt.

Funktionsbeurteilung prothetischer Klappen

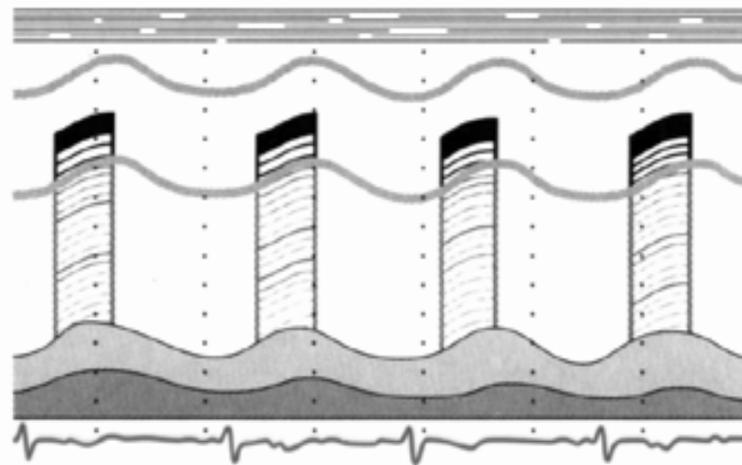
Aortenklappenprothesen



Starr-Edwards 1260.

günstig: m-mode, rechts jugular

Merke: eine Kugelgrenze projiziert sich ausserhalb des Käfigs
(niedrigere Schallausbreitung in der Kugel)

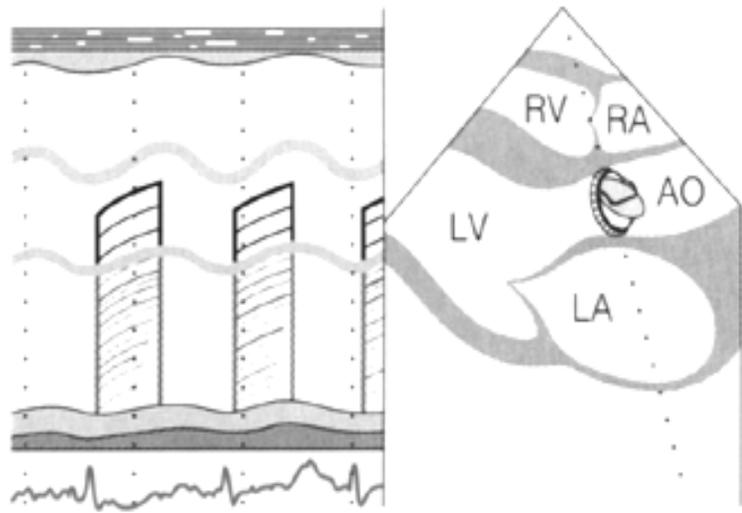


Björk-Shiley-Aortenklappenprothese.

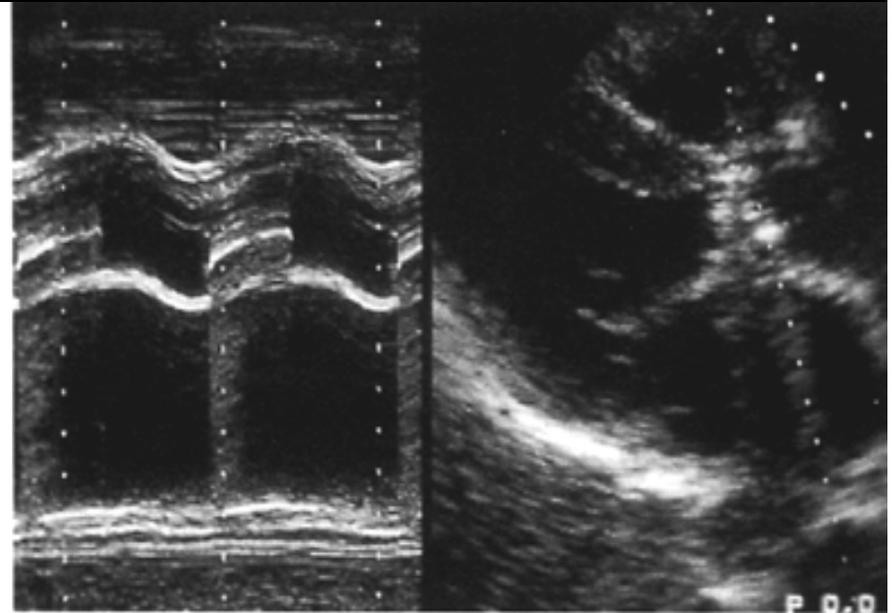


Öffnungs- und Schließgeschwindigkeit um 700 mm/s. Die größere Scheibenhälfte bewegt sich systolisch zum Schallkopf hin (anterior).

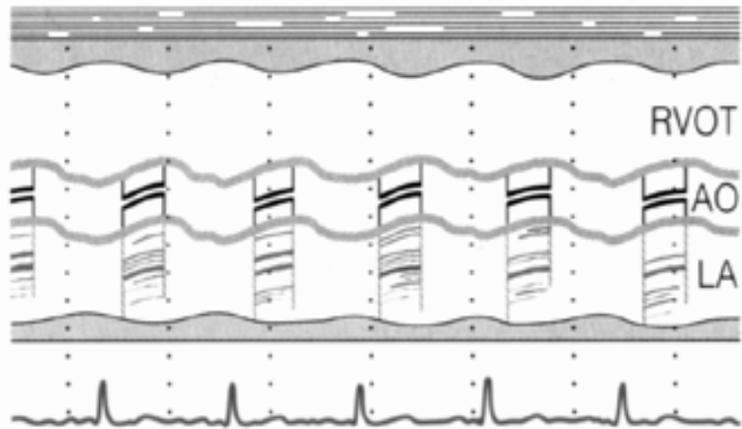
günstig: 90°-Winkel (links parasternal)



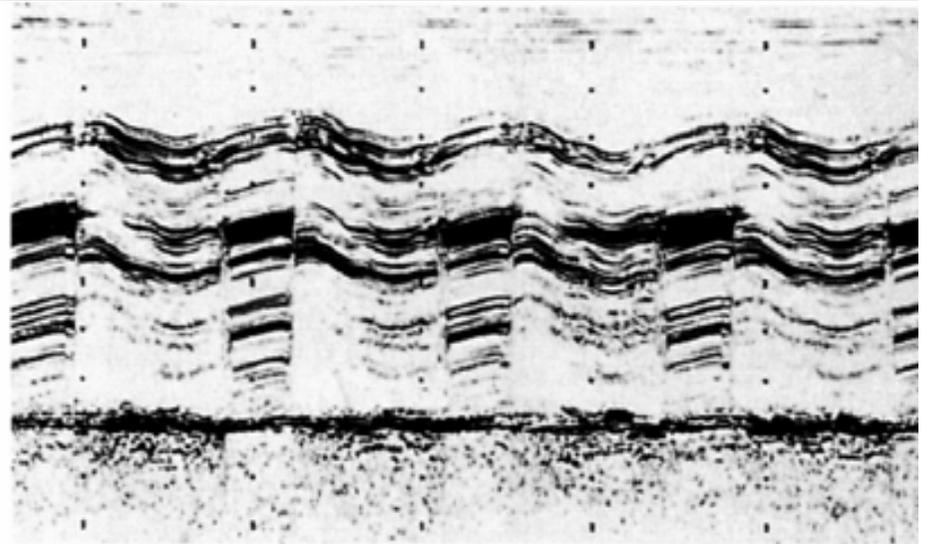
Björk-Shiley-Aortenklappenprothese.



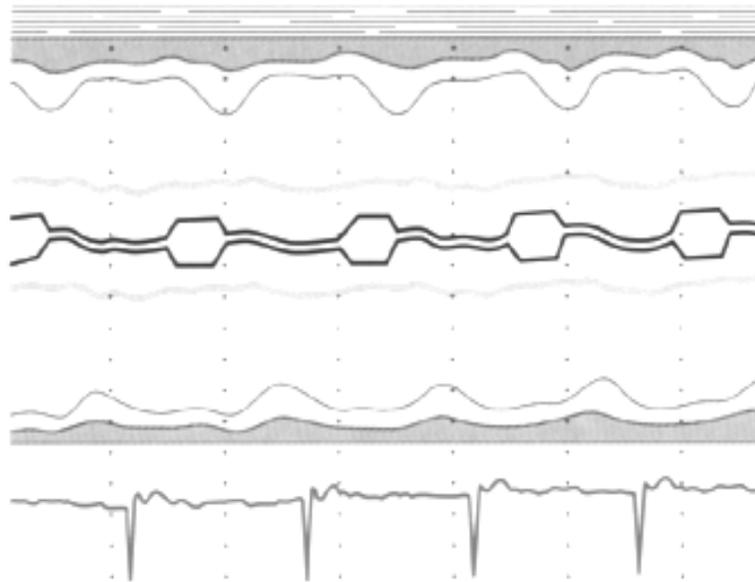
Björk-Shiley-Aortenklappenprothese.



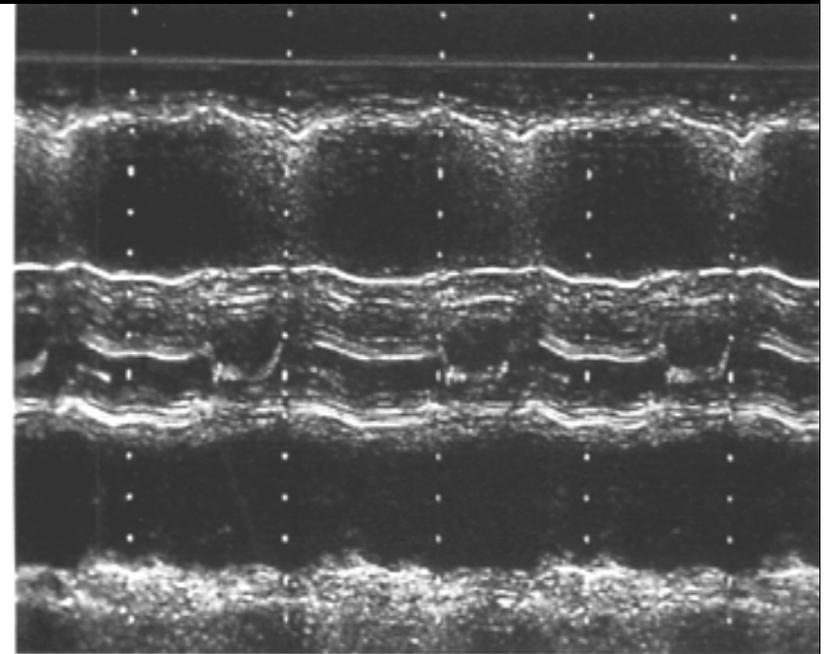
St. Jude-Medical-Aortenklappenprothese.



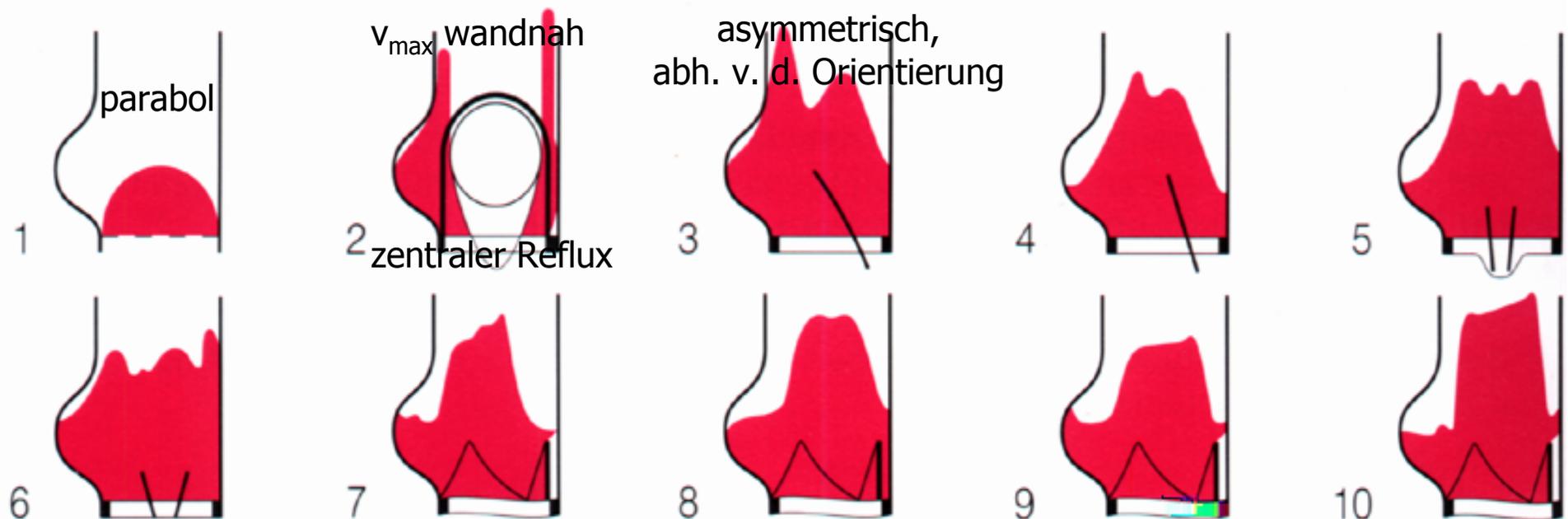
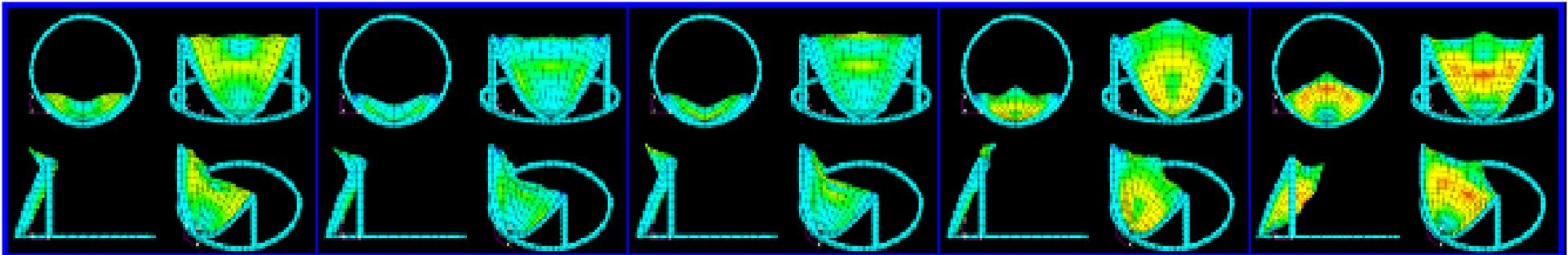
St. Jude-Medical-Aortenklappenprothese.



Homograft.



Homograft.



1. Native Aortenklappe. 2. Starr-Edwards-Kugelprothese. 3. Björk-Shiley-, 4. Medtronic-Hall-Scheibenprothese. 5. St.Jude Medical-, 6. Duro-medics-Doppelflügelprothese. 7. Hancock-, 8. Carpentier-Edwards-Bioprothese. 9. Mitroflow-, 10. Ionescu-Shiley-Bioprothese (2-6: allografts, 7-8: porcine, 9-10: bovine heterografts).

Hohe Strömungsgeschwindigkeiten und Scherkräfte: Hämolyse,
 Endothelaufrauungen/-läsionen als Prädilektionsstellen für eine Keimbesiedlung
 Postprothetische Bereiche verminderter Strömung: Thrombenbildung

Hämodynamik von Aortenklappenprothesen *in vivo* ([19]; modifiziert)

Prothese	d	Fluß	Δp	A_t	A_{geo}	A_{eff}	
Starr-Edwards 1260	24	301 ± 61	25,1 ± 4,7	4,52	1,79	1,4 ± 0,2	R
		457 ± 53	37,0 ± 8,4			1,7 ± 0,2	30 W
Björk-Shiley Standard	23	284 ± 82	18,9 ± 5,2	4,15	2,55	1,5 ± 0,3	R
		441 ± 111	28,5 ± 6,5			1,9 ± 0,3	30 W
St. Jude Medical	23	299 ± 52	9,6 ± 3,1	4,15	2,55	2,2 ± 0,3	R
		433 ± 64	15,7 ± 3,2			2,5 ± 0,3	30 W
Ionescu-Shiley	23	204 ± 14	10,8 ± 1,6	4,15	2,96	1,6 ± 0,1	R
		324 ± 13	17,3 ± 1,6			2,1 ± 0,1	30 W

d Außendurchmesser (Nahringdurchmesser) (mm)

Δp transprothetischer Druckgradient (mmHg) (= Δp_{mean})

A_t totale Prothesenöffnungsfläche (Prothesenringfläche): $(d/2)^2 \times \pi$

A_{geo} geometrische Prothesenöffnungsfläche (Prothesenöffnungsfläche unter Vernachlässigung des Ventilkörpers)

A_{eff} effektive Prothesenöffnungsfläche: $SV / 51,6 \times \sqrt{\Delta p}$ (= APVA)

R Ruhe

30 W Belastung mit 30 W

SV transprothetisches Schlagvolumen (ml)

Doppler-Normalwerte für Herzklappenprothesen

(Reisner SA, Meltzer RS. Normal values of prosthetic valve Doppler echocardiographic parameters: A review. J Am Soc Echocardiogr 1988;1:201)

Aortenklappenprothesen

<i>Prothese</i>	<i>Max. Flußgeschwindigkeit</i>	<i>Spitzengradient</i>	<i>mittlere Flußgeschwindigkeit</i>	<i>mittlerer Gradient</i>
St. Jude	2.37 ± 0.27	25.5 ± 5.12	1.69 ± 0.47	12.5 ± 6.35
Björk-Shirley	2.62 ± 0.42	23.8 ± 8.80	1.82 ± 0.34	14.3 ± 5.25
Starr-Edwards	3.10 ± 0.47	38.6 ± 11.7	2.45 ± 0.20	24.0 ± 4.0

Aortenklappenbioprothesen

<i>Prothese</i>	<i>Max. Flußgeschwindigkeit</i>	<i>Spitzengradient</i>	<i>mittlere Flußgeschwindigkeit</i>	<i>mittlerer Gradient</i>
Carpentier-Edwards	2.37 ± 0.46	23.18 ± 8.72	1.87 ± 0.37	14.4 ± 5.7
Hancock	2.38 ± 0.35	23.0 ± 6.71	1.66 ± 0.17	11.0 ± 2.29
Ionescu-Shirley	2.49 ± 1.71	24.68 ± 7.65	1.85 ± 0.29	13.99 ± 4.3

Aortenklappenprothesen (nach Größe)

<i>Prothese</i>	<i>Größe</i>	<i>Max. Flußgeschwindigkeit</i>	<i>Spitzengradient</i>	<i>mittlere Flußgeschwindigkeit</i>	<i>mittlerer Gradient</i>
SJM	19	3.00 ± 0.77	31.2 ± 17.3	2.36 ± 0.58	22.2 ± 11.0
	21	2.70 ± 0.26	30.0 ± 5.7	1.89 ± 0.33	14.4 ± 5.0
	23	2.32 ± 0.60	23.2 ± 11.5	1.64 ± 0.48	10.8 ± 6.3
	25	2.20 ± 0.46	19.8 ± 8.2	1.24 ± 0.45	11.0 ± 6.0
Björk-Shirley	19			2.29 ± 0.38	21.0 ± 7.0
	21	2.76 ± 0.90	30.5 ± 19.87	2.0	16.0
	23	2.59 ± 0.42	27.29 ± 8.7	1.87 ± 0.33	14.0 ± 5.0
	25	2.14 ± 0.31	18.38 ± 5.31	1.82 ± 0.17	13.3 ± 2.53
	27	1.91 ± 0.20	14.55 ± 3.06	1.56 ± 0.20	9.7 ± 2.53
	29	1.87 ± 0.20	13.99 ± 2.54	1.32 ± 0.57	7.0 ± 6.0

Aortenklappenbioprothesen (nach Größe)

<i>Prothese</i>	<i>Größe</i>	<i>Max. Flußgeschwindigkeit</i>	<i>Spitzengradient</i>	<i>mittlere Flußgeschwindigkeit</i>	<i>mittlerer Gradient</i>
SJM	19	3.00 ± 0.77	31.2 ± 17.3	2.36 ± 0.58	22.2 ± 11.0
	21	2.70 ± 0.26	30.0 ± 5.7	1.89 ± 0.33	14.4 ± 5.0
	23	2.32 ± 0.60	23.2 ± 11.5	1.64 ± 0.48	10.8 ± 6.3
	25	2.20 ± 0.46	19.8 ± 8.2	1.24 ± 0.45	11.0 ± 6.0
Björk-Shirley	19			2.29 ± 0.38	21.0 ± 7.0
	21	2.76 ± 0.90	30.5 ± 19.87	2.0	16.0
	23	2.59 ± 0.42	27.29 ± 8.7	1.87 ± 0.33	14.0 ± 5.0
	25	2.14 ± 0.31	18.38 ± 5.31	1.82 ± 0.17	13.3 ± 2.53
	27	1.91 ± 0.20	14.55 ± 3.06	1.56 ± 0.20	9.7 ± 2.53
	29	1.87 ± 0.20	13.99 ± 2.54	1.32 ± 0.57	7.0 ± 6.0

Kontinuitätsgleichung in der

Quantifizierung der Hämodynamik von
Aortenklappenprothesen

- $A_1 v_1 = A_2 v_2$
 $A_t v_{LV-OT} = APVA v_{APV}$

$$APVA(\text{cm}^2) = (A_t[\text{cm}^2] v_{LV-OT}[\text{m/s}] / v_{APV}(\text{m/s}))$$

$A_t = A_t$, totale Aortenklappenprothesenringfläche

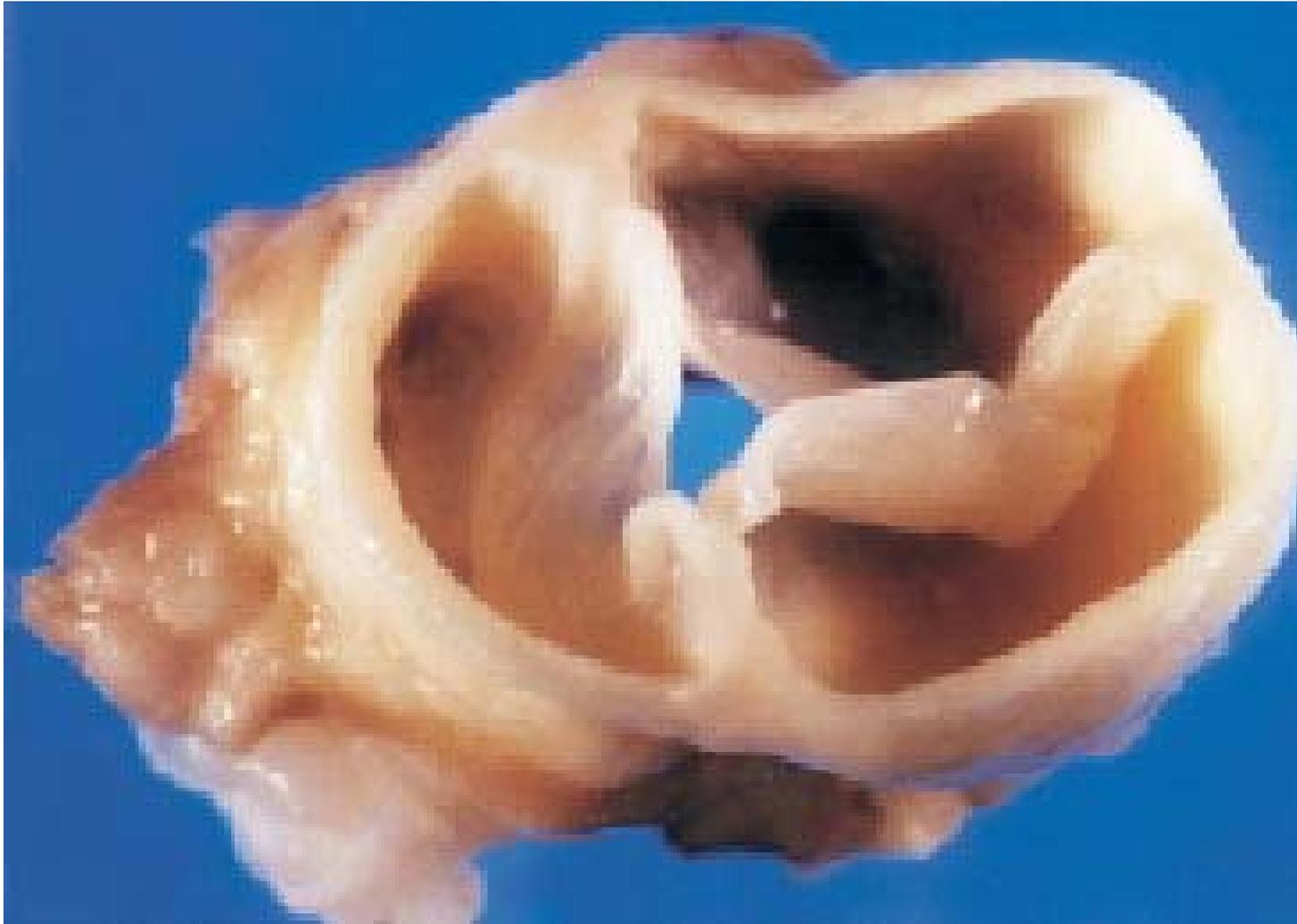
$v_1 = v_{LV-OT}$, präprothetische Strömungsgeschwindigkeit

$A_2 = APVA$, APVA, aortic prosthetic valve area,
Aortenklappenprothesenöffnungsfläche

$v_2 = v_{APV}$, Strömungsgeschwindigkeit des transprothetischen jets

Homograft:

antibiotikakonservierte menschliche Aortenklappe
mit Bulbus (miniroot-Technik)



Überschätzung von Regurgitationsgeschwindigkeiten an intakten mechanischen Herzklappenprothesen und anderen kleineren Öffnungen unter 10 mm² mittels der kontinuierlichen Dopplerechokardiographie

Overestimation of flow velocity through leaks in mechanical valve prostheses and in small orifices by continuous wave Doppler

W. Lepper, F.A. Flachskampf, J. Köhler, P. Ask, P. Hanrath

Zusammenfassung Bezüglich der Zuverlässigkeit der dopplerechokardiographischen Messungen von Geschwindigkeiten an Insuffizienz-Jets bei intakten mechanischen Herzklappenprothesen und an sehr kleinen Düsen (< 10 mm²) liegen keine systematischen Untersuchungen vor. In einem stationär durchströmten In-vitro-Modell wurde die Genauigkeit der mittels kontinuierlicher Dopplerechokardiographie bestimmten retrograden Geschwindigkeiten an zwölf intakten mechanischen Herzklappenprothesen und sechs kleinen kreisrunden Düsen (0,5-20 mm²) bei verschiedenen Druckdifferenzen (30-105 mm Hg) im Vergleich mit der nach der Bernoulli-Gleichung zu erwartenden Geschwindigkeit überprüft. Mittels Laser-Doppleranemometrie wurden außerdem vergleichend die Geschwindigkeiten an den Düsen gemessen.

An den Lecks der Herzklappen fand sich, bei hoher Korrelation, im Mittel eine erhebliche Überschätzung der nach Bernoulli zu erwartenden Geschwindigkeiten (im Mittel +12,3 ± 9,4%; Spannweite 90,3 bis 143,4%). Eine Überschätzung von im Mittel +6,2 ± 2% fand sich bei den Düsen ≤ 10 mm², nicht jedoch bei Düsendurchmessern ≥ 20 mm². Bei den Messungen mittels Laser-Doppleranemometrie an den Düsen fanden sich etwas niedrigere Werte, als nach Bernoulli zu erwarten gewesen wäre.

Dieses Phänomen ist zumindest zum Teil durch den sogenannten *Transit-time*-Effekt erklärbar und sollte bei der Verwendung des Dopplersignals von Strömungen durch sehr kleine Öffnungen, wie z.B. Insuffizienz-Jets, berücksichtigt werden.

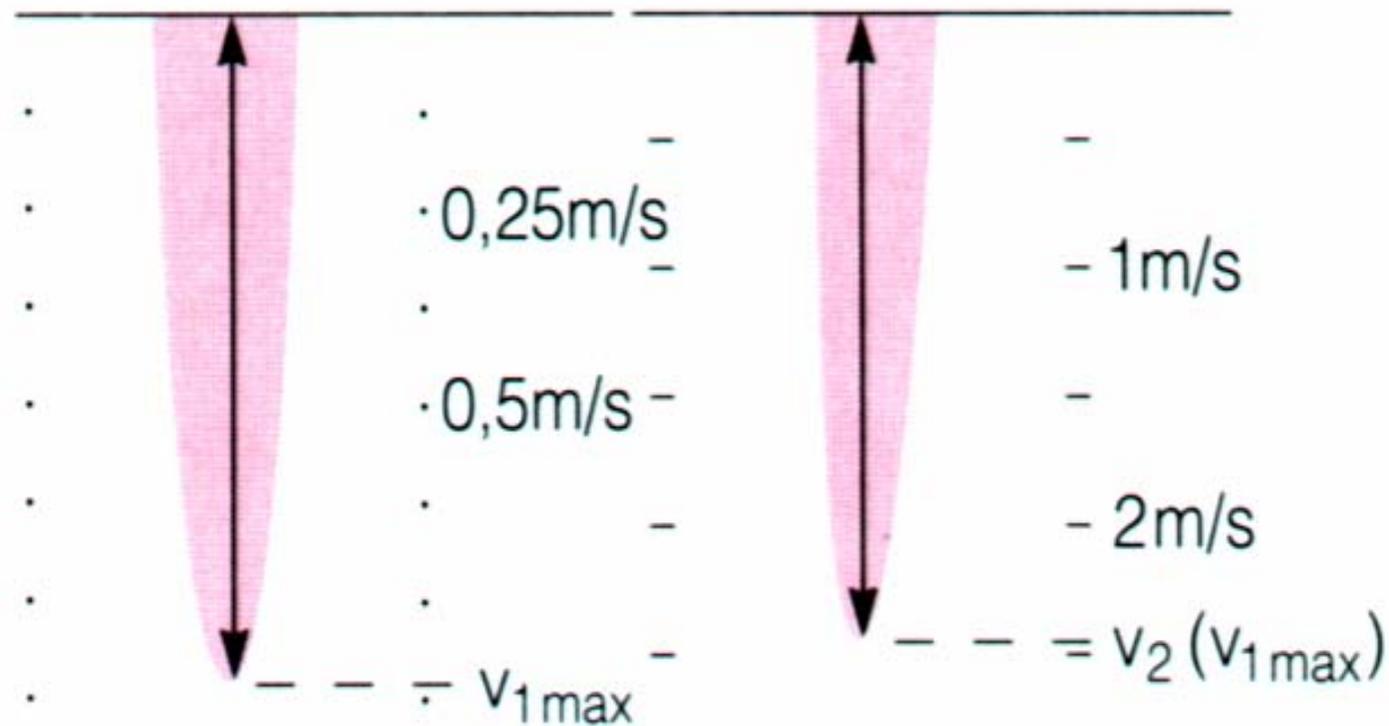
Doppler-echokardiografische Quantifizierung der Stenosekomponente von Aortenklappenprothesen

Mittlerer transprothetischer Druckgradient [27, 34, 38]

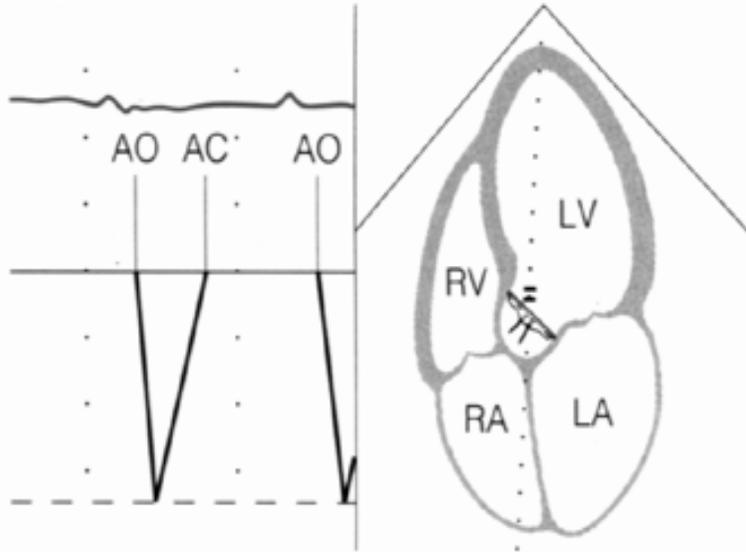
Kontinuitätsgleichung [6, 9, 12, 15, 39]

- ▶ Standard-Kontinuitätsgleichung: $APVA = SV / TVI_{cw}$
- ▶ Vereinfachte Kontinuitätsgleichung: $APVA = (A_t \times v_{LV-OT}) / v_{APV}$
- ▶ Doppler-Index: $APVA = v_{max,LV-OT} / v_{max,APV}$ [6, 41]

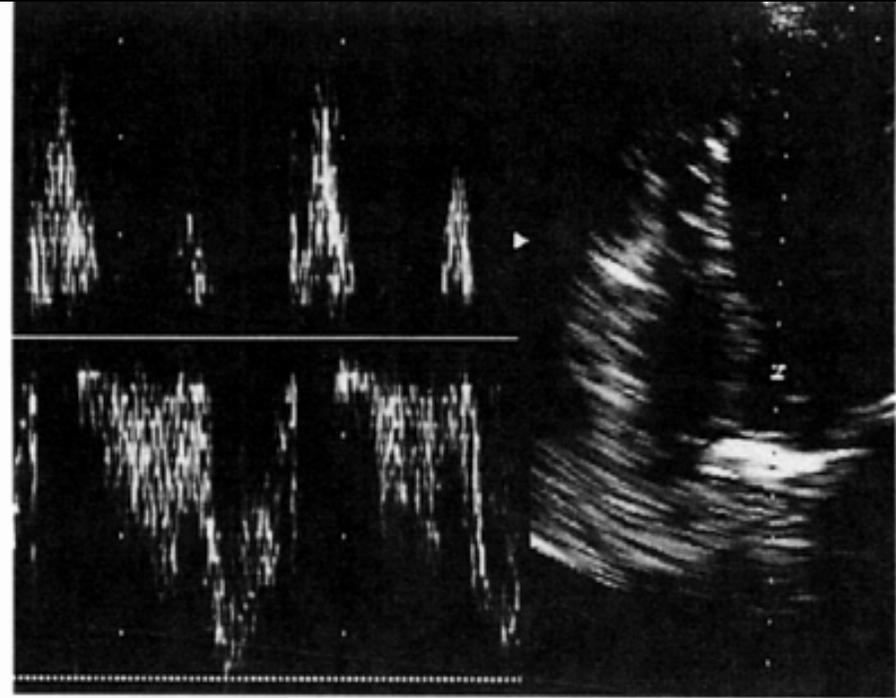
Vereinfachte Gorlin-Formel [2, 17, 33]



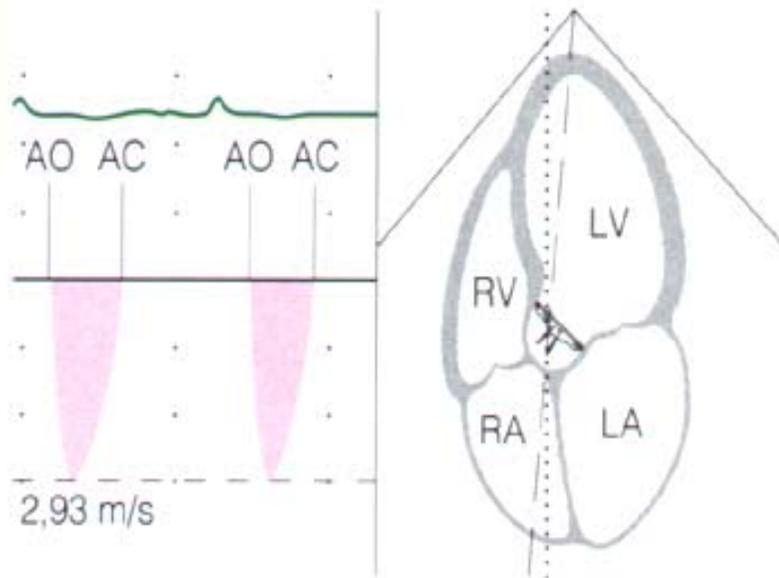
Prä- und transprothetische Strömungsgeschwindigkeit einer Aortenklappenprothese. Maximum der Kurve der prä- (v_1) und Maximum der Kurve der transprothetischen Strömungsgeschwindigkeit v_2 zum Zeitpunkt $t=v_{1\max}$ [$v_2(t=v_{1\max})$] werden bestimmt.



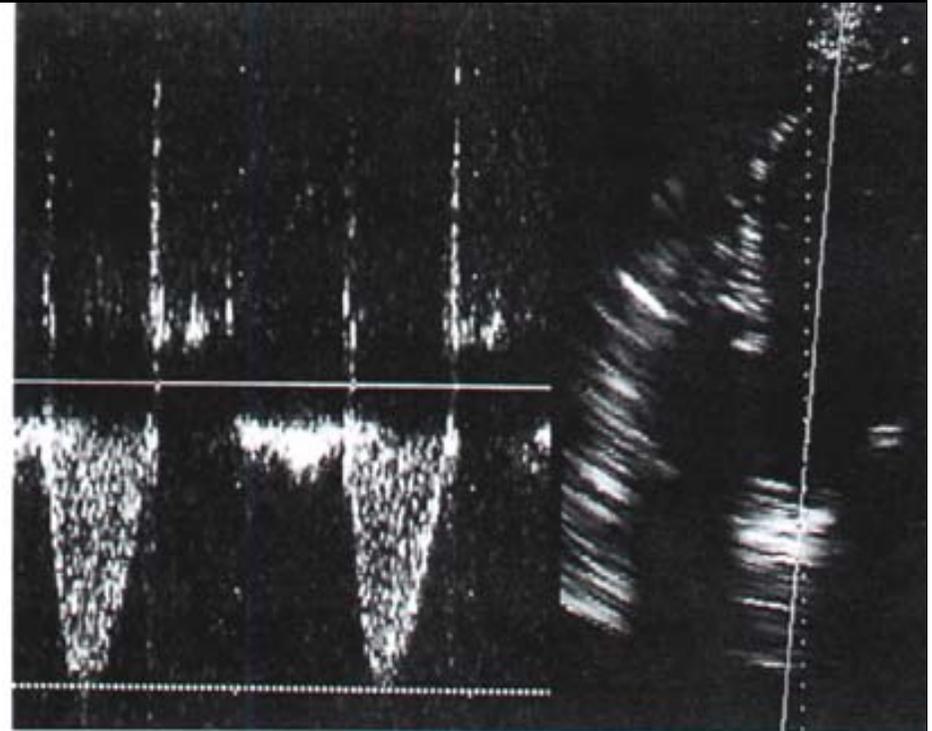
Z. n. Aortenklappenersatz durch SJM 25A-101-Prothese. v_{LV-OT} 0,86 m/s.



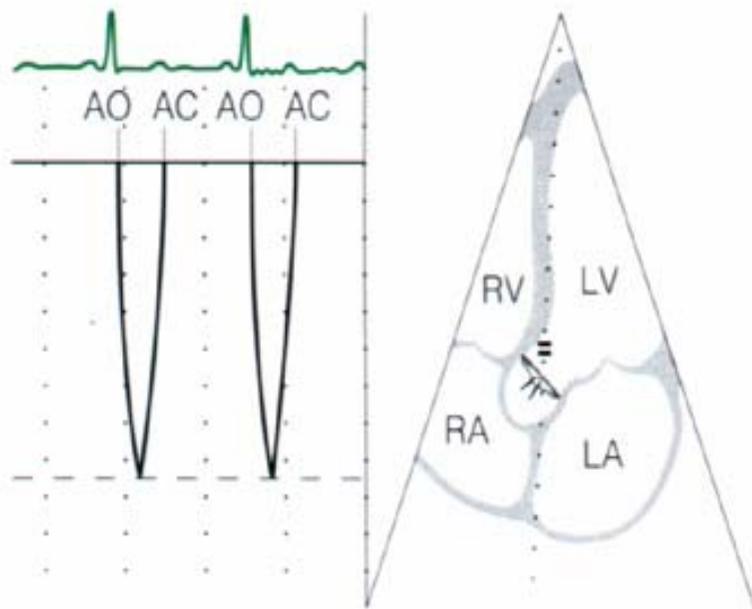
B-mode, apikaler Vierkammerblick, PW-Doppler im linksventrikulären Ausstromtrakt positioniert.



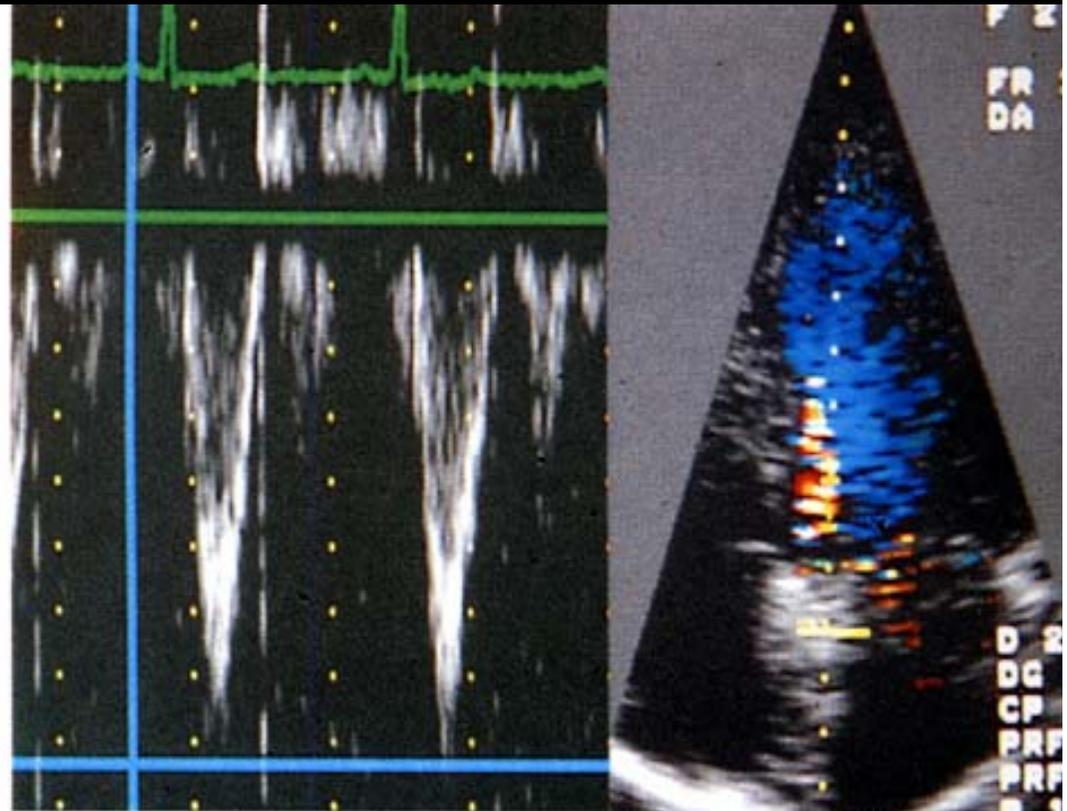
Gleicher Patient. v_{APV} 2,93 m/s.



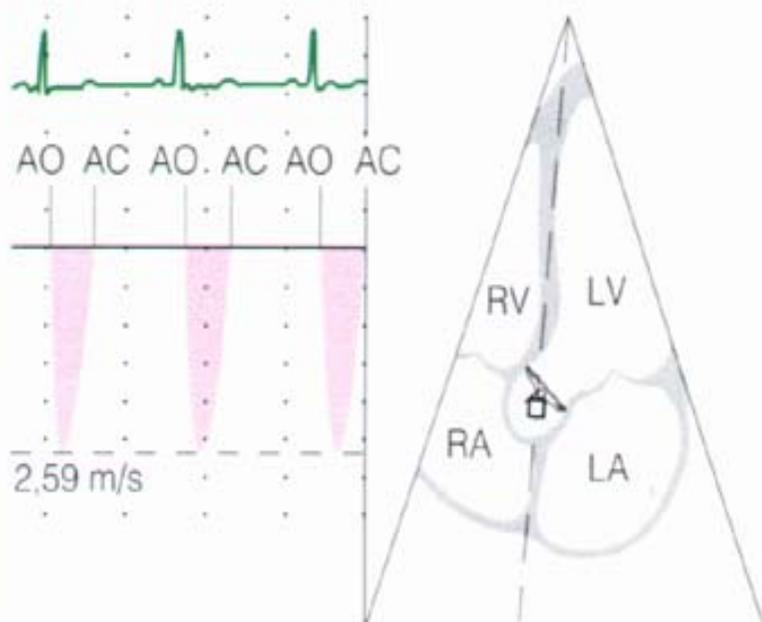
B-mode, apikaler Vierkammerblick, CW-Doppler.



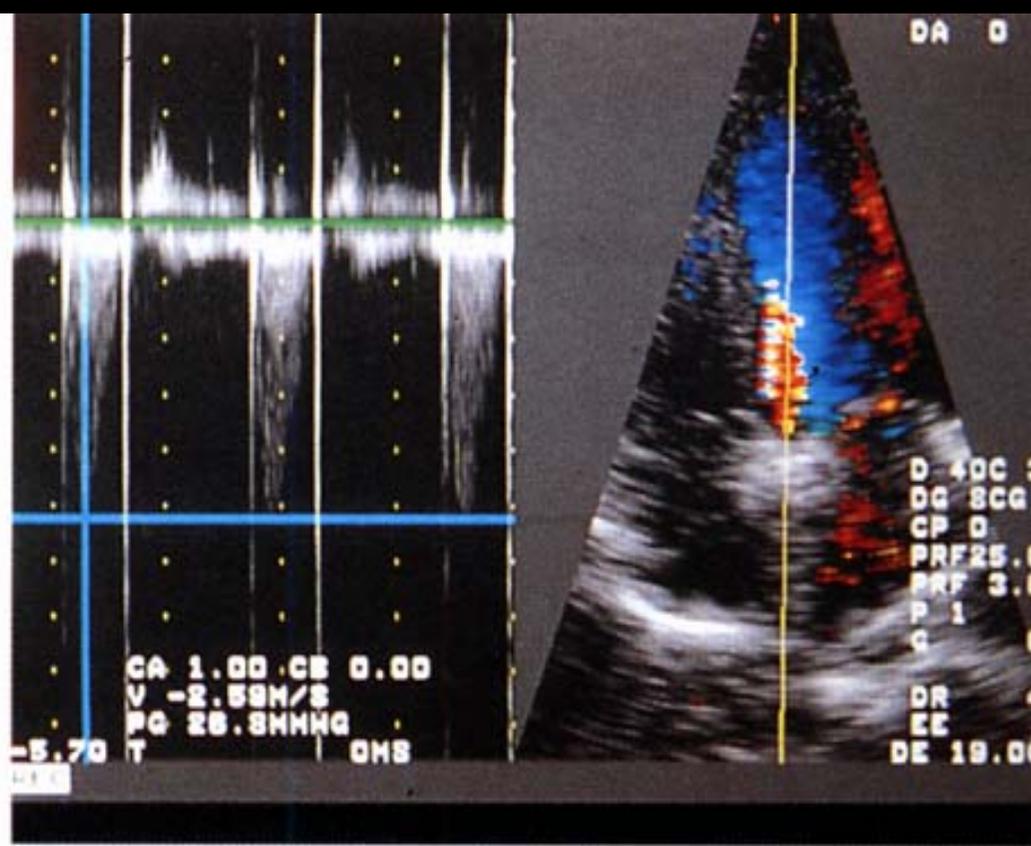
Z.n. Aortenklappenersatz durch SJM 23A-101-Prothese. v_{LV-OT} 1,04 m/s.



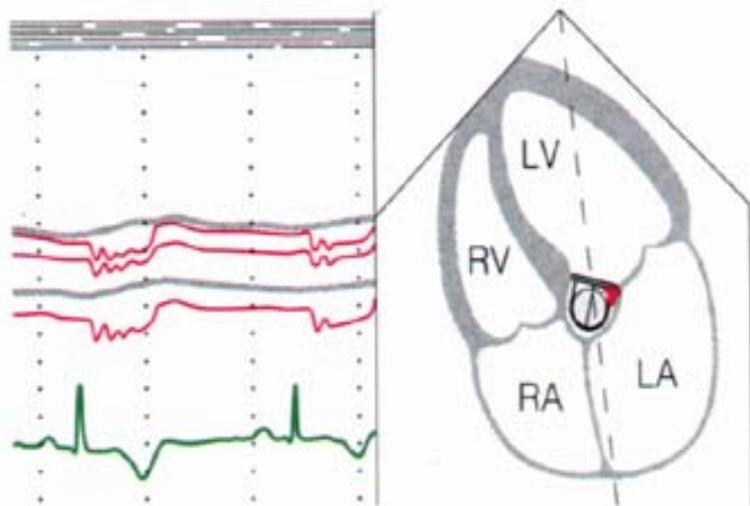
B-mode, apikaler Vierkammerblick, farbkodierter PW-Doppler im linksventrikulären Ausstromtrakt positioniert.



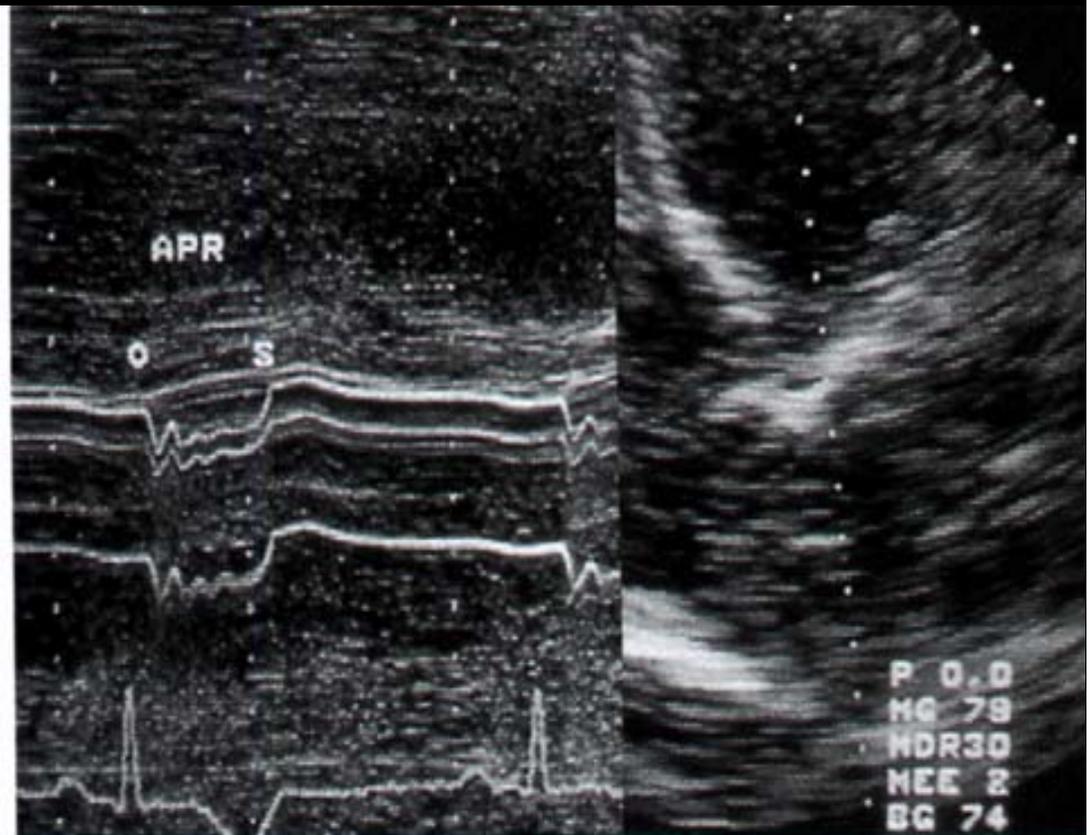
Gleicher Patient. v_{APV} 2,59 m/s.



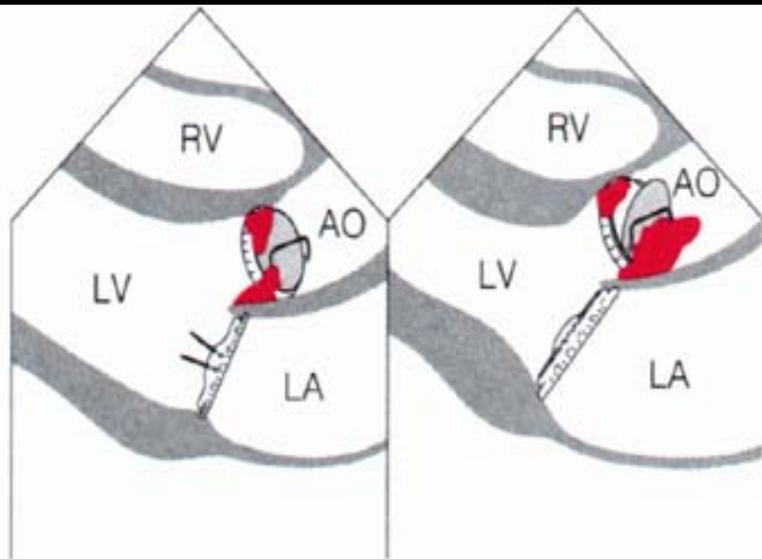
B-mode, apikaler Vierkammerblick, farbkodierter CW-Doppler.



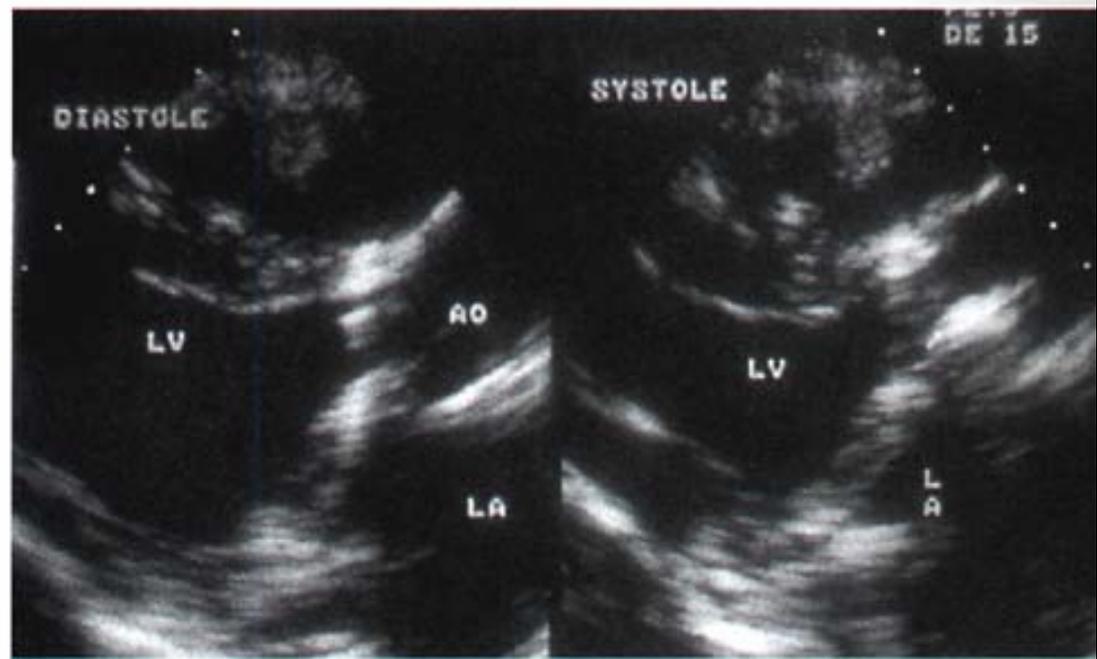
Z. n. Aortenklappenersatz durch Starr-Edwards 1260.
Restenose. Unspezifische Kugelvibrationen in Systole.



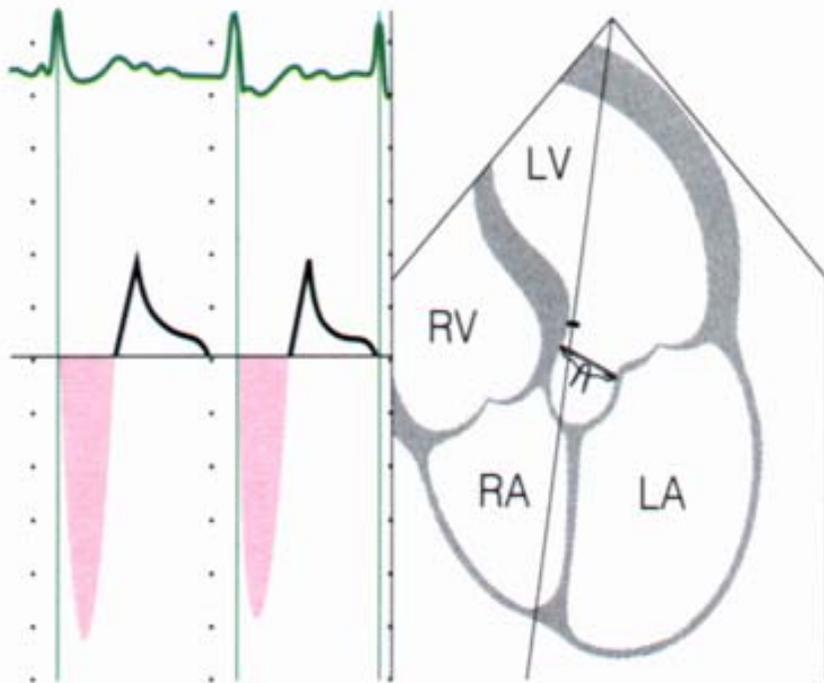
B- und m-mode, apikaler Vierkammerblick.



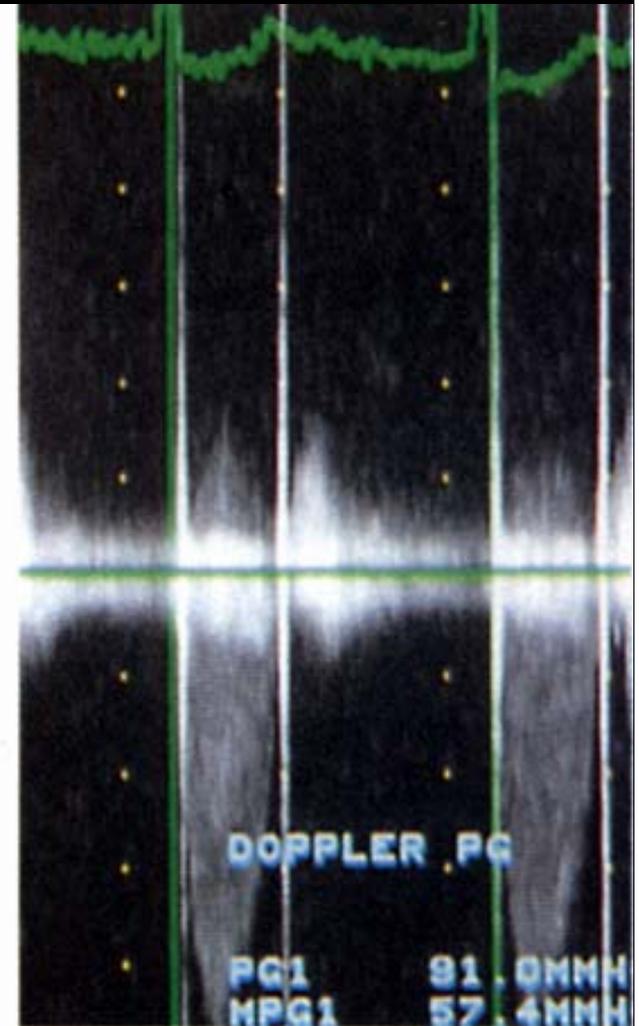
Björk-Shiley-Aortenklappen- und St. Jude-Medical-Mitralklappenprothese. Teilthrombosierung des Aortenklappenprothesenrings. Darstellung nicht beweisend.



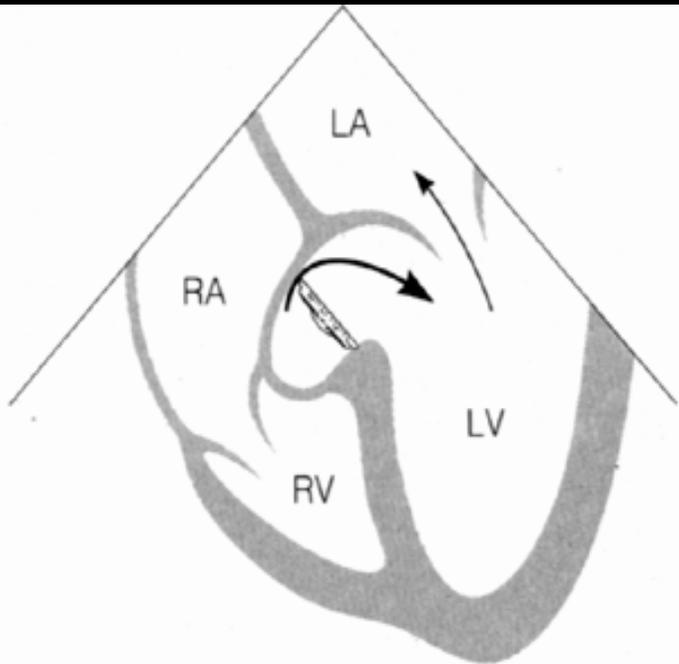
B-mode, parasternaler Längsschnitt.



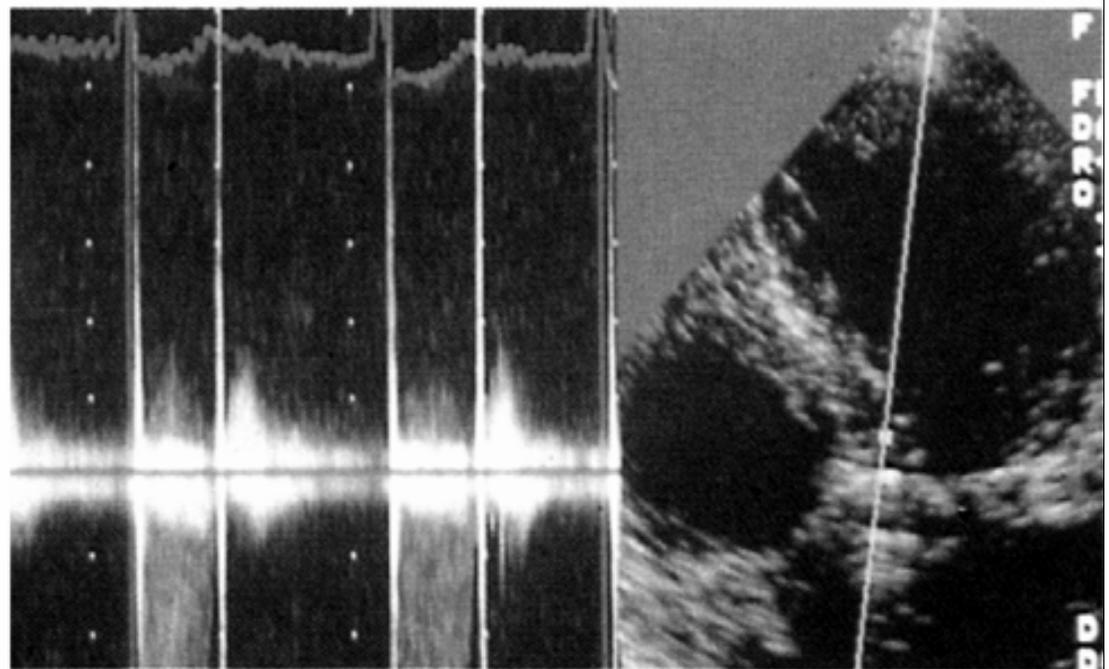
Z. n. Aortenklappenersatz durch Duromedics-Flügelprothese. Restenosisierung. Mittlerer transprothetischer Druckgradient 57 mmHg. Mit dem 2,0 MHz-*pencil* nachgewiesener maximal-instanter Spitzengradient 135 mmHg.



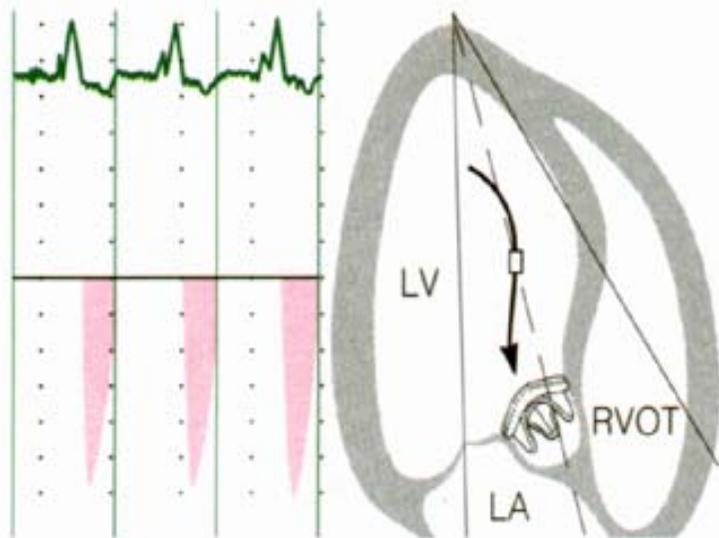
B-mode, apikaler Vierkammerblick, CW-Doppler.



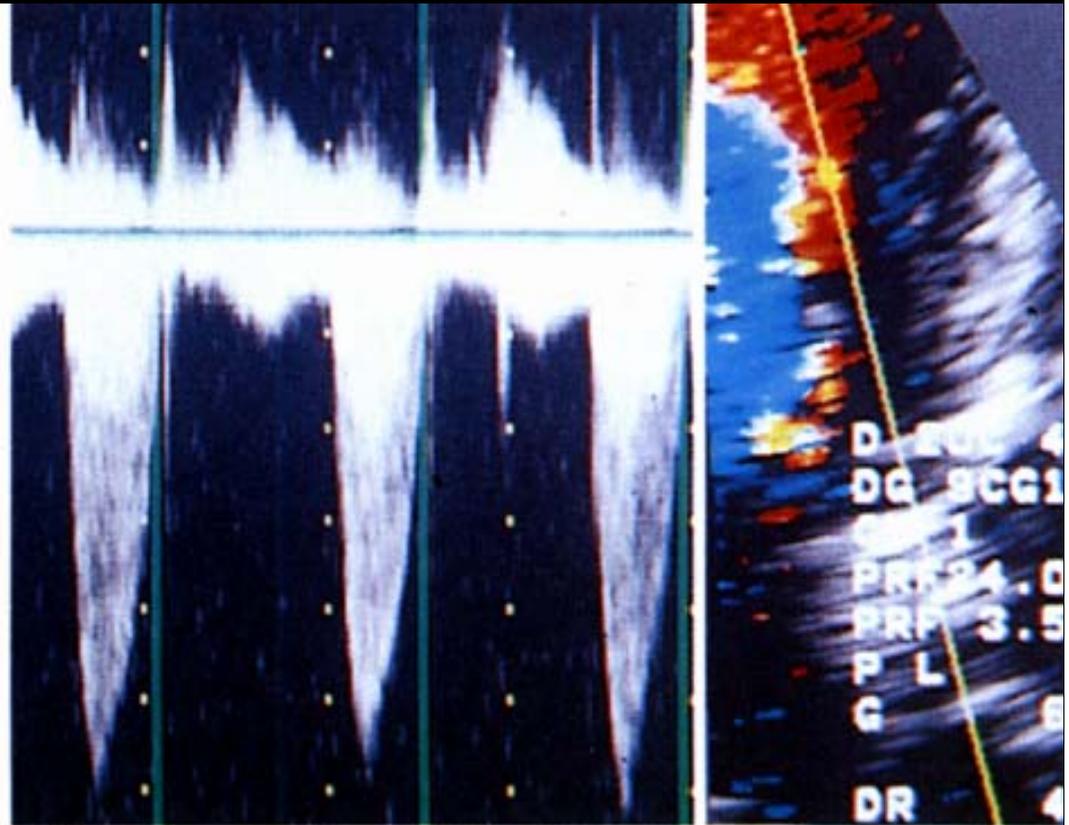
Paraprothetisches Leck einer Duromedics-Aortenklappenprothese. Breiter, pandiastolischer Regurgitationsjet.



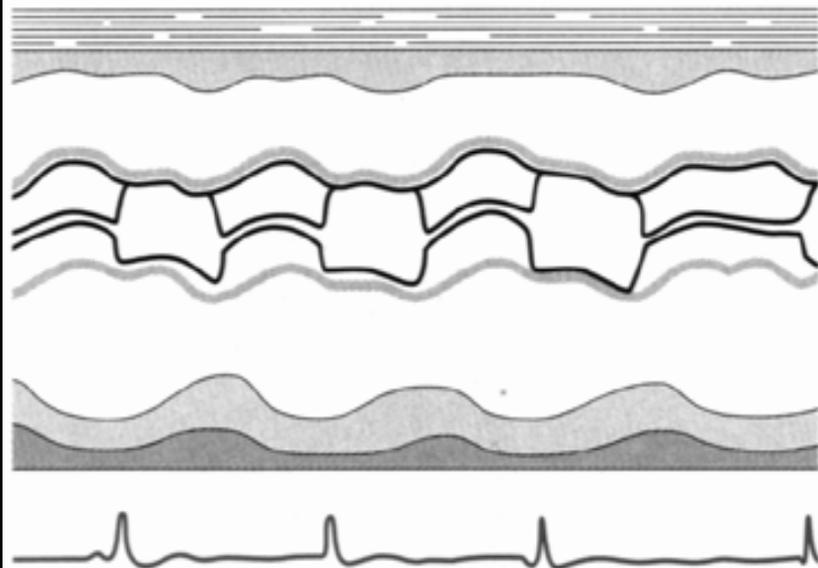
B- und m-mode, transösophagealer Transversalschnitt, farbkodiert.



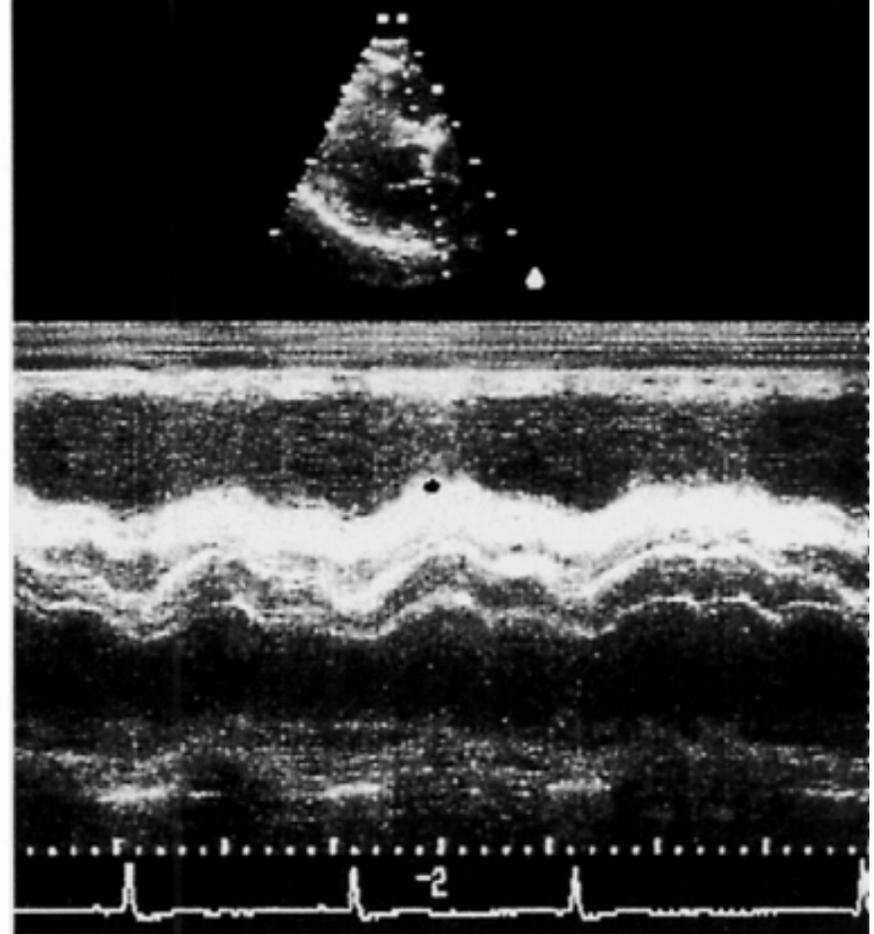
Z. n. Aortenklappenersatz durch Hancock-Bioprothese. Bioprothesendegeneration mit Restenosierung. Maximal-instantane transprothetische Strömungsgeschwindigkeit annähernd 4 m/s.



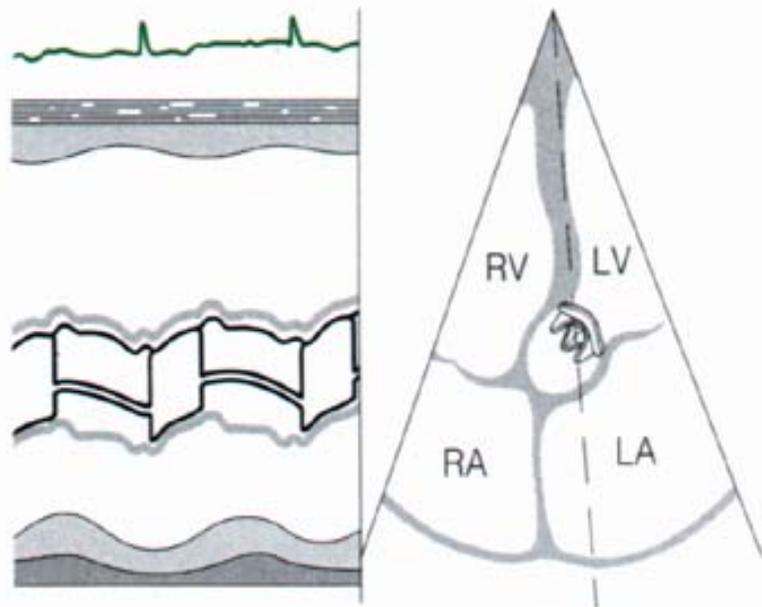
B-mode, apikaler Längsschnitt, farbkodierter CW-Doppler.



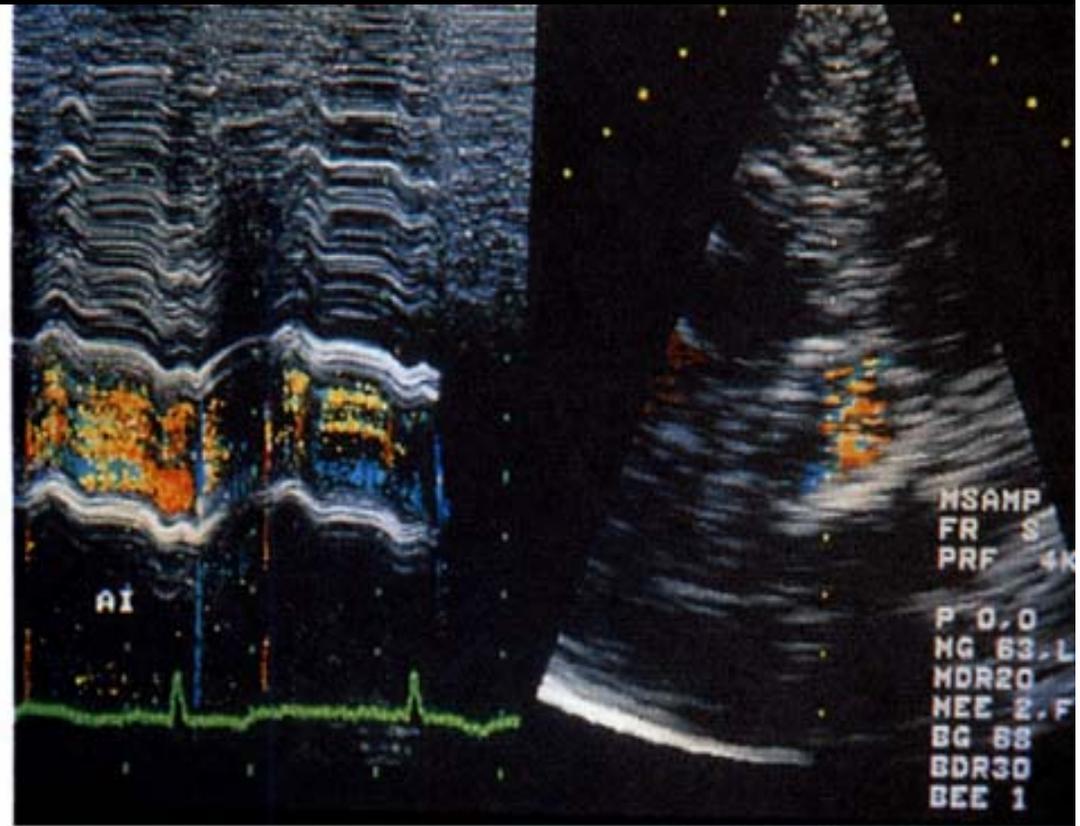
Z. n. Aortenklappenbioprothesenersatz. Bioprothesendegeneration mit Restenosierung und zunehmender Protheseninsuffizienz. Trotz Differenzen zwischen Doppler- und Herzkatheter-Befund aufgrund rezidivierender Lungenödeme schließlich reoperiert.



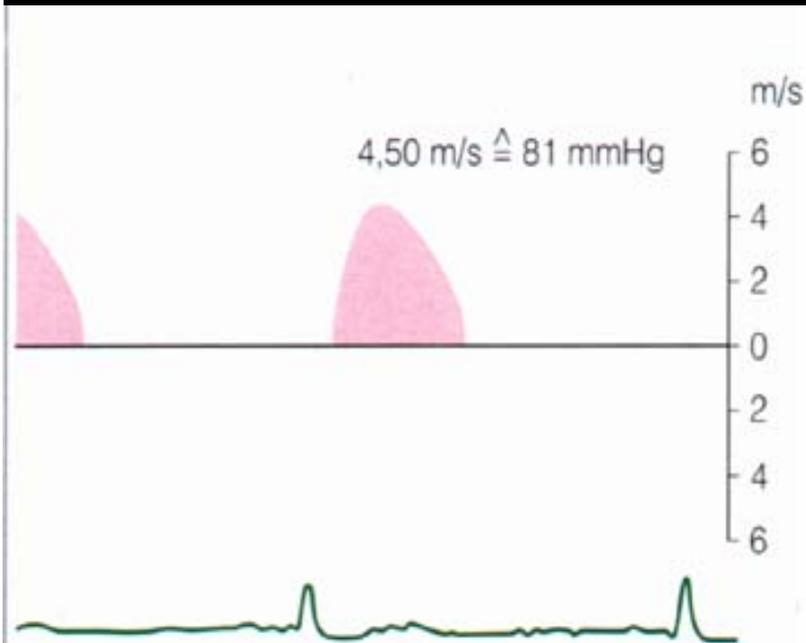
M-mode, parasternal Längsschnitt.



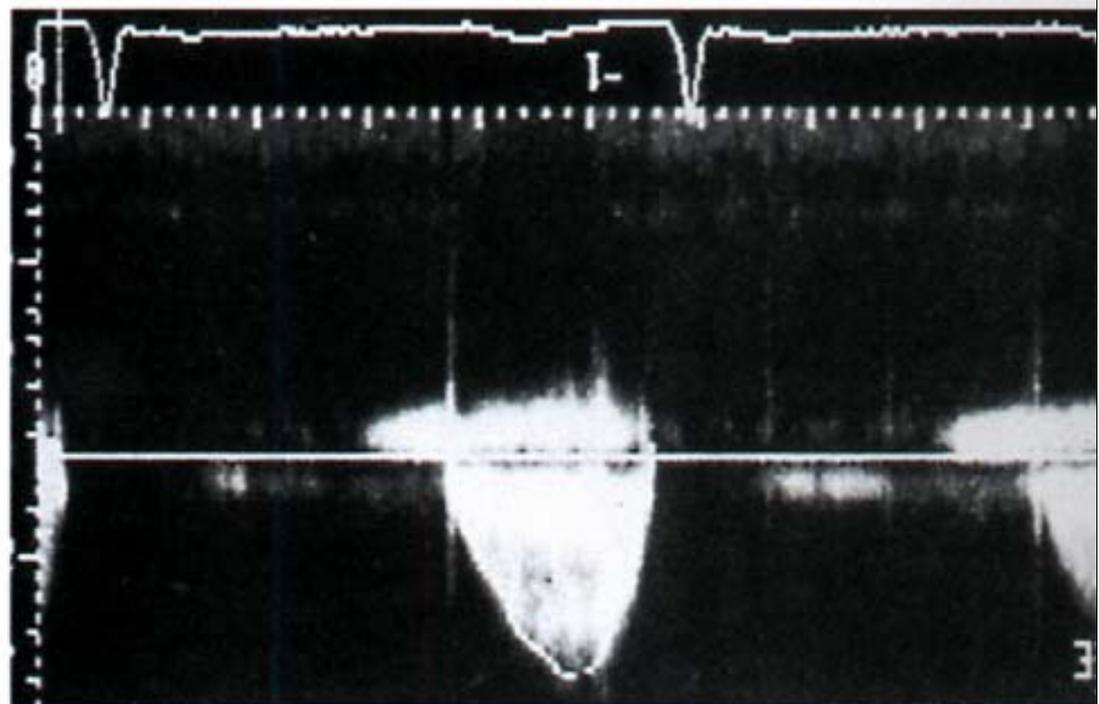
Gleicher Patient. Z. n. Aortenklappenbioprothesenersatz. Bioprothesendegeneration mit Restenose und zunehmender Protheseninsuffizienz.



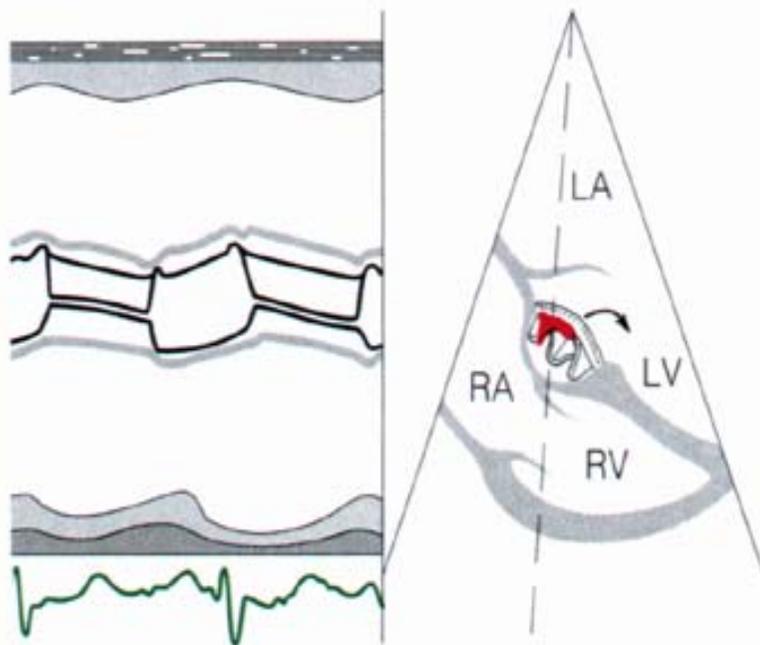
B- und m-mode, apikaler Vierkammerblick, farbkodiert.



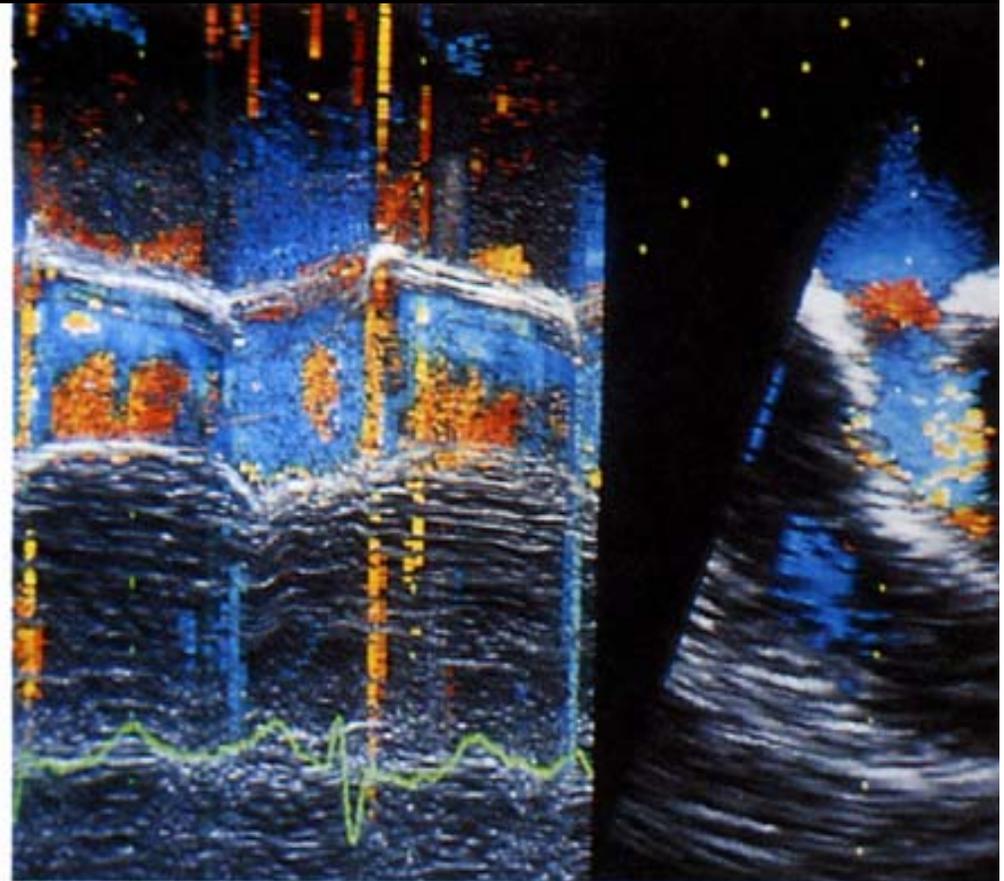
Gleicher Patient. Bioprothesendegeneration mit Restenosierung und zunehmender Protheseninsuffizienz. Maximal-instanter Druckgradient 81, mittlerer 44 mmHg. Mittlerer Druckgradient (Herzkatheter) 30 mmHg. Operativ schließlich bestätigte hochgradige Bioprothesendegeneration.



CW-Doppler. Rechts supraklavikulär abgeleiteter Stenosejet.



Z. n. Aortenklappenersatz durch Hancock-Bioprothese. Prothesenfrühendokarditis mit Protheseninsuffizienz.



Transösophagealer *b-* und *m-mode*, Transversalschnitt, farbkodiert.

Zusammenfassung von Hinweisen auf Klappenprothesendysfunktionen

Ursachen von Klappenprothesendysfunktionen

1. Thrombotische Formationen und Einwachsen fibröser Gewebsstränge in die Klappenprothese

- ▶ Ausschluß falsch positiver Echobefunde infolge von Reverberationen und anderen Artefakten
- ▶ echodichte Massen in der Umgebung der Klappenprothese mit Fehlen jeglicher Motilität des Ventilkörpers
- ▶ intermittierende, inkomplette oder verzögerte Öffnung
- ▶ prothesenunspezifisch hoher transprothetischer mittlerer Druckgradient (höher - ca. + 50 % - als unmittelbar postoperativ) und mehr als leicht bis mäßig eingeschränkte Mitralklappenprothesenöffnungsfläche

2. Prothesenendokarditis

3. Paraprothetische Lecks und Regurgitationen

- ▶ Ausschluß falsch positiver Echobefunde bei eingeschränkter Ventrikelfunktion
- ▶ Hinweise auf Volumenbelastung nachgeschalteter Herzhöhlen
- ▶ Doppler-echokardiografischer Nachweis prothetischer (zentraler) oder paraprothetischer Regurgitationen
 - ▶ Farbkodierung
 - ▶ CW-Doppler
 - ▶ Mißverhältnis hoher diastolischer Strömungsgeschwindigkeit und normaler Druckhalbwertzeit (Mitralposition)
- ▶ transösophageale (Doppler-)Echokardiografie
- ▶ frühdiastolische Abrundung der E-Welle (*m-mode*) bei paraprothetischem Leck einer Mitralklappenprothese: die systolisch-anteriore Bewegung der Klappe ist verlängert und überlagert den Beginn der diastolischen Bewegung nach posterior (Abrundung der initialen diastolischen Bewegung)
- ▶ diastolisches Flattern der Mitralklappe und vorzeitiger Mitralklappenschluß bei höhergradiger Aortenklappenprotheseninsuffizienz

4. Mechanische Dysfunktion und (Teil)Ausriß der Klappenprothese

5. Degeneration und Degradation von Bioprothesen

- ▶ erhöhte Segeldicke und verminderte -motilität
- ▶ umschriebenes diastolisch-systolisches Flattern eines Segelanteils infolge von Einrissen und Perforationen
- ▶ umschriebene Verkalkungen (initial im Bereich von Kommissuren und Nahtring)

SYMPTOMATIK/AUSKULTATION

ECHO

Konventionelle Echokardiografie:

*Morphometrie (RV-EDD, RV-OT-EDD, LA-maxD, LV-EDD, -ESD),
Ventrikelfunktion (LV-FS, Wandbewegungsanalyse)
mit
Darstellung struktureller Ursachen und hämodynamischer Folgen*

Doppler- und transösophageale Echokardiografie:

*Prothesenöffnungsfläche (PVA), Prothesenöffnungsflächenindex (PVA-I)
nach der Druckhalbwertzeitmethode
± nach der Kontinuitätsgleichung*

*Transösophageale Echokardiografie
zur/zum*

*Darstellung von Ventilmorphologie und -dynamik
Nachweis von Vegetationen
Differenzierung von zentralen und paraprothetischen Lecks*

**PVA-I
hochgradig
eingeschränkt**

**hochgradige
Protheseninsuffizienz**

Operabilität?

operabel

nicht operabel

Koronararteriografie?

erforderlich

nicht erforderlich

**HERZ-
KATHETER**

OPERATION

prothetischer Klappenersatz

regulärer PVA-I

VERLAUFSKONTROLLE

Kardiale Ultraschalldiagnostik
Rechtsherzkatheter unter Belastung

KONSERVATIVE THERAPIE