

2 Organveränderungen im transthorakalen Echokardiogramm

2.1 Mitralklappenstenose (MS)

Definition

- ▶ Reduktion der mitralen Öffnungsfläche, meist degenerativ, selten postrheumatisch. Die Stenosierung kann durch eine Verlötung der Klappenränder bedingt sein, in diesem Fall sieht man ein typisches Doming besonders des vorderen Mitralsegels, als auch durch erhebliche Kalzifizierung insbesondere des vorderen Mitralsegels.

Klinik

- ▶ Belastungsluftnot, absolute Arrhythmie, Lungenstauung.

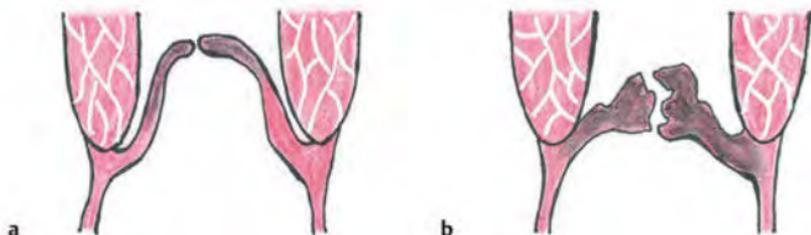


Abb. 2.1 • a Doming bei nicht-kalzifizierter MS. b Stark verkalkte Mitralklappe.

MS im B-Bild

- ▶ Deutlich eingeschränkte Separation der freien Klappenränder.
- ▶ Bei geringer Kalzifizierung typisches Doming des vorderen Mitralsegels.

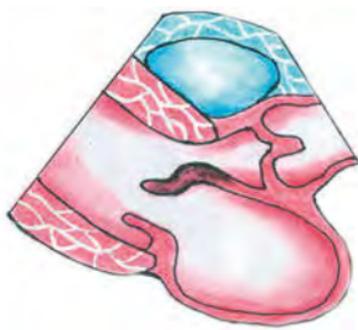


Abb. 2.2 • Doming des vorderen Mitralsegels bei nicht-kalzifizierender MS.

- ▶ Die kalzifizierende MS zeichnet sich durch eine eingeschränkte Beweglichkeit des vorderen Mitralsegels aus (Abb. 2.3).
- ▶ In der parasternalen kurzen Achse kann die Öffnungsfläche planimetriert werden (Abb. 2.4).
- ▶ Auch bei stark verkalkter Klappe ist eine Planimetrie in der parasternalen kurzen Achse möglich (Abb. 2.5).
- ▶ Bei unilateralem Fusionsprozess der Segelklappen resultiert eine Knopflochstenose (Abb. 2.6).



Abb. 2.3 • Kalzifizierende MS mit eingeschränkter Öffnung des vorderen Mitralsegels.



Abb. 2.4 • Planimetrie der Mitralklappenöffnungsfläche bei nicht verkalkter MS.



Abb. 2.5 • Planimetrie bei stark verkalkter MS.

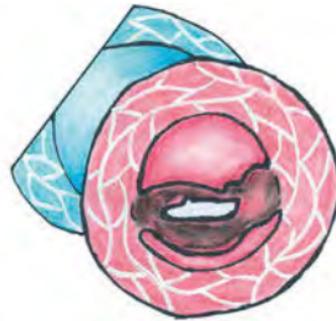


Abb. 2.6 • Knopflochstenose bei fusionierten Segelklappen.



MS im Doppler

- ▶ Im cw-Doppler lässt sich der beschleunigte Fluss über der Mitralklappe nachweisen.
- ▶ Die Öffnungsfläche kann anhand der PHT (Druckabfallhalbwertszeit) berechnet werden.
- ▶ Zur Berechnung des mittleren Druckgradienten und der funktionellen Öffnungsfläche wird das Einstromprofil umfahren.

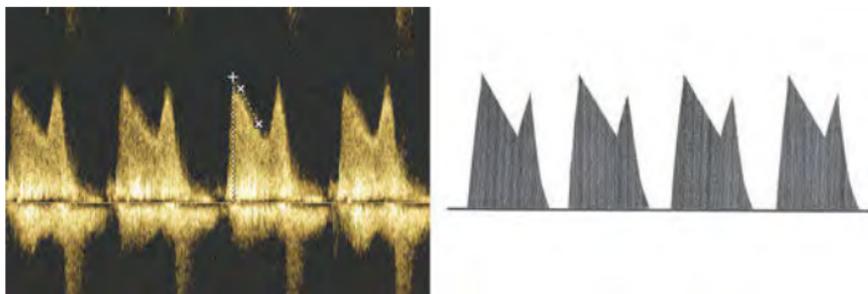


Abb. 2.7 • Einstromprofil über einer MS bei Sinusrhythmus.

- ▶ Häufig besteht bei relevanter MS ein Vorhofflimmern, A-Wellen sind dann nicht mehr nachweisbar.

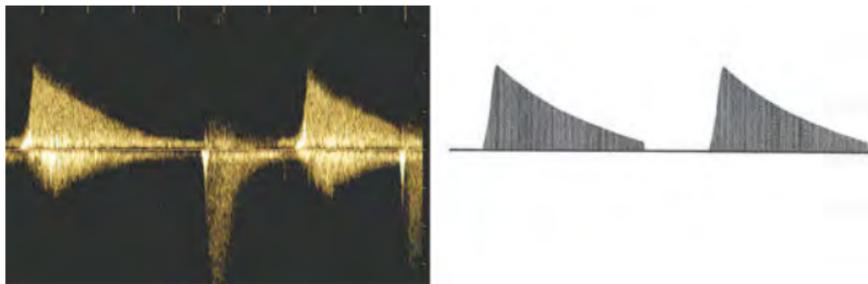


Abb. 2.8 • Einstromprofil einer MS bei Vorhofflimmern.

MS im Farbdoppler

- ▶ Darstellung des kerzenflammenartigen Einstroms in den linken Ventrikel.
- ▶ Begleitende Mitralklappeninsuffizienzen können auch in der parasternalen langen Achse untersucht werden, da von apikaler Sicht bei kalzifizierender MS Insuffizienzsignale aufgrund distaler Schallauslöschung unterschätzt werden können.
- ▶ In der parasternalen kurzen Achse kann die farbdopplersonografische Darstellung des Stenoseflusses zur planimetrischen Quantifizierung hilfreich sein.

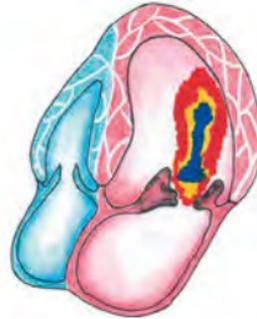
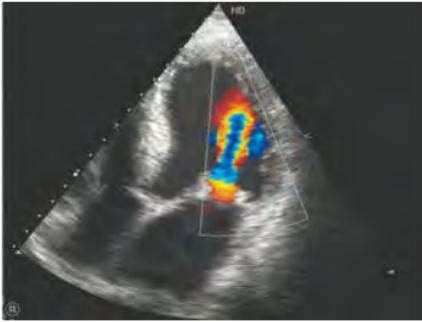


Abb. 2.9 • Einstrom in den linken Ventrikel bei MS.

Quantifizierung der MS

- ▶ Bei guter transthorakaler Sicht ist die Planimetrie zur Ermittlung der morphologischen Öffnungsfläche vorzuziehen.
- ▶ Bei eingeschränkter transthorakaler Sicht kann die funktionelle Öffnungsfläche nach der Kontinuitätsgleichung berechnet werden:

$$\text{MÖF} = \frac{\text{Schlagvolumen}}{\text{VTI (MS)}} [\text{cm}^2]$$

- ▶ Das Schlagvolumen errechnet sich aus dem VTI über dem LVOT (meist 25 cm) multipliziert mit dem Querschnitt des LVOT (meist 3,1 cm²), vgl. Kapitel „Hämodynamik“, Kreisflächenberechnung des LVOT (S. 64). Das VTI der MS wird durch rechnergestütztes Umfahren des Einstroms im cw-Doppler bestimmt. Beispiel: Schlagvolumen 75 ml, VTI der MS 50 cm, somit errechnet sich eine funktionelle Öffnungsfläche von 1,5 cm².
- ▶ Zur Quantifizierung ist die Bestimmung des rechtskardialen Spitzendrucks über einer Trikuspidalklappeninsuffizienz obligatorisch.
- ▶ Die Berechnung der Öffnungsfläche nach PHT hat aufgrund der Vielzahl von beeinflussenden Faktoren an Bedeutung verloren.

Tab. 2.1 • Graduierung einer MS.

	leichtgradig	mittelgradig	schwergradig
Klappenöffnungsfläche	1,5–2,5 cm ²	1,0–1,5 cm ²	< 1,0 cm ²
mittlerer Druckgradient	3–5 mmHg	5–12 mmHg	> 12 mmHg
max. rechtskardialer Druck	< 30 mmHg	30–50 mmHg	> 50 mmHg

Beachte

- ▶ Bei Vorhofflimmern sollte eine normofrequente Phase zur Messung des Mittel-druckgradienten abgewartet werden.
- ▶ Die Berechnung der funktionellen Öffnungsfläche nach der Kontinuitätsgleichung kann durch eine Aortenklappeninsuffizienz überschätzt werden.
- ▶ Bei ausgeprägter Klappenklorose kann bei der Planimetrie infolge der Grenzonen-reflexe die Öffnungsfläche unterschätzt werden.
- ▶ Dokumentation der Vorhofgröße, bei zunehmender Dilatation steigt das Risiko von Vorhofflimmern.
- ▶ Sorgfältige Darstellung des linken Atriums zur Frage nach Thromben (ggf. im TEE).

Prozedere

- ▶ Bei Vorhofflimmern Indikation zur plasmatischen Antikoagulation.
- ▶ Bei Sinusrhythmus langzeitelektrokardiografische Kontrollen zur Frage nach asymptomatischen intermittierenden Vorhofflimmerepisoden.
- ▶ Jährliche echokardiografische Verlaufskontrollen, bei Grenzbefunden zur Intervention kürzere Kontrollintervalle.

Intervention

- ▶ Die Indikation zur Intervention ist gegeben bei symptomatischer MS, bei Auftreten von Vorhofflimmern sowie bei stattgehabten kardioembolischen Komplikationen trotz effektiver plasmatischer Antikoagulation.
- ▶ Als Standardverfahren stehen die Ballonvalvuloplastie (perkutane Mitralkommisurotomie = PMK) und der chirurgische Klappenersatz bzw. die Rekonstruktion zur Verfügung.

Tab. 2.2 • Echokardiografische Kriterien Valvuloplastie versus Klappen-OP.

Morphologie	zur Valvuloplastie geeignet	chirurgische Indikation
Mobilität	nur Klappenränder bewegungseingeschränkt	starre Segel
Verkalkung	gering, an Klappenrändern	gesamtes Klappensegel
Verdickung	gering (< 8 mm)	gesamte Segel > 8 mm
Chordae tendinae	gering oder nicht verdickt	verdickt und verkürzt
begleitende MI	gering	mittel- oder hochgradig

2.2 Aortenklappenstenose (AS)

Definition

- ▶ Reduktion der Klappenöffnungsfläche, am häufigsten bei älteren Patientinnen und Patienten durch degenerative Klappenveränderungen, bei jüngeren durch Fehlanlage (bikuspide Klappe).

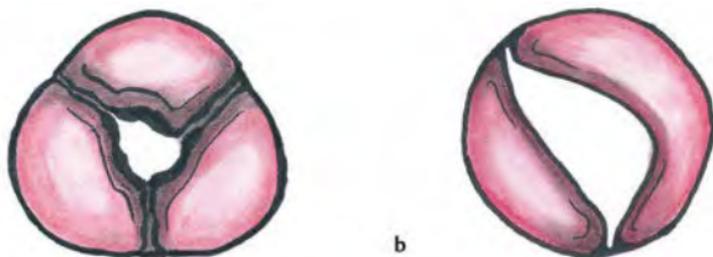


Abb. 2.10 • a Degenerative AS mit Verlötnung der Kommissuren. b Bikuspide AS.

Klinik

- ▶ Die Kardinalsymptome Luftnot, Angina pectoris und Synkope treten in der Regel erst bei einer Klappenöffnungsfläche < 0,8 cm² auf.
- ▶ Körperliche Untersuchung: Fauchendes Systolikum über dem Erb'schen Punkt und dem 2. ICR rechts parasternal mit Fortleitung in die Karotiden.
- ▶ **Cave:** Das Fehlen dieses Auskultationsbefundes kann Ausdruck einer dekompensierten AS mit eingeschränkter linksventrikulärer Funktion sein, so dass kein Gradient über der Aortenklappe aufgebaut wird, der das charakteristische Geräusch erzeugt.

AS im B-Bild

- ▶ Ausgeprägte Sklerose der Aortenklappen, bei hochgradiger AS linksventrikuläre Hypertrophie.

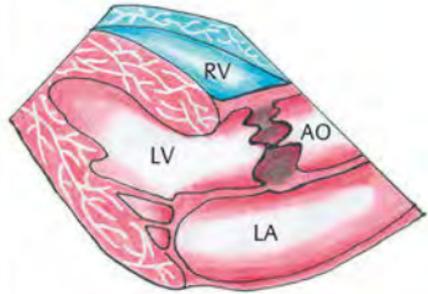


Abb. 2.11 • Ausgeprägte kalzifizierende AS. AO = Aorta, RV = rechter Ventrikel, RA = rechter Vorhof, LA = linker Vorhof.

- ▶ Die sehr typische Darstellung einer bikuspiden Aortenklappe in der parasternalen kurzen Achse erlaubt die Diagnosestellung aus dem B-Bild.

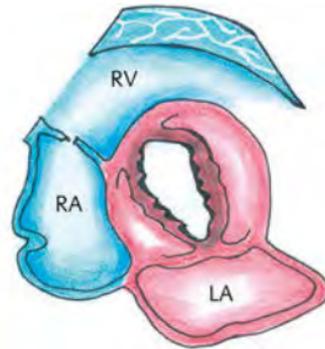


Abb. 2.12 • AS bei bikuspiden Klappenanlage. RV = rechter Ventrikel, RA = rechter Vorhof, LA = linker Vorhof.

AS im M-Mode

- ▶ Die in der parasternalen langen Achse nachweisbare reduzierte Klappenseparation hat zur Bestimmung des Schweregrades keine Relevanz.
- ▶ Der für bikuspiden Klappen beschriebene Exzentrizitätsindex hat in der klinischen Routine keine Bedeutung, für bikuspiden Klappen ist die Beurteilung der residuellen Klappenöffnungsfläche bzw. koinzidenten Aortenklappeninsuffizienz von Relevanz.

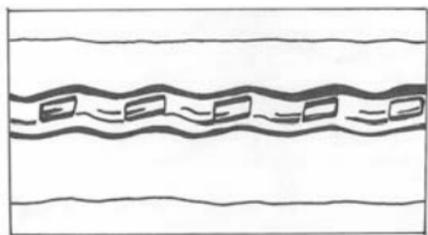
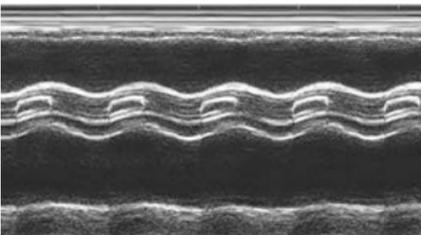


Abb. 2.13 • AS im M-Mode.

AS im Doppler

- ▶ Die im cw-Doppler erfassbare transaortale Flussbeschleunigung ist der wichtigste Parameter für den funktionellen Schweregrad.
- ▶ Vorzugsweise im apikalen 5- oder 3-Kammerblick wird die transaortale Flussbeschleunigung gemessen, nur bei schlechten apikalen Schallbedingungen kann die Flussbeschleunigung auch subkostal bzw. suprasternal abgeleitet werden.
- ▶ Die Maximalgeschwindigkeiten (zwischen 2 und 5 m/s) sollten klar abgrenzbar sein.
- ▶ Für die Schweregradeinteilung nach ESC wird die Hüllkurve umfahren und rechnergestützt der maximale und mittlere Gradient ermittelt.
- ▶ Häufig gelingt es, neben dem Stenoseprofil auch das infundibuläre Profil darzustellen, was für die Quantifizierung der AS besonders bei Arrhythmien oder eingeschränkter linksventrikulärer Funktion hilfreich ist.

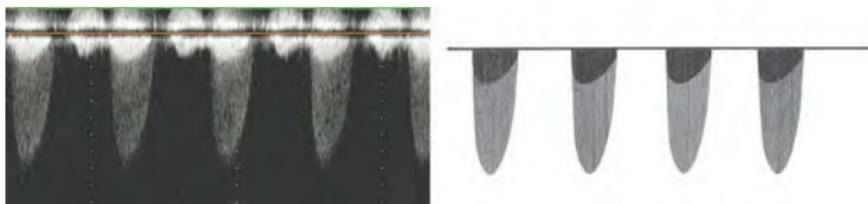


Abb. 2.14 • AS im cw-Doppler.

AS im Farbdoppler

- ▶ Darstellung des Stenosegrades zur Optimierung des cw-Messstrahls.
- ▶ Darstellung einer begleitenden Aortenklappeninsuffizienz.



Abb. 2.15 • AS im Farbdoppler: Turbulenter Fluss über der Aortenklappe.

Quantifizierung der AS

- ▶ Die Restöffnungsfläche der AS kann funktionell und morphologisch beurteilt werden.
- ▶ Vorrangig wird die funktionelle Berechnung der aortalen Öffnungsfläche mit Hilfe der Kontinuitätsgleichung verwendet:

$$\text{Aortale Öffnungsfläche} = \pi \times (d/2)^2 \times \frac{V_{\max \text{ LVOT}}}{V_{\max \text{ Aorta}}}$$

► **Durchführung:**

1. Schritt: Bestimmung des Durchmessers des LVOT (Abb. 2.16).
 - Der LVOT ist zwar nicht kreisrund, zwecks Verlaufskontrolle empfiehlt sich aber die sorgfältige Festlegung des Durchmessers des LVOT, um auf diesen Wert bei Verlaufskontrollen zurückzugreifen (bei Erwachsenen meist 2 cm).
2. Schritt: Ableitung des intrastenotischen Maximalflusses (variiert zwischen 2 und 5 m/s) bzw. des intrastenotischen VTI.
3. Schritt: Ableitung des maximalen Flusses bzw. des prästenotischen VTI im LVOT (bei normaler linksventrikulärer Funktion um 1 m/s, bei gleichzeitig vorliegender Aortenklappeninsuffizienz höhere Werte, bei eingeschränkter linksventrikulärer Funktion niedrigere Werte).

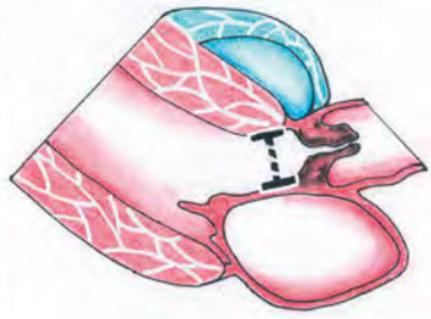


Abb. 2.16 • Durchmesser des LVOT in der parasternalen langen Achse.

► **Beispielrechnung:**

- Durchmesser des LVOT beträgt 2 cm, die Kreisflächenberechnung ergibt somit $3,14 \text{ cm}^2$.
- Der maximale Fluss über der AS beträgt 4 m/s, der maximale Fluss im LVOT beträgt 1 m/s. Der Geschwindigkeitsquotient beträgt 0,25.
- Die Öffnungsfläche der AS beträgt somit $3,12 \times \frac{1}{4} = 0,75 \text{ cm}^2$.
- Bei absoluter Arrhythmie mit wechselnden Schlagvolumina resultieren stark unterschiedliche Maximal- bzw. Mitteldruckgradienten. In diesem Fall kann die simultane Ableitung des infundibulären bzw. intrastenotischen Maximalflusses hilfreich sein.

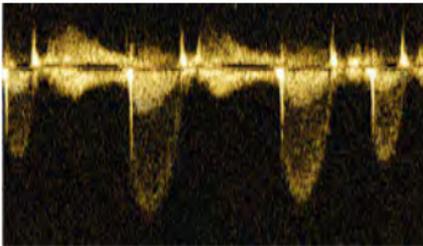


Abb. 2.17 • Infundibuläres und intrastenotisches cw-Signal einer AS bei absoluter Arrhythmie: Gleichbleibendes Verhältnis beider Maximalgeschwindigkeiten.

- Die Restöffnungsfläche der AS kann auch bei guter transthorakaler Sicht planimetrisch erfolgen, noch bessere Auflösung und damit ein zuverlässigeres Ergebnis liefert die transösophageale Untersuchung.

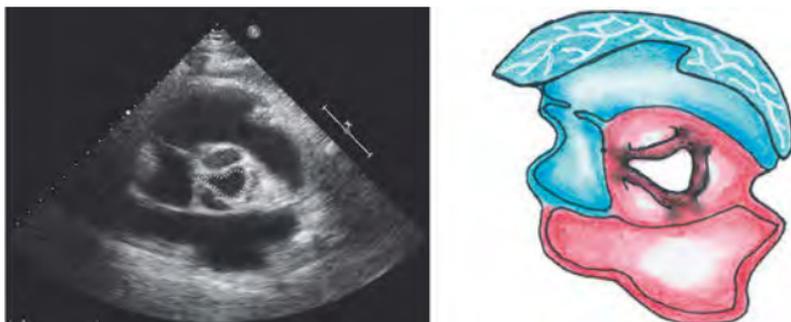


Abb. 2.18 • Planimetrie einer AS in der parasternalen kurzen Achse.

Tab. 2.3 • Beurteilung des Schweregrades einer Aortenklappenstenose.

Parameter	geringgradig	mittelgradig	höhergradig
V_{\max}	2,6–2,9	3,0–4,0	> 4
mittl. Druckgradient [mmHg]	< 20	20–40	> 40
aortale Öffnungsfläche [cm ²]	> 1,5	1,0–1,5	< 1,0
indizierte aortale Öffnungsfläche [cm ² /m ² Körperoberfläche]	> 0,85	0,85–0,6	< 0,6
Geschwindigkeitsquotient LVOT/AV [%]	> 0,5	0,5–0,25	< 0,25

Beachte

- ▶ Unerlässlich für die gesamte Beurteilung ist eine exakte Analyse der linksventrikulären Funktion. Bei eingeschränkter linksventrikulärer Funktion sind die Maximal- und Mitteldruckgradienten erniedrigt und führen zur falsch-niedrigen Einschätzung des Stenosegrades. Hier ist die Quantifizierung anhand der Kontinuitätsgleichung bzw. Planimetrie vorzuziehen.
- ▶ Degenerative AS unterliegen einer Progression mit einer jährlichen Abnahme der Restöffnungsfläche von ca. 0,1 cm² pro Jahr.
- ▶ Supravalvuläre bzw. subvalvuläre (meist membranöse) AS bleiben hingehend langfristig konstant, der Stenosegrad ist anhand der Kontinuitätsgleichung zu ermitteln.
- ▶ Bei der Anlotung des aortalen Ausstromtraktes ist auf eine korrekte Platzierung zu achten, damit nicht das Signal einer Mitral- oder Trikuspidalklappeninsuffizienz fälschlicherweise als transaortales Signal verwechselt wird.
- ▶ Bei septaler Hypertrophie kann sich ein infundibulärer Gradient aufbauen, der eine hochgradige Flussbeschleunigung über der AS vortäuscht. Hier ist die sequentielle pw-Messung über dem LVOT und der AS hilfreich.
- ▶ AS mit niedrigen Gradienten sind am häufigsten auf eine eingeschränkte linksventrikuläre Funktion zurückzuführen, daher ist die Bestimmung der linksventrikulären Ejektionsfraktion nach Simpson wichtiger Bestandteil der Einschätzung des Schweregrades einer AS.
- ▶ Bei einem niedrigen Schlagvolumen resultiert die Situation einer Low-Flow-Low-Gradient-AS, definiert als mittlerer Druckgradient < 40 mmHg bei einem Schlagvolumenindex < 35 ml/m². Dem liegt eine reduziert linksventrikuläre Pumpfunktion zugrunde, deren Ausmaß in der Messung der Ejektionsfraktion unterschätzt wird, da vordergründig die longitudinale Ventrikelfunktion beeinträchtigt ist (Strain > -15%, MAPSE < 10 mm), wie es z. B. bei einer ischämischen Kardiomyopathie oder Amyloidose vorkommt. Richtungsweisend ist hier der reduzierte Schlagvolumenindex. Bei

Verwendung der Kontinuitätsgleichung ist die errechnete funktionelle Klappenöffnungsfläche weiter valide.

- ▶ Die mittels der Bernoulli-Gleichung bestimmten Maximal- und Mitteldruckgradienten weichen häufig stark von den invasiv gemessenen (peak-to-peak-)Gradienten ab. Dies kann an unterschiedlichen Herzzeitvolumina zu den jeweiligen Messzeitpunkten liegen. Darüber hinaus ist die Bernoulli-Gleichung nur für ideale (Newton'sche) Flüssigkeiten definiert und daher nur mit Einschränkung auf Blutstrombeschleunigungen anwendbar, vgl. Kapitel „Hämodynamik“ (S.66).

Intervention

- ▶ Indikation zur Intervention:
 - Bei Auftreten von assoziierten Kardinalsymptomen (Angina pectoris, Luftnot, Synkopen) oder einer kardialen Dekompensation aufgrund der sehr schlechten Prognose baldiger Aortenklappenersatz.
 - Asymptomatische kritische AS mit einer Restöffnungsfläche von $<0,7 \text{ cm}^2$ bei niedrigem OP-Risiko.
 - Zunehmende Einschränkung der linksventrikulären Funktion ($\text{EF} < 50\%$) ohne andere Ursache, auf die auch ansteigende BNP-Werte hinweisen.
 - Asymptomatische hochgradige AS werden zudem im Rahmen von kardiochirurgischen Eingriffen anderweitiger Indikation versorgt (aortokoronare Bypass-OP, Aortenerkrankungen), auch bei mittelgradiger asymptomatischer AS muss eine operative Versorgung diskutiert werden.
- ▶ Zur Verfügung stehen ein operativer (bei niedrigem OP-Risiko) und ein interventioneller (TAVI) Aortenklappenersatz, die Risikostratifizierung erfolgt nach Score-Systemen. Die Entscheidung über das einzusetzende Verfahren sollte im Heart Team unter Berücksichtigung klinischer, anatomischer und verfahrenstechnischer Aspekte (Zugangsweg?) und unter Einbeziehung der Patientenpräferenz erfolgen.
- ▶ Im Falle einer bikuspiden Aortenklappe ist aufgrund der häufig ungünstigen Strömungsverhältnisse bereits ab einer Erweiterung des Aortenbulbus oder der Aorta ascendens über 50 mm eine Intervention indiziert. Zudem sollte ein Screening auf eine bikuspiden Aortenklappe bei erstgradig Verwandten erfolgen.

2.3 Subaortenstenose (SAS)

Definition

- ▶ Obstruktion des aortalen Ausstroms durch fixierte (membranöse, fibromuskuläre) oder dynamische Strukturen, s. HOCM (S.129).

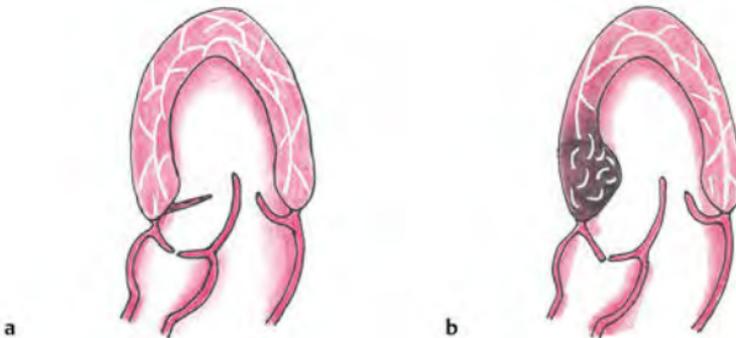


Abb. 2.19 • **a** Membranöse (fixierte) SAS. **b** Hypertrophe (dynamische) SAS.