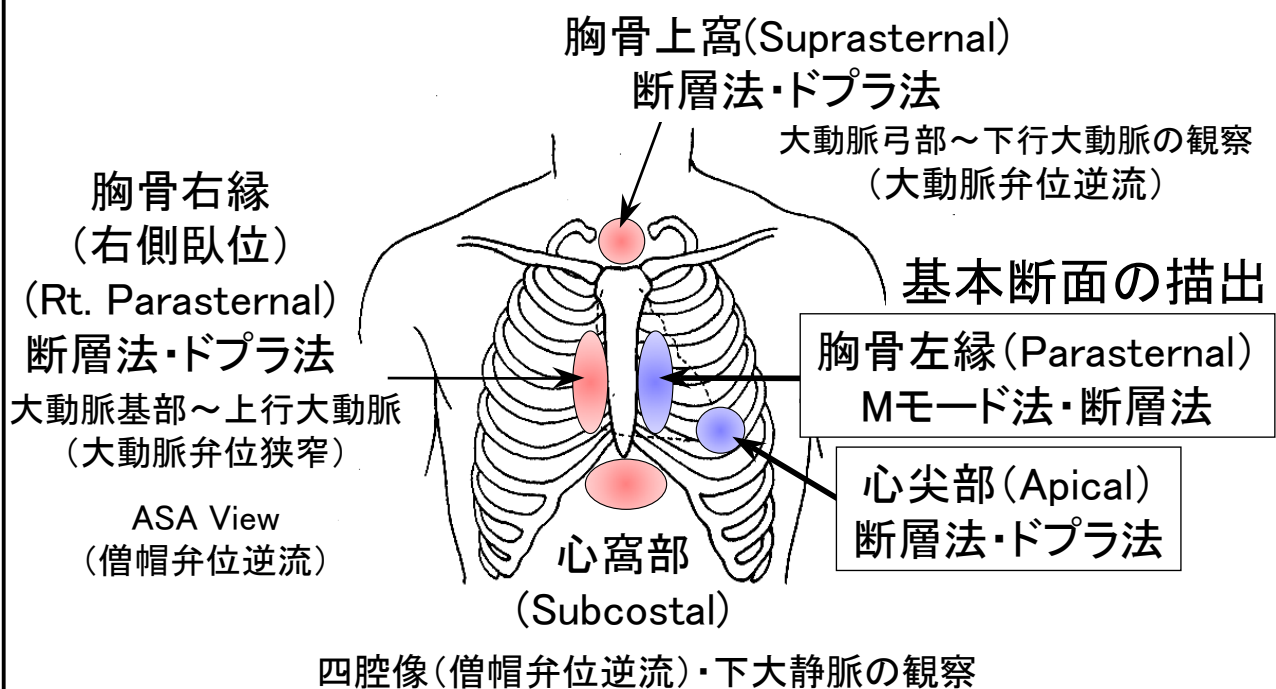


心エコー図検査の記録手順

(Ⅲ) 人工弁機能不全の撮り方

- (1) 大動脈弁位 (prosthetic aortic valves)
- (2) 僧帽弁位 (prosthetic mitral valves)

人工弁機能不全の音響窓



Contents

(Ⅲ) 人工弁機能不全の撮り方 (1) 大動脈弁位 (2) 僧帽弁位

A. 人工弁の基礎知識	4
1. 人工弁の歴史	
1) 機械弁の分類とその変遷	
2) 生体弁の分類とその変遷	5
2. 人工弁の種類と特徴	6
1) 機械弁の種類	
2) 機械弁の種類と流速プロフィール: 僧帽弁位	
3) 生体弁の種類	7
4) 生体弁の流速プロフィール: 僧帽弁位	
5) 代表的な生体弁と機械弁の特徴	8
3. 人工弁の選択	
1) 生体弁か機械弁か	
2) 人工弁の適応と選択	9
4. 大動脈弁位人工弁 & 僧帽弁位人工弁	10
1) 代表的な大動脈弁位人工弁の種類	
2) 外科的大動脈弁置換術(SAVR)	
3) 小切開大動脈弁置換術(MICS-AVR)	
4) 経カテーテル大動脈弁置換術(TAVI or TAVR)	11
5) 各種大動脈弁位人工弁サイズ別 基準値 平均圧較差 & 有効弁口面積	12
6) 代表的な僧帽弁位人工弁の種類	13
7) 各種僧帽弁位人工弁サイズ別 基準値 平均圧較差 & 有効弁口面積	
8) Valve Size is not equal to EOA	14
9) 人工弁のパーツ名	
B. 心エコー図検査による人工弁の評価法	15
1. 人工弁機能評価のチェックポイント	
2. 人工弁機能不全の重症度評価	
1) 大動脈弁位人工弁機能の評価と項目	
2) 大動脈弁位人工弁狭窄の重症度評価 (機械弁 & ステント生体弁)	16
① Peak Velocity: PV の測定 / Peak Gradient: PG の測定	
② mean Pressure Gradient: mPG の測定	
③ Acceleration Time: AT の測定	

Skill-up: 弁口最大流速(PV) / 平均圧較差(mPG)が大きい場合の留意点	16
Skill-up: 簡易 <i>Bernoulli</i> 式 ($\Delta P = 4 V^2$) とは	17
Skill-up: 人工弁のプレッシャーリカバリー (Pressure recovery)	
Skill-up: Pressure recovery とは	18
Skill-up: Pressure recovery を考慮した EOA 補正式: ELC _o	19
④ Doppler Velocity Index: DVI の測定	20
Skill-up: Double envelope 法による DVI の測定	
⑤ 連続の式による大動脈弁位有効弁口面積 (EOA) の測定	21
Skill-up: 有効弁口面積 (EOA) 測定時の留意点	
⑥ 人工弁一患者不適合 (PPM: Prosthesis-Patient Mismatch) とは	22
⑦ 大動脈弁位人工弁狭窄の重症度評価指標	
⑧ 大動脈弁位人工弁 高圧較差時における狭窄評価のアルゴリズム	23
⑨ 大動脈弁位人工弁狭窄重症度評価における心エコー図検査のながれ	
3) 大動脈弁位人工弁逆流の重症度評価 (機械弁 & ステント生体弁)	24
① 生理的範囲内の人工弁逆流	
② 経弁逆流 (TVL: transvalvular leakage or prosthetic regurgitation)	
③ 弁周囲逆流 (PVL: paravalvular leakage or paraprosthetic regurgitation)	25
④ 弁周囲逆流の円周方向範囲 (%) による重症度評価	
⑤ 大動脈弁位弁周囲逆流: 経胸壁心エコー (TTE) による評価	26
⑥ 大動脈弁位人工弁逆流の重症度評価指標	
4) 僧帽弁位人工弁機能不全の評価項目	27
5) 僧帽弁位人工弁狭窄の重症度評価 (機械弁 & ステント生体弁)	
① Peak Early Velocity: PEV の測定	
② mean Pressure Gradient: mPG の測定	
③ Pressure half time: PHT の測定	
④ Doppler Velocity Index: DVI の測定	28
⑤ 連続の式による僧帽弁位有効弁口面積 (EOA) の測定	
⑥ 僧帽弁位人工弁狭窄の重症度評価指標	29
⑦ 僧帽弁位人工弁 高圧較差時における狭窄評価のアルゴリズム	
6) 僧帽弁位人工弁逆流の重症度評価 (機械弁 & ステント付き生体弁)	30
① 生理的範囲内の人工弁逆流: 経食道アプローチ	
Skill-up: 僧帽弁位機械弁の生理的逆流: 経胸壁アプローチ	
② 経弁逆流 (TVL: transvalvular leakage)	31
③ 弁周囲逆流 (PVL: paravalvular leakage)	
④ 僧帽弁位人工弁逆流の重症度評価指標	32

3.人工弁置換術後にみられる合併症 & 異常エコー	32
1) 弁座の動揺 (Rocking)	33
① 弁座の動揺とは	
② 弁座の動揺による弁周囲逆流: 僧帽弁位機械弁	
2) スタックバルブによる人工弁狭窄・逆流	34
① スタックバルブ (stuck valve) とは	
② スタックバルブの原因 — 血栓・パンヌス・疣腫など —	
③ スタックバルブ (血尖弁) による弁狭窄: 僧帽弁位機械弁	
④ スタックバルブ (疣腫) による弁逆流: 僧帽弁位機械弁	35
⑤ パンヌス増生による大動脈弁下狭窄: 大動脈弁位機械弁	
3) 赤血球の破碎による溶血	36
① 溶血が起こりやすい場合	
② 溶血が起こりにくい場合	
4) 人工弁のアーチファクト	37
① 音響陰影・多重反射	
② 反射による人工弁のアーチファクト: 偽MR	
③ 偽MRはパルスドプラー法で確認	38
④ 人工弁の周辺で観察されるキラキラエコーとは	
4. 人工弁検査の進め方	39
Appendix	
・資料1: 略語一覧	40
・資料2: 人工弁の変遷	41
・資料3: 人工弁一患者不適合 (PPM) における重症度評価基準	
・資料4: 人工弁機能不全 狭窄病変の重症度指標	42
・資料5: 人工弁機能不全 逆流病変の重症度指標	
・資料6: 重症 AS の手術適応	43
・資料7: AS の重症度評価	44
・資料8: 心エコー図検査による AS の重症度評価	
/ 症候性重症ASにおける経カテーテル的AVRか外科的AVRの選択	
・資料9: 心エコー図検査による MR の重症度評価	
・資料10: 重症一次性 MR の手術適応	45
・資料11: 左室収縮能低下に伴う二次性 MR の手術適応	
・資料12: 心エコー図検査の計測基準値	46

参考文献

A. 人工弁の基礎知識

1. 人工弁の歴史¹⁾

1) 機械弁の分類とその変遷

開発の年代 人工弁の分類	60	63	64	65	66	69	71	77	83	86	90年代	
Caged ball disc												
	Starr	Smeloff	Kay	SAM								
Mono-cusp (Tilting)												
	Eliss	Hammer-Smith	Alvarez	Wada	Bjork	Lillehei	Hall					
Bileaflet												
		Gott		Kalke			St Jude (SJM)	D.M. TEKNA	Carbo Medics	Sorin bicarbon	ATS	Jyros

色は材質を表す。黄：silcon (Starr弁, Smeloff弁, Kay弁)、
黄緑：polypropylene (Hammer-Smith弁, Alvarez弁)、
緑：teflon (SAM弁, Wada弁)、青：deline (Bjork弁)、
紫：pyrolite carbon (1971年以降開発されたすべての弁)

- 1960年3月に世界最初のAVR施行、同年9月にMVRが施行される。
- 1969年に傾斜ディスク弁誕生 (Bjork-Shiley弁)。
- 1977年にディスク型二葉弁誕生 (St. Jude-Medical弁)。

1) 新井達太 et al., 心臓弁膜症の外科. 2003; 第2版:564 (引用改変)

➤ パイロライトカーボン(pyrolite carbon)の採用

1969年に機械弁の新素材として導入されたパイロライトカーボンの採用により(最初はボール弁)、このことが人工弁の画期的な技術革新となった。抗血栓性、抗摩耗性に極めて優れた材質であることが証明され、1971年以降に開発されたすべての機械弁(主にディスク弁葉部)に採用されるようになり現在に至っている。

『生成』

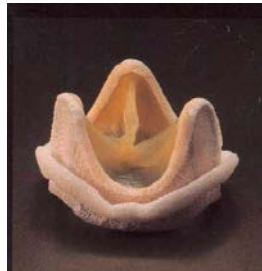
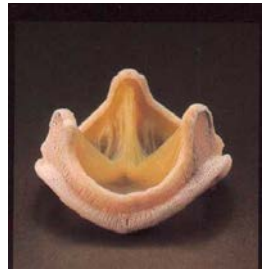
熱硬化性樹脂を2000℃付近で加熱炭化
→いわゆる人工炭素である。

『特性』

- ① 金属より軽い。
- ② 耐久性に優れている。
- ③ 生体との親和性が高く、抗血栓性に優れている。
- ④ 4億回の開閉運動に耐えうる。

2) 生体弁の分類とその変遷

* ブタから牛心のう膜へ *

製品名	カーペンターエドワーズ 生体弁 (CEBP)	カーペンターエドワーズ スプラアニューラ生体弁 (SAV)	カーペンターエドワーズ 牛心のう膜生体弁 (PERIMOUNT)
臨床使用	1976年～	1981年～	1981年～
材 質	ブタ大動脈弁	ブタ大動脈弁	牛心のう膜
			

- 1968年に Carpentier先生によりグルタルアルデヒドによる組織固定処理技術が確立され、初代ブタ弁が開発(モデル2611(A)、6611(M))される。
- 1976年にCEBP モデル2625(A)、6625(M)が発売。ステントの改良、石灰化抑制処理などが追加される。
- 1981年に低圧固定処理が導入され、SAVモデル2650(A)、6650(M)が開発される。またブタ弁と並行して、牛心のう膜にも着目、開発され、PERIMOUNTが誕生、臨床使用開始。

➤ 異種弁・異種組織弁の処理法確立

①グルタルアルデハイド処理(1968～)

→皮革のなめしに利用されていた処理方法

『特性』

- 滅菌効果
 - 強度と柔軟性の保持
 - 抗原性を消去(→生体の拒絶反応)
 - コラーゲン分子間の架橋ができ、弁尖が安定化
- 動物組織が使えるようになった。

②抗石灰化処理(1976～) →カルシウム沈着防止

③低圧固定処理(1981～) →弁組織の弾力保持

④ステント(弁組織を固定する骨組み)材料の工夫 (弾力性・柔軟性のあるデルリンなど)

→弁尖に加わるストレスを軽減

2. 人工弁の種類と特徴

1) 機械弁の種類 1960年～現在まで(2020年)

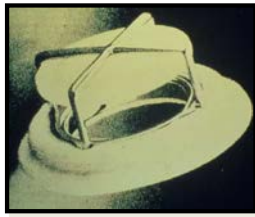
* Bileaflet弁(二葉弁)・・・現在の主流弁*

caged ball弁

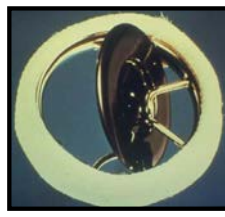


Starr-Edwards

caged disk弁



tilting disk弁(傾斜型)



Bjork-Shiley

Bileaflet弁(二葉弁)

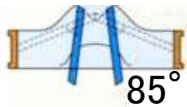


ON-X(開放角:85-90°)

Bileaflet弁(二葉弁)



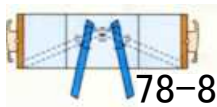
St.Jude Medical (SJM)



85°



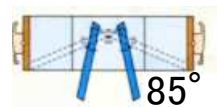
Carbo Medics



78-80°



ATS



85°



Sorin bicarbon

(開放角:80°)

弁葉が湾曲:中心流↑

2) 機械弁の種類と流速プロフィール:僧帽弁位

ケージ型ボール弁

ケージ型ディスク弁

傾斜型ディスク弁

ディスク型二葉弁



Starr-Edwards



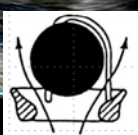
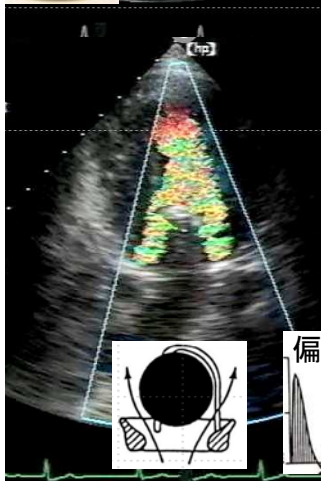
Starr-Edwards



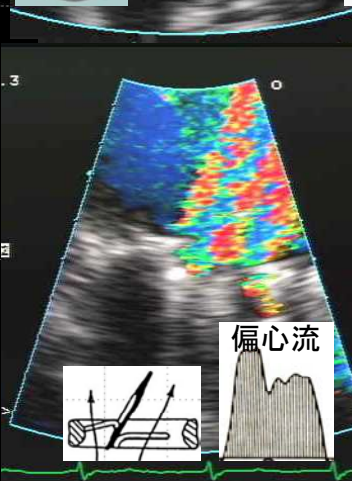
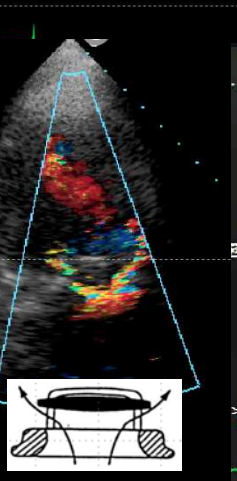
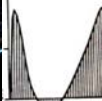
Medtronic-Hall



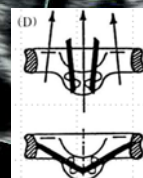
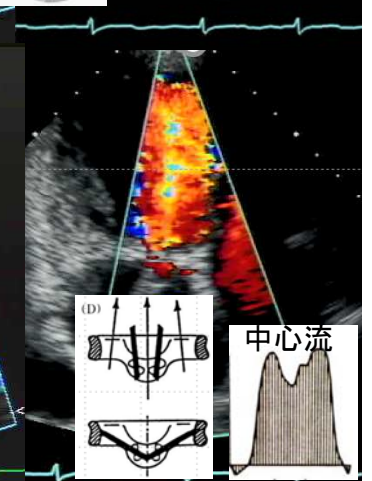
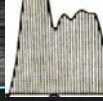
St.Jude Medical (SJM)



偏心流



偏心流



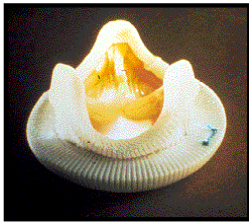
中心流



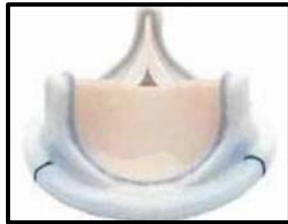
3) 生体弁の種類

➤ 異種生体弁: 動物組織を化学処理して作成: ブタ大動脈弁、ウシ心臓のう膜弁など

ステント付き
ブタ大動脈弁
Hancock II

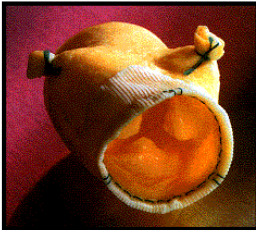


ステント付きウシ心臓のう膜弁
Carpentier-Edwards
PERIMOUNT (CEP弁)



- ① 中心流が得られ、より生理的な流入動態が期待できる。
- ② 溶血を起こしにくく、血尖弁になりにくい。
- ③ 抗凝固療法が不要であるが、耐久性があまりない(7~15年)。
- ④ 弁亀裂(cuspal tear)が起こる可能性がある。

ステントレス ブタ大動脈弁
Freestyle



Prima Plus



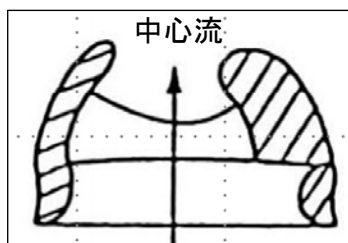
- ① ブタ大動脈弁を大動脈とともにほぼそのままの形で摘出した人工弁でステントのない生体弁
- ② 基本的に高齢者に適応
- ③ 血行動態が良い
- ④ 手術が複雑
- ⑤ 大動脈弁および肺動脈弁限定

➤ 同種生体弁(homograft): ヒト屍体より無菌的に摘出(冷凍保存)、若年者に適応、血行動態が良いが手術が複雑なのが難

➤ 自己生体弁(autograft): 自己肺動脈弁を大動脈弁位に移植(Ross手術)

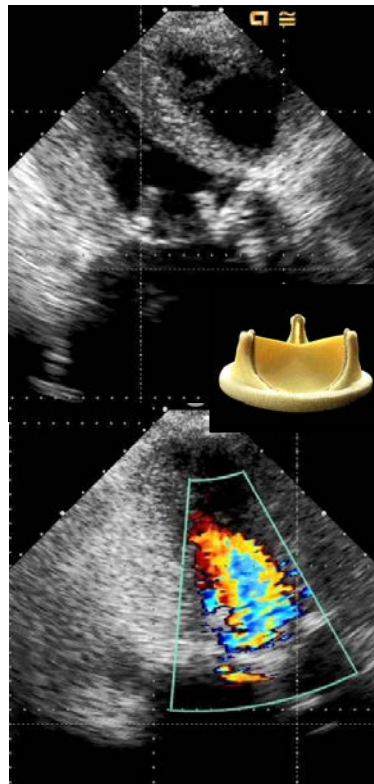
4) 生体弁の流速プロフィール: 僧帽弁位

ブタ大動脈弁
Hancock II



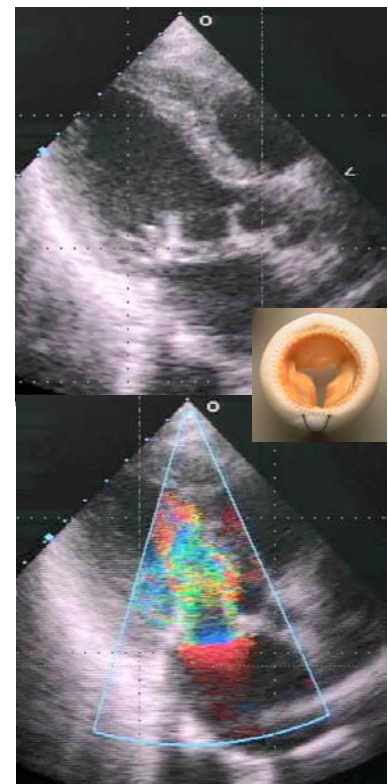
ウシ心臓のう膜弁

Carpentier-Edwards perimount



ブタ大動脈弁

Mosaic



5) 代表的な生体弁と機械弁の特徴

生体弁



(Carpentier-Edwards Pericardial Bioprosthesis Heart Valve)

機械弁



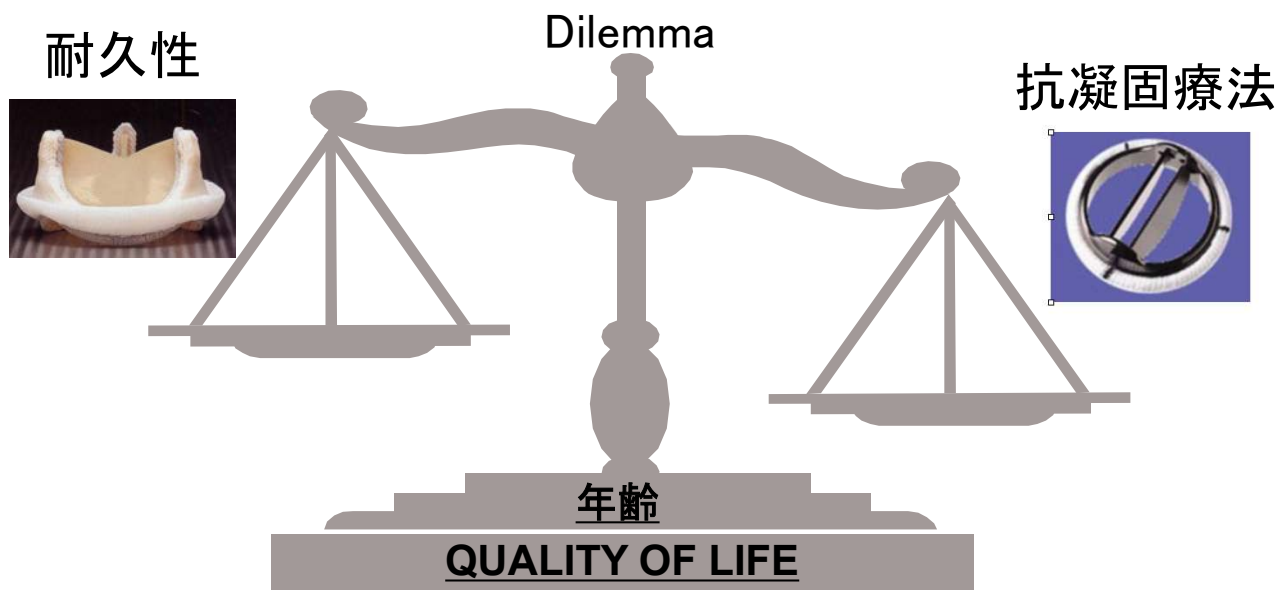
(St. Jude Medical® Mechanical Heart Valve: SJM)

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ① 中心流が得られる. ② 溶血を起こしにくく、血栓弁になりにくい. ③ 人工弁の音が聞こえない. ④ 抗凝固療法が不要であるが、耐久性に難がある(7～15年). ⑤ 弁亀裂の可能性はある. | <ul style="list-style-type: none"> ① 中心流が得られ、有効弁口面積が大きい. ② 弁葉の開放角が85度と大きい. ③ 弁高が低く、狭い左室腔に挿入しやすく弁下組織の温存に有利 ④ Pyrolytic carbonを材質としているので耐久性に優れ、血栓も生じにくい. |
|---|--|

* 同じサイズ(外径)なら有効弁口面積は機械弁の方が大きい *

3. 人工弁の選択

1) 生体弁か機械弁か



生体弁

右心系に用いられる。左心系に用いられる場合には耐久性にやや難がある。よって抗凝固療法のリスク、術後のQOLなどが考慮され洞調律の高齢者に用いられることが多い。

機械弁

耐久性に優れているが、術後遠隔期には抗凝固療法不良による人工弁の血栓化、パニヌス形成(線維組織の過剰増殖)などの問題点がある。

2) 人工弁の適応と選択²⁾ 2020 年改訂版 弁膜症治療のガイドライン

* 人工弁の選択に関する推奨とエビデンスレベル *		推奨 クラス	エビデ ンスレ ベル
機械弁および生体弁の長所・欠点を患者に十分説明したうえでの、患者による最終的な人工弁選択		I	C
ワルファリンが禁忌、またはワルファリンコントロールが十分に行える状況にない(服薬コンプライアンス、遠隔地)場合の生体弁の選択		I	C
妊娠出産を希望する女性に対する生体弁の選択		II a	C
大動脈弁位では 60 歳未満、僧帽弁位では 65 歳未満に対する機械弁の選択		II a	C
大動脈弁位では 65 歳以上、僧帽弁位では 70 歳以上に対する生体弁の選択		II a	C
十分な抗凝固療法のコントロール下で生じた、機械弁血栓弁に対する再手術における生体弁の選択		II a	C
* 人工弁機能不全に対する治療の推奨とエビデンスレベル *		推奨 クラス	エビデ ンスレ ベル
血栓弁			
左心系機械弁の血栓弁による症状が出現した場合の低用量血栓溶解療法または緊急手術		I	C
弁狭窄・弁逆流			
心不全症状のある重症人工弁狭窄症に対する外科的再弁置換術		II a	C
心不全症状あるいは溶血をきたす重症人工弁逆流に対する外科的再弁置換術		II a	C
手術リスクの高い症例で、有症候性の重症大動脈弁位生体弁狭窄または重症大動脈弁位生体弁経弁逆流に対するカテーテル的 valve-in-valve 術		II a	C

* 推奨クラス分類 *

クラス I	手技・治療が有効・有用であるというエビデンスがあるか、あるいは見解が広く一致している。
クラス II	手技・治療の有効性・有用性に関するエビデンスある いは見解が一致していない。
クラス IIa	エビデンス・見解から有用・有効である可能性が高い。
クラス IIb	エビデンス・見解から有用性・有効性がそれほど確立されていない。
クラス III	手技・治療が有効・有用でなく、ときに有害であるとのエビデンスがあるか、あるいは見解が広く一致している。

* エビデンスレベル *

レベル A	複数のランダム化介入臨床試験、またはメタ解析で実証されたもの。
レベル B	単一のランダム化介入臨床試験、または大規模なランダム化介入でない臨床試験で実証されたもの。
レベル C	専門家および/または小規模臨床試験(後ろ向き試験 および登録研究を含む)で意見が一致したもの。

4. 大動脈弁位人工弁 & 僧帽弁位人工弁 ¹⁰

1) 代表的な大動脈弁位人工弁の種類



生体弁 () 国内承認年

- ① ブタ弁:
Mosaic ultra(2007)、Epic(2011)
- ② ウシ心とう膜内巻き弁:
Perimount Magna(2008)、Magna Ease(2011)
Inspiris(2018)、AVALUS(2018)
- ③ ウシ心とう膜外巻き弁:
Trifecta GT(2012/2016)、Mitroflow(2012)、
Crown PRT(2015)
- ④ MICS対応 Suture less ウシ心とう膜弁:
Intuity(2018)、Perceval(2019)、3F Enable
- ⑤ TAVI ウシ心とう膜弁: バルーン拡張型
SAPIEN、XT(2013)、SAPIEN 3(2016)、Lotus
edge(2019)
- ⑥ TAVI ブタ心とう膜弁: 自己拡張型
Core Valve(2015)、Evolut R(2016)、Evolute
Pro(2018)、ACURATE neo(治験中)など



機械弁 () 国内承認年

- ① SJM Master、HP、Regent(2004): 日本で最も多く使用されている。人工弁リングの突出したピボットガードが特徴
- ② Carbomedics(1990) Rシリーズ、Top Hat: カフにカーボンを施し、心臓組織の弁への張出し(パンヌス形成)予防
- ③ ATS standard(1995)、AP、AP360: オープンピボット(ヒンジ部の窪み排除)の採用で血栓形成を抑制、開閉音が静か
- ④ ON-X(2005): 弁葉の開放角が広い(最大 90°)、抗血栓性に優れている。心臓組織の弁への張出し(パンヌス形成)予防
- ⑤ Sorin Bicarbon(1996): 2枚の人工弁弁葉が湾曲した形状を有することで中心流が増大、血流抵抗減少、乱流を予防

2) 外科的大動脈弁置換術(SAVR)

正中切開による通常の大動脈弁置換術(SAVR: Surgical Aortic Valve Replacement)

3) 小切開大動脈弁置換術(MICS-AVR)

人工心肺を用いた弁膜症手術においても低侵襲化が図られるようになってきた。新しく開発された Sutureless Aortic Valve(無縫合大動脈弁位人工弁)による小切開大動脈弁置換術(MICS-AVR)が行われるようになりつつある。

(低侵襲外科手術 MICS: minimally invasive cardiac surgery)



販売名: EDWARDS INTUITY Eliteバルブシステム

EDWARDS社HPより

承認番号: 22900BZX00188

サイズ: 19mm, 21mm, 23mm, 25mm, 27mm

素材: 牛心とう膜, コバルトクロムニッケル合金, ステンレス, ポリエステル布

従来の人工弁は、12本～15本の糸を1本ずつ結んで固定する。この複雑な固定法が、狭い傷口から手術を行うMICSの難易度が上がる要因のひとつであった。一方、新製品のINTUITY Eliteは、わずか3本の糸とバルーンで拡張したフレームによって圧着固定し留置するため、手術時間を短縮することができる。弁留置の手順を簡素化することで、よりMICSや複合手術に適した特徴を持つ、手術時間短縮に貢献する人工弁となっている。

4) 経カテーテル大動脈弁置換術

(TAVI : Transcatheter Aortic Valve Implantation

or TAVR : Transcatheter Aortic Valve Replacement)

大動脈弁狭窄症に対するカテーテル治療である TAVI は、2002年にフランスで初めて実施され、本邦でも2009年に臨床治験が開始されて以来、現在では多数の施設で実施されるようになり、外科的リスクの高い患者に対しての治療法として定着しつつある。更に最近では機能不全となった外科的生体弁に Valve in Valve として TAVI 弁が留置されつつある。

TAVIの適応

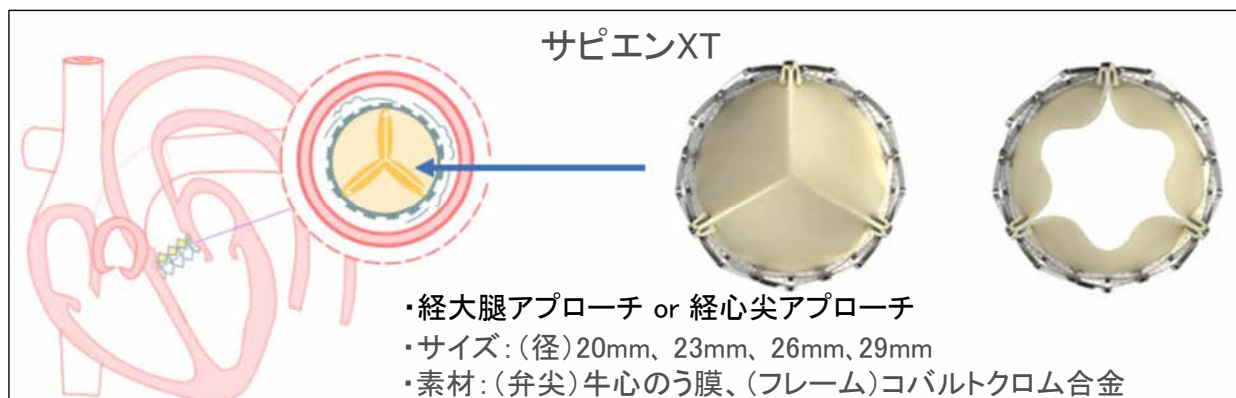
・高齢者(概ね80歳以上)

・冠動脈バイパス手術の既往

・大動脈の高度石灰化

・胸郭に対する外科手術既往

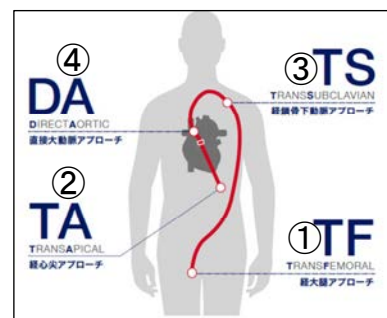
・頸動脈狭窄, COPD, 肝硬変の合併症



(Edwards Lifesciences 社)

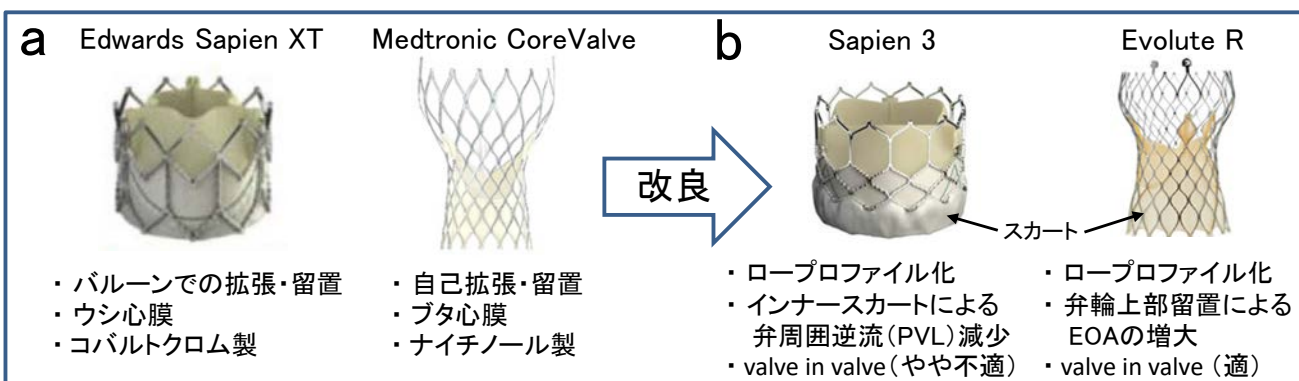
* TAVI のアプローチ方法 *

- ① 経大腿アプローチ (Trans-Femoral: TF)
- ② 経心尖アプローチ (Trans-Apical: TA)
- ③ 経鎖骨下動脈アプローチ (Trans-Subclavian: TS)
- ④ 直接大動脈アプローチ (Direct-Aortic: DA)



* TAVI の合併症 *

- ① 弁周囲逆流 (paravalvular leakage: PVL)
留置弁の弁輪部(石灰化など)間隙から漏出する偏在性の逆流は、主に初期デバイスで見られたが、それら改良後(a → b)ではスカート構造の追加によりPVLは低減した。
- ② 房室ブロックの出現 → ペースメーカー植え込み (PMI)
弁留置後に稀に起こる刺激伝導系障害(房室ブロック)のため、PMIとなる場合がある。
- ③ その他: 弁輪部破裂、冠動脈閉塞、大動脈解離、血尖弁、脳梗塞、PVEなど。



5) 各種大動脈弁位 人工弁サイズ別 基準値 平均圧較差(mPG) & 有効弁口面積(EOA)³⁾

ESC recommendations 2016, メーカー仕様書 etc.

人工弁 種類	平均圧較差(mPG)mmHg			有効弁口面積(EOA)cm ²		
ステント生体弁 サイズ	19(mm)	21(mm)	23(mm)	19(mm)	21(mm)	23(mm)
Mosaic ultra		14.2±5.0	13.7±4.8	1.1±0.2	1.2±0.3	1.4±0.3
Hancock II		14.8±4.1	16.6±8.5		1.2±0.2	1.3±0.2
C-E Perimount	24.2±8.6	20.3±9.1	13.0±5.3	1.1±0.3	1.3±0.4	1.5±0.4
C-E Magna				1.3±0.3	1.5±0.3	1.8±0.4
C-E Magna Ease	11.9	9.8	9.1	1.58	1.90	2.07
Biocor(Epic)				1.0±0.3	1.3±0.5	1.4±0.5
Mitroflow				1.1±0.2	1.2±0.3	1.4±0.3
Trifecta				1.4	1.6	1.8
AVALUS			13.6			1.57
スーチャーレス弁 サイズ	21(mm)	23(mm)	25(mm)	21(mm)	23(mm)	25(mm)
Medtronic 3f Enable		10±3	11±2		1.4±0.3	1.9±0.4
Sorin Perceval S	10.3±4.3	9.6±5.7	10.3±4.5	1.3±0.3	1.4±0.4	1.5±0.4
Edwards INTUITY Elite		12.3±4.4			1.7±0.3	

人工弁 種類	平均圧較差(mPG)mmHg			有効弁口面積(EOA)cm ²		
機械式二葉弁サイズ	19(mm)	21(mm)	23(mm)	19(mm)	21(mm)	23(mm)
SJM Standard	24.5±5.8	15.2±5.0	13.4±5.6	1.0±0.2	1.4±0.2	1.5±0.5
SJM Regent				1.6±0.4	2.0±0.7	2.2±0.9
On-X	11.8±3.4	9.9±3.6	8.5±3.4	1.5±0.2	1.7±0.4	2.0±0.6
Carbomedics Standard	12±5	13±4	11±4	1.0±0.4	1.5±0.3	1.7±0.3
ATS Standard	26±8	14±4	12±4	1.1±0.3	1.6±0.4	1.8±0.5
Sorin Bicarbon	13.9±1.3	9.3±4.1	9.1±4.0	1.0±0.2	1.3±0.3	1.6±0.4
TAVI弁 サイズ	20(mm)	23(mm)	26(mm)	20(mm)	23(mm)	26(mm)
SAPIEN				–	1.56±0.43	1.84±0.52
SAPIEN XT				–	1.41±0.30	1.74±0.42
SAPIEN 3				1.22±0.22	1.45±0.26	1.74±0.35
Core Valve				–	1.12±0.36	1.74±0.49
Evolut R				–	1.09±0.26	1.69±0.40
Evolut PRO			6.4			2.0
LOTUS Edge	14.2±6.1			1.38±0.31		
ACURATE neo						

3) Lancellotti, P et al : Recommendations for the imaging assessment of prosthetic heart valves: Eur Heart J, May 3, 2016

6) 代表的な僧帽弁位人工弁の種類



生体弁

()国内開始年

① ブタ大動脈弁:

Hancock II (1982)

Mosaic (1999): カフに厚み、弁輪へのフィットニングが良い.

Epic Mitral (2011): 弁高が低い.

② ウシ心のう膜内巻き弁:

Pericardial bioprosthesis (1985)

Pericardial bioprosthesis plus TFX (2007)

Perimount Magna Ease Mitral (2011): カフに厚みを持たせ弁輪へのフィットニングが良くなるようにカフ内部のシリコンリングを鞍状にトリミングしている.



機械弁(二葉弁)

()国内開始年

① SJM Regent (2004) Master: 日本で最も多く使用されている. 人工弁リングの突出したピボットガードが特徴.

② Carbomedics Standard (1987): カフに工夫を凝らしフィットニングを良くしている.

③ ATS standard (1995): 開閉音が静か.

④ ON-X (2005): 弁葉の開放角が広く(最大 90°)、カフに厚みを持たせフィットニングを良くしている.

⑤ Sorin Bicarbon (1996): 2枚の人工弁弁葉が湾曲した形状を有することで中心流が増大、血流抵抗減少、乱流予防に貢献.

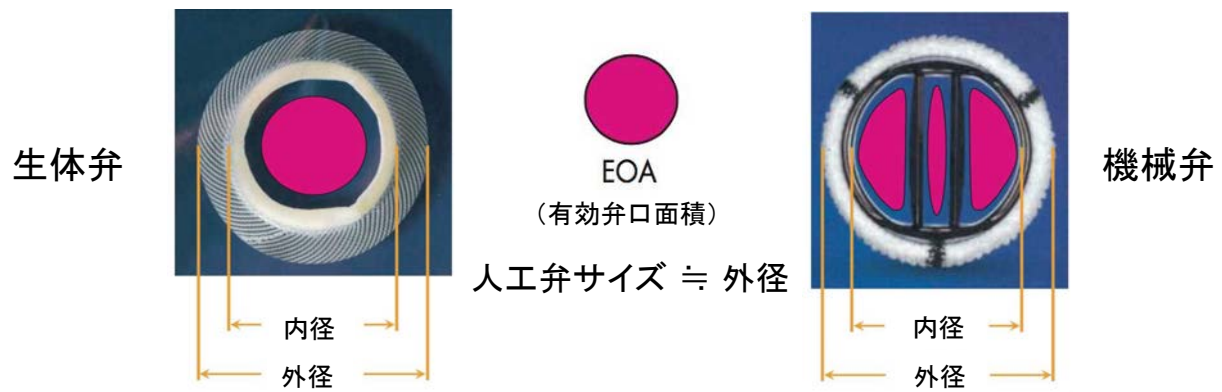
7) 各種僧帽弁位 人工弁サイズ別 基準値

平均圧較差(mPG) & 有効弁口面積(EOA)³⁾

ESC recommendations 2016, メーカー仕様書 etc.

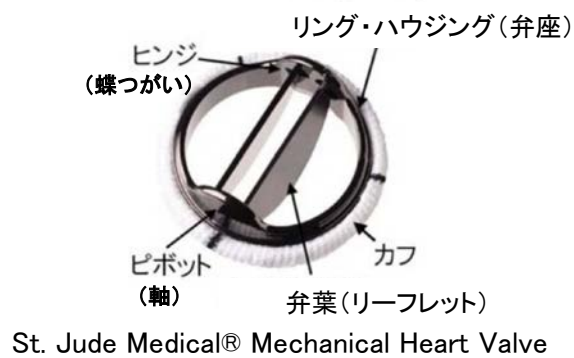
人工弁 種類	平均圧較差(MPG)mmHg			有効弁口面積(EOA)cm ²		
ステント生体弁 サイズ	27(mm)	29(mm)	31(mm)	27(mm)	29(mm)	31(mm)
Mosaic	4±2	4±2	4±2	1.7±0.5	1.9±0.5	1.9±0.5
Hancock II				1.8±0.5	1.9±0.5	2.6±0.5
C-E Perimount	3.6	5.3±2.4	4.1±0.8	1.8±0.4	2.1±0.5	
C-E Magna Mitral						
Epic Mitral	6.1 ±2.9	5.5± 1.7	4.8± 1.4	1.4±0.7	1.5 ± 0.5	1.6± 0.3
機械式二葉弁 サイズ	27(mm)	29(mm)	31(mm)	27(mm)	29(mm)	31(mm)
SJM Standard	5.0±1.82	4.15±1.8	4.15±1.8	1.7±0.4	1.8±0.4	2.0±0.5
ATS Standard				3.84	4.59	5.35
On-X	4.5±1.6	4.5±1.6	4.5±1.6	2.2±0.9	2.2±0.9	2.2±0.9
Carbomedics Standard	3.5±1.0	3.4±1.0	3.0±1.0	2.9±0.8	2.9±0.8	2.8±1.1
Sorin Bicarbon	8.8±2.9	5.9±4.1		2.4±0.6	2.8±0.6	

8) Valve Size is not equal to EOA^{S1)}

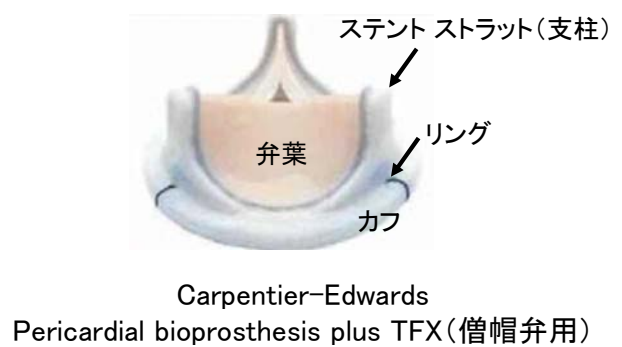


9) 人工弁のパーツ名

ディスク型二葉弁(機械弁)



ステント付きウシ心のう膜内巻き弁(生体弁)



Memo

B. 心エコー図検査による人工弁の評価法

1. 人工弁機能評価のチェックポイント

- 手術時期と人工弁の種類
- 弁尖の変性(生体弁)*
- 弁葉の可動性*
- 弁座の異常運動(動揺など)*
- 人工弁狭窄の有無、重症度評価*
- 人工弁逆流の有無、重症度評価*
- 異常エコーの有無: 疣贅、パンヌス、血栓など*
- 過去検査との比較、合併症の有無など
- その他

* 異常が疑われる場合のTEE必須項目

2. 人工弁機能不全の重症度評価

1) 大動脈弁位人工弁機能の評価項目

* 人工弁機能 *

- ① Peak Velocity: PV(m/s)・・・弁口通過最大血流速度
- ② mean Pressure Gradient: mPG(mmHg)・・・弁口平均圧較差
- ③ Acceleration Time: AT(msec)・・・最大速度に達するまでの加速時間
- ④ Doppler Velocity Index: DVI・・・左室流出路血流速と弁口血流速との流速(VTI) 比
- ⑤ Effective Orifice Area: EOA(cm²)・・・連続の式による有効弁口面積
- ⑥ 人工弁－患者不適合(PPM: prosthesis-patient mismatch)の評価
- ⑦ 弁逆流・弁周囲逆流の有無、局在性、重症度評価など
- ⑧ 異常エコーの有無: 疣贅、パンヌス、血栓、石灰化など

* その他 *

- ① 左室の大きさ、左室機能など
- ② 左室肥大の有無・程度など
- ③ 肺高血圧(PH)の有無・重症度、右室負荷など

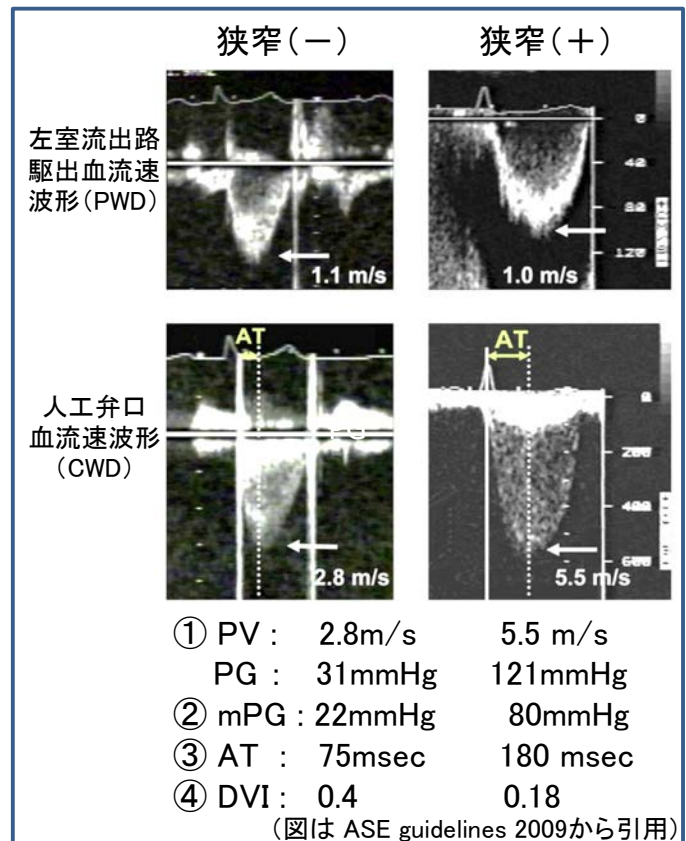
2) 大動脈弁位人工弁狭窄の重症度評価⁴⁾

(機械弁 & スtent生体弁)

- ① Peak Velocity: PV (m/s)
弁口通過最大血流速度の測定
/ Peak Gradient: PG (mmHg)
最大圧較差の測定
- ② mean Pressure Gradient: mPG (mmHg) 平均圧較差の測定
- ③ Acceleration Time: AT (msec)
弁口通過血流が最大速度に達するまでの加速時間の測定

※注: ①、②は流量に依存する指標である。

③は左心機能と心拍数の影響を受ける。

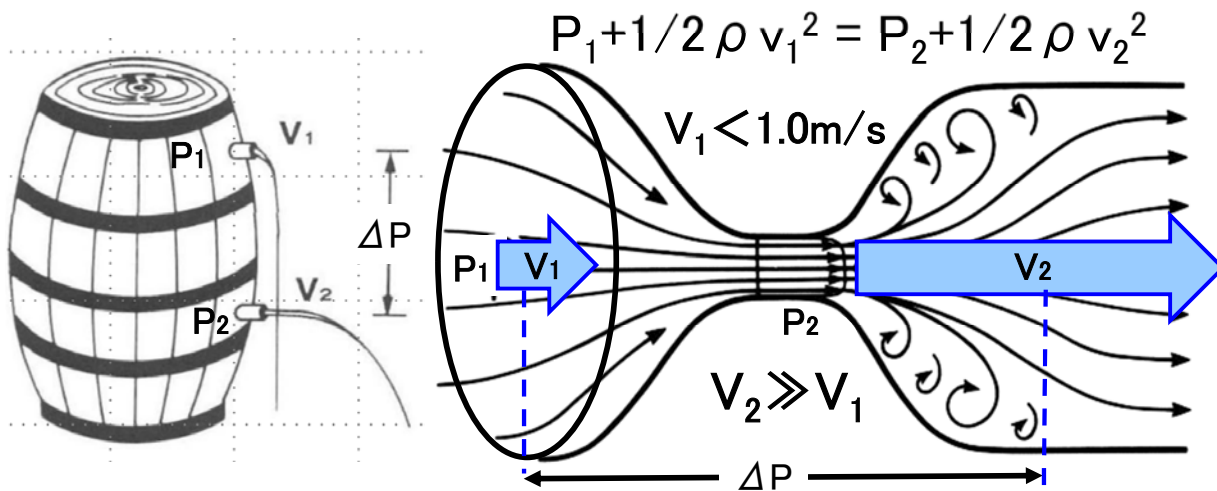


4) Zoghbi, W A et al : Recommendations for Evaluation of Prosthetic Valves With Echocardiography. J Am Soc Echocardiogr 22, 2009

skillup

弁口最大流速 (PV)
平均圧較差 (mPG) } が大きい場合の留意点

- 一回拍出量の影響を受ける。
 - ✓ 高心拍出量状態など: 貧血、甲状腺機能亢進症、発熱、透析など。
 - ✓ 心拍出量をチェックする。
 - ✓ 弁口面積の変化に比べ、弁口最大流速や圧較差が高値となることに留意する。→ 過大評価に注意 !!
- Pressure recovery の影響を考慮する。
 - ✓ 機械式人工弁の圧較差測定で、簡易ベルヌーイ式を用いると過大評価の可能性がある。→ 圧較差の過大評価に注意 !!
 - ✓ 上行大動脈径が小さい時 (3cm未満) には EOA の補正 (ELCo) が推奨される。
- PPM (人工弁一患者不適合) の可能性を考慮する。
- 逆に低拍出状態、血圧上昇時には圧較差を過小評価 !!

簡易 Bernoulli 式 ($\Delta P = 4 V^2$) とは

➤ Euler equation (流体に関するオイラーの連続の方程式)

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) + \underbrace{\rho \int_{x_1}^{x_2} \left(\frac{\partial v}{\partial t} \right) dx}_{\text{血流加速度}} + \underbrace{\int_{x_1}^{x_2} R(v, x) dx}_{\text{粘性摩擦因子}}$$

➤ Bernoulli equation (ベルヌーイ式)

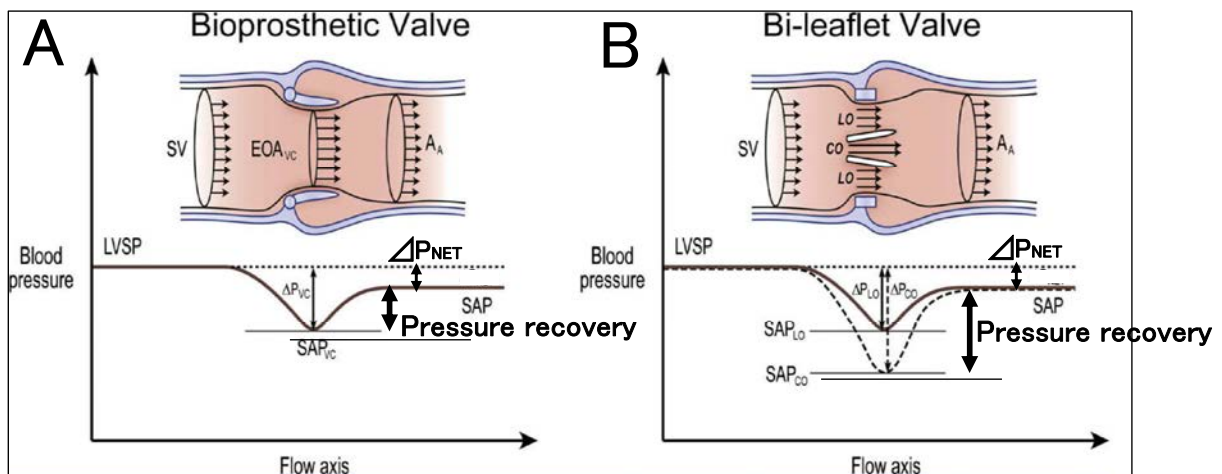
圧力単位: パスカル (Pa) を mmHg に変換すると { 圧力単位: 1 mmHg = 133 Pa, 血液密度 (ρ) = 1050 Kg/m³ }

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (V_2^2 - V_1^2) = 1050/2 (V_2^2 - V_1^2) / 133 \doteq 4 (V_2^2 - V_1^2)$$

$\therefore \Delta P = P_1 - P_2 = 4 V_2^2 \rightarrow \Delta P = 4 V^2 \cdots$ 簡易 Bernoulli 式
($V_2 \gg V_1$) $\cdots V_1$ が V_2 に比べ無視できる程小さい場合に成立

skillup 人工弁のプレッシャー リカバリー (Pressure recovery)⁴⁾

機械式人工弁の二葉弁 (B) は、その開放角度 (80~90度) を可能な限り開放して、生体弁 (A) と同じような流速プロフィールに近づけている。中心弁口部の流速 (CO) は、側方弁口部の流速 (LO) に比べ増大しているが、人工弁の構造上、渦流 (乖離流) の発生も少なくなるように設計されている関係でプレッシャーリカバリーはやや大きいものの (B: 矢印間)、全体的には圧較差が生じにくくなっている (ΔP_{NET})。よって、中心弁口部 (CO) の流速が速いからといって実際の圧較差・弁口面積を反映していないことに留意する。→ 圧較差の過大評価および弁口面積の過小評価に留意 !!



SV : 一回拍出量

EOAvc: 縮流部有効大動脈弁口面積

AA : 上行大動脈

LVSP: 左室収縮期圧

ΔP_{vc} : 縮流部大動脈圧較差

SAPvc: 縮流部での収縮期大動脈圧

ΔP_{Lo} : 側方弁口部での大動脈圧較差

ΔP_{co} : 中心弁口部での大動脈圧較差

SAPLo: 側方弁口部での収縮期大動脈圧

SAPco: 中心弁口部での収縮期大動脈圧

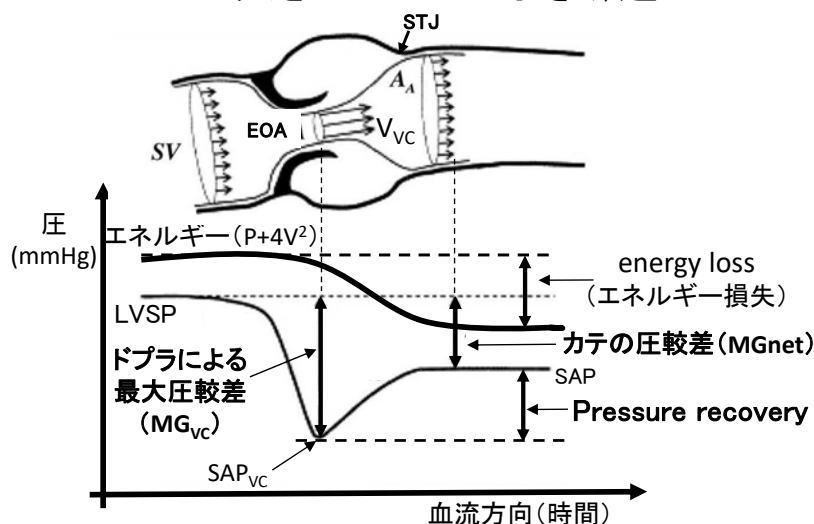
ΔP_{NET} : pressure recovery後の大動脈弁位圧較差

SAP: 収縮期大動脈圧

ASE guidelines 2009

Pressure recovery とは

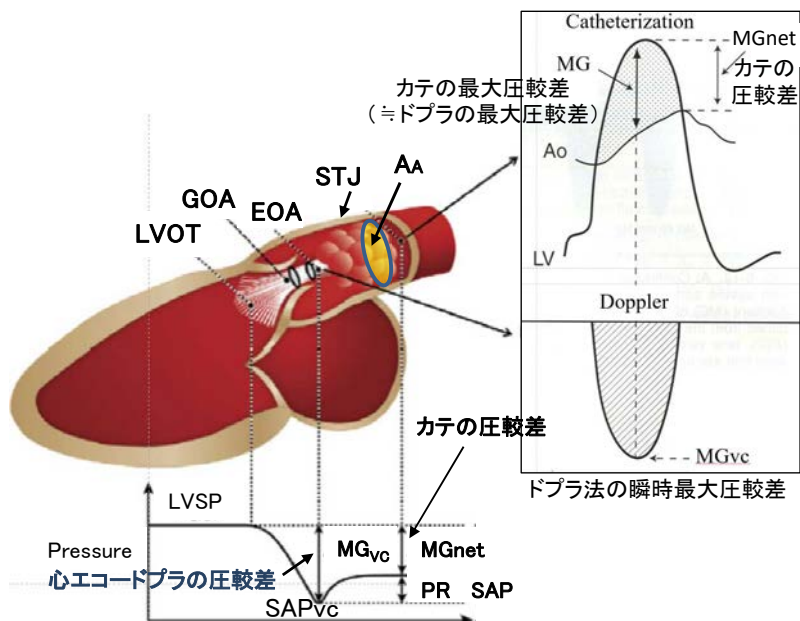
- 血流は圧エネルギーと動的エネルギー(流速)からなり、血流が狭窄部を通過する時には速度を上昇させ、圧を小さくして通りやすくする。狭窄部を通過すると、動的エネルギーは圧エネルギーに転換されるため血流速度は遅くなり圧が高くなる。
- この圧が回復する現象を Pressure recovery (PR) 現象と云う。
- PR(圧回復)現象は狭窄部位とその直後の径の差によって起こる⁵⁾。即ち、PR 現象は EOA と上行大動脈断面積(A_A)との比率で決まり、 A_A が大きいと PR は小さく、逆に A_A が小さくなれば PR は大きくなる。



SV : 一回拍出量
EOA: 有効大動脈弁口面積
 V_{VC} : 縮流部の流速
STJ: sino-tubular junction
(洞-上行大動脈移行部)
 A_A : 大動脈断面積(STJ 部位)
LVSP: 左室収縮期圧
MGnet: pressure recovery後の大動脈弁圧較差(カテの圧較差)
MGvc: 縮流部での大動脈弁圧較差(ドプラによる最大圧較差)
SAP: 収縮期大動脈圧
SAPvc: 縮流部での収縮期大動脈圧

5) Garcia. D et al :Assessment of aortic valve stenosis severity : A new index based on the energy loss concept. Circulation 101 : 765-771, 2000

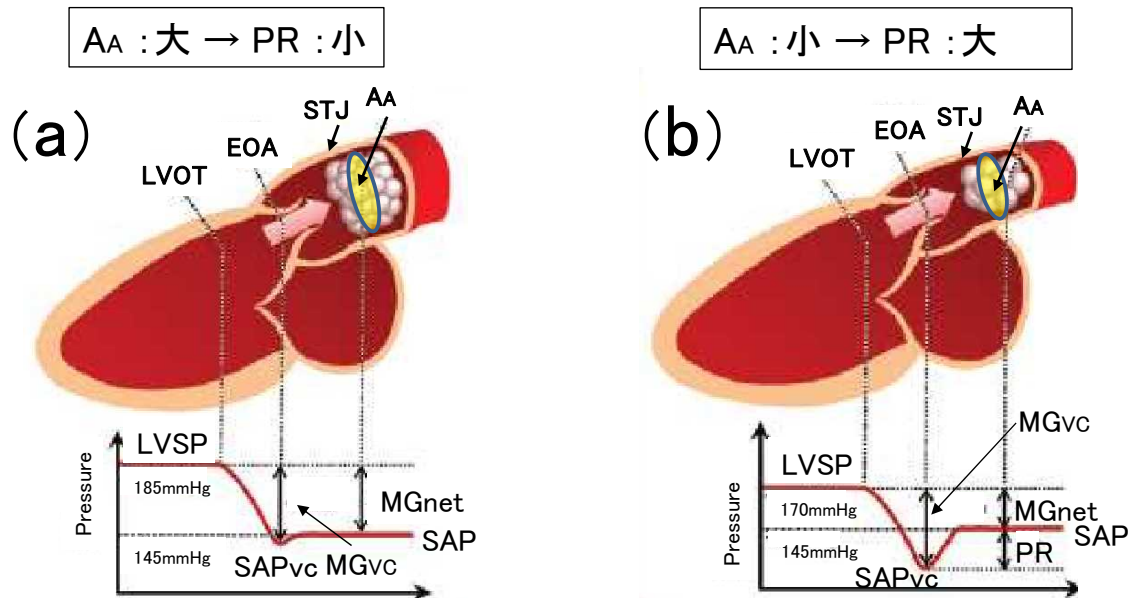
- 心カテーテル法では、狭窄より近位部(左室流出路)と遠位の PR が起きた後の部位(MGnet)を計測している。
→ 左室圧と大動脈圧間の peak to peak の圧較差を測定
- 一方、心エコー法は狭窄部の血流を測定しており、PR が起きる前の一番圧が小さい部分と左室流出路との圧較差(MGvc)を計算している。そのため心カテーテル法より大きな値となる。



LVOT: 左室流出路
GOA: 解剖学的弁口面積
EOA: 有効弁口面積
STJ: sino-tubular junction
 A_A : 大動脈断面積(STJ 部位)
PR: pressure recovery (圧回復)
LVSP: 左室収縮期圧
MGnet: PR後の大動脈弁圧較差(カテの peak to peak 圧較差)
MG: カテの最大圧較差(ドプラ法の最大圧較差に相当)
MGvc: 縮流部での大動脈弁圧較差(ドプラ法による最大圧較差)
SAPvc: 縮流部での収縮期大動脈圧
SAP: 収縮期大動脈圧

Pressure recovery を考慮した EOA 補正式:ELCo⁵⁾

- 例えば、上行大動脈が拡大している場合には、エネルギー損失が大きく Pressure recovery (PR) は小さい(a). → 補正は不要
- 逆に上行大動脈面積(A_A)が小さいとエネルギー損失が小さく、PR は大きくなる(b). この場合、EOA を過小評価するので ELCo での計測が推奨されている. → 補正が必要



- このようにエネルギー損失を考慮した EOA の補正式 ELCo を用いることが推奨されているが、上行大動脈面積(A_A)、すなわちSTJ部より1cm 下流の径を計測して A_A を求めるなど、測定式が煩雑なことから、計測誤差が発生する可能性もあるので留意して測定すること。

$$\text{補正式 ELCo} = A_A \times \text{EOA}_{\text{Dop}} / (A_A - \text{EOA}_{\text{Dop}})$$

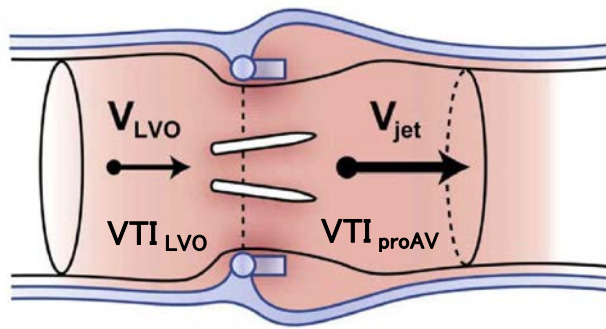
(ELCo : energy loss coefficient, AA: STJ部の面積、EOA_{Dop}:ドプラ法で求めたEOA)

- 通常、ドプラ法で求めた EOA が小さく(1.0cm² 以下)、STJ 径が大きい(3cm以上)場合には問題ないが(a)、STJ 径が 3cm 未満と小さい場合には(b)、EOA 測定値に乖離が起こる。
- 計測例: STJ径 2.2cm (A_A 3.8cm²)、EOA 計測値 0.8cm² とすると、

$$\text{ELCo} = 3.8\text{cm}^2 \times 0.8\text{cm}^2 / (3.8\text{cm}^2 - 0.8\text{cm}^2) = 1.0\text{cm}^2$$
 → 即ち、補正前の EOA: 0.8cm² が、補正後には EOA: 1.0cm² となる。
- また、ELCo を BSA で補正することで重度 AS を分離できる。
- $$\text{ELI} = A_A \times \text{AVA}_{\text{Dop}} / (A_A - \text{AVA}_{\text{Dop}}) / \text{BSA}$$
 (ELI: energy loss index)

$$= < 0.5 \text{ cm}^2/\text{m}^2 \text{ (重度 AS のカットオフ値)}$$

④ Doppler Velocity Index: DVI の測定



ProAV: Prosthetic Aortic Valve
LVO: left ventricular outflow
VTI: velocity time integral

$$DVI = \frac{\text{Velocity}_{LVO}}{\text{Velocity}_{jet}}$$

* 通常の計測には VTI が用いられる *

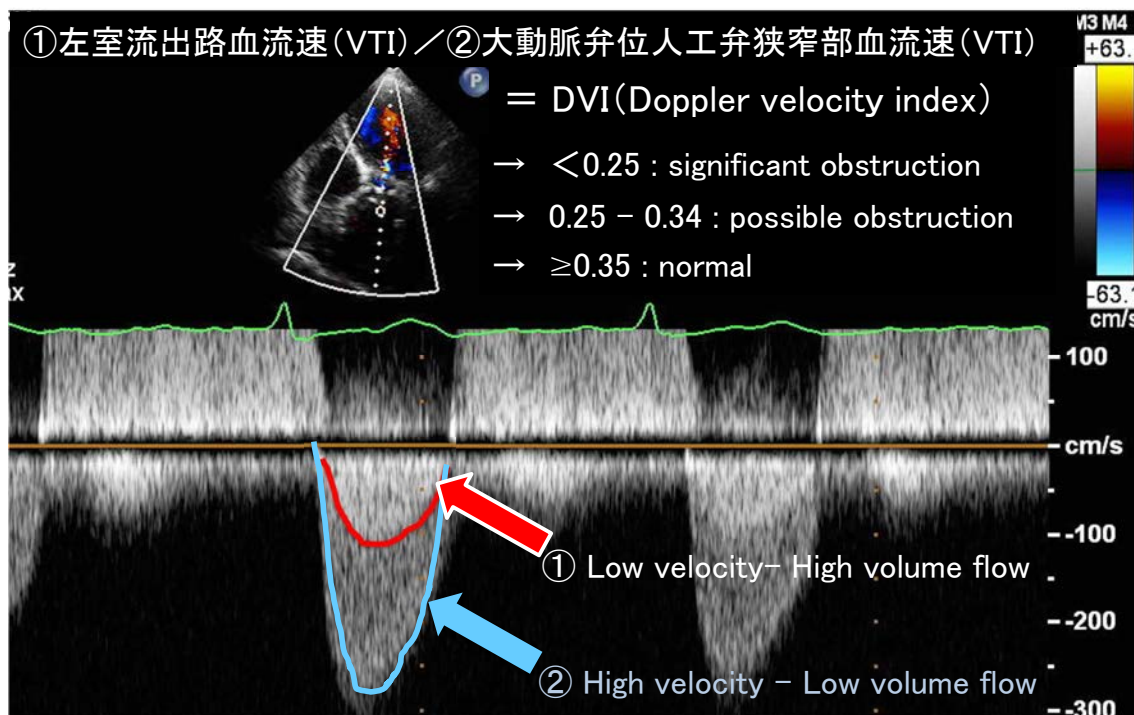
$$DVI = \frac{VTI_{LVO}}{VTI_{proAV}}$$

- 流量に依存しない指標 → 血流量の影響が少ない.
- 人工弁口を通過する血流は左室流出路(LVO)からの速度 (V_{LVO}) により加速される (V_{jet}).
- DVI は LVO速度 ($V_{LVO} \rightarrow VTI_{LVO}$) と弁口通過するジェット速度 ($V_{jet} \rightarrow VTI_{proAV}$) との速度 (VTI) 比である.
- 速度 (VTI) 比 DVI が <0.25 の場合に高度狭窄が疑われる.
- PV、mPGが前回値より上昇した場合には DVI が有用である.

skillup

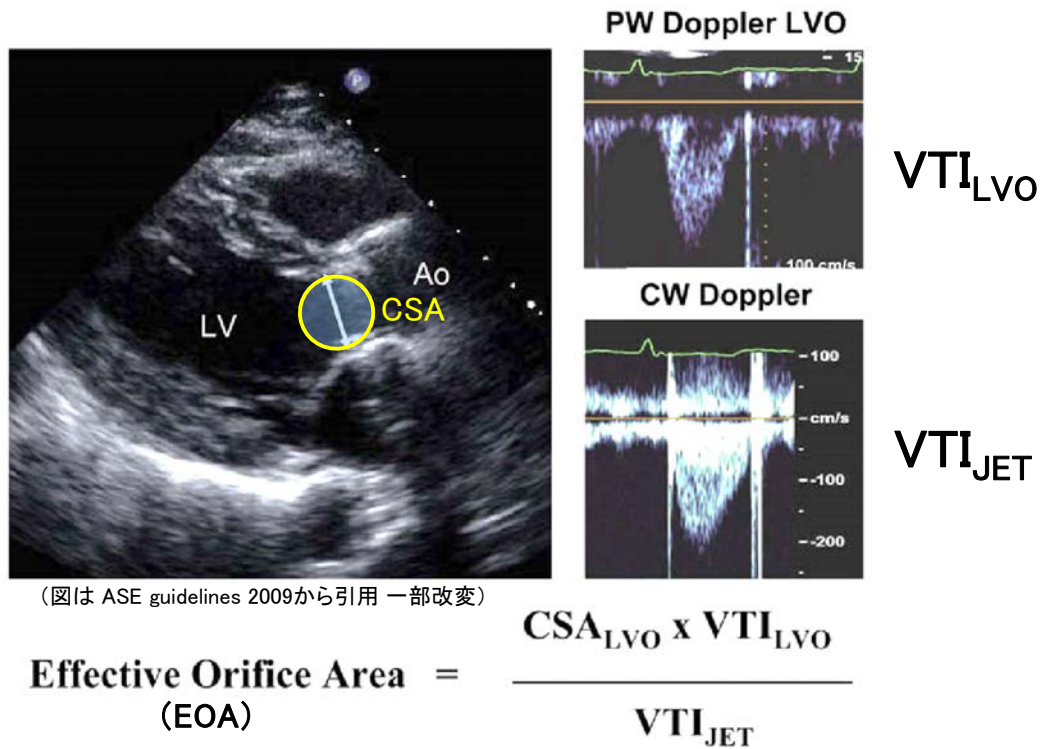
Double envelope法による DVI の測定

* 連続波ドプラ法による左室流出路血流速と弁狭窄部血流速の同時記録 *



- Double envelope 法は心拍毎に変化する心房細動などにおいて有効な測定法
- Double envelope の描出には装置の適切な調整が必須 (ダイナミックレンジなど)

21 ⑤ 連続の式による大動脈弁位有効弁口面積 (EOA) の測定



- 連続の式を用いて有効弁口面積 (EOA) が求められる。
- 比較的流量に依存しない指標 → 駆出量の大小に影響されにくい。

skillup

有効弁口面積 (EOA) 測定時の留意点

* 弁口通過血流量増減の影響 *

- 中等度以上のAR存在 → 弁口通過血流量増大 → 左室流出路流速積分値 (VTI_{LVO}) 増大 → **EOA を過大評価**

$$\text{Effective Orifice Area (EOA)} = \frac{\text{CSA}_{\text{LVO}} \times \text{VTI}_{\text{LVO}}}{\text{VTI}_{\text{JET}}}$$

↑ (Left side) ↑ (Right side)

- 中等度以上のMR存在 → 弁口通過血流量減少 → 左室流出路流速積分値 (VTI_{LVO}) 減少 → **EOA を過小評価**

$$\text{Effective Orifice Area (EOA)} = \frac{\text{CSA}_{\text{LVO}} \times \text{VTI}_{\text{LVO}}}{\text{VTI}_{\text{JET}}}$$

↓ (Left side) ↓ (Right side)

* 計測誤差の影響 *

- 特に左室流出路径が数mm違うと誤差が大きくなるので計測は慎重に!!

⑥ 人工弁一患者不適合 (PPM: Prosthesis - Patient Mismatch) とは ²²

- 患者の体格に比べて小さな人工弁が移植された結果、人工弁に高度の圧較差が生じる現象のこと。→ 人工弁の機能障害ではない
- PPMと機能障害の鑑別は巻末の資料(3)を参照(41頁)

ASE guidelines 2009	EOAI by Prosthesis size (mm)					
Prosthesis size (mm)	19	21	23	25	27	29
Average EOA (cm ²)	1.1	1.3	1.5	1.8	2.3	2.7
BSA (m ²)						
0.6	1.83	2.17	2.50	3.00	3.83	4.50
0.7	1.57	1.86	2.14	2.57	3.29	3.86
0.8	1.38	1.63	1.88	2.25	2.88	3.38
0.9	1.22	1.44	1.67	2.00	2.56	3.00
1	1.10	1.30	1.50	1.80	2.30	2.70
1.1	1.00	1.18	1.36	1.64	2.09	2.45
1.2	0.92	1.08	1.25	1.50	1.92	2.25
1.3	0.85	1.00	1.15	1.38	1.77	2.08
* 1.4	0.79	0.93	1.07	1.29	1.64	1.93
1.5	0.73	0.87	1.00	1.20	1.53	1.80
1.6	0.65	0.88	0.88	0.88	0.88	1.69
1.7	0.65	0.76	0.88	1.06	1.35	1.59
1.8	0.61	0.72	0.83	1.00	1.28	1.50
1.9	0.58	0.68	0.79	0.95	1.21	1.42
2	0.55	0.65	0.75	0.90	1.15	1.35
2.1	0.52	0.62	0.71	0.86	1.10	1.29
2.2	0.50	0.59	0.68	0.82	1.05	1.23
2.3	0.48	0.57	0.65	0.78	1.00	1.17
2.4	0.46	0.54	0.63	0.75	0.96	1.13
2.5	0.44	0.52	0.60	0.72	0.92	1.08

➤ 例えば大動脈弁位人工弁サイズ 19mm の平均 EOA は 1.1cm² と小さく(表○)、BSA 1.4m²以上の体格を持つ患者(表*)に移植すると PPM(EOAI < 0.79) となる。

➤ よって、PPM を避けるには少なくとも弁サイズ 21mm 以上が必要である。

➔ 成人平均体格 BSA 1.6m² ライン
 緑色帯: PPM(-) 領域
 黄色帯: PPM ボーダーライン
 赤色帯: PPM(+) 領域

EOAI ≤ 0.65cm²/m²: 高度
 EOAI 0.85 ~ 0.66cm²/m²: 中等度
 EOAI > 0.85cm²/m²: 正常範囲内
 (表は ASE guidelines 2009から引用)

⑦ 大動脈弁位人工弁狭窄の重症度評価指標 ²⁾³⁾

★
 ESC recommendations 2016

機械弁 & スtent生体弁	正常	狭窄疑い	高度狭窄疑い
定性 人工弁の構造と動き	正常	多くは異常 ^a	異常 ^a
経弁口血流エンベローブ ^b	三角形ピーク前	中間	先端丸くピーク中央
半定量 AT: 加速時間(m/sec) ^b	<80	80 ~ 99	≥100
AT / LVET 比	<0.32	0.32 ~ 0.37	≥10
定量 PV: 最大速度(m/sec) * ^{c,d}	<3	3 ~ 3.9	≥4
mPG: 平均圧較差(mmHg) * ^{c,d}	<20	20 ~ 34	≥35
ストレスエコー中の mPG 増大(mmHg) *	<10	10 ~ 19	≥20
経過観察中の mPG 増大(mmHg) *	<10	10 ~ 19	≥20
EOA: 有効弁口面積(cm ²) # ^{c,e}	>1.1	1.1 ~ 0.8	<0.8
基準値EOA - 測定EOA(cm ²) # ^c	<0.25	0.25 ~ 0.35	>0.35
DVI: 左室流出路 / 弁口 速度比 # ^{c,e}	>0.30	0.25 ~ 0.30	<0.25

AT: acceleration time, ET: ejection time, PV: peak velocity, mPG: mean pressure gradient, EOA: effective orifice area, DVI: Doppler velocity index

*: 流量に依存する指標 # : 流量に依存しない指標

a: 機械弁オクルーダー異常(不動・可動制限) 生体弁肥厚・石灰化、他に両者とも血栓、パニヌスなどによる閉塞障害など。

b: 左心機能と心拍数の影響を受ける。

c: ほぼ正常または正常な一回拍出量(50 ~ 90 mL) および流量(200 ~ 300 mL/s) に対して有効。

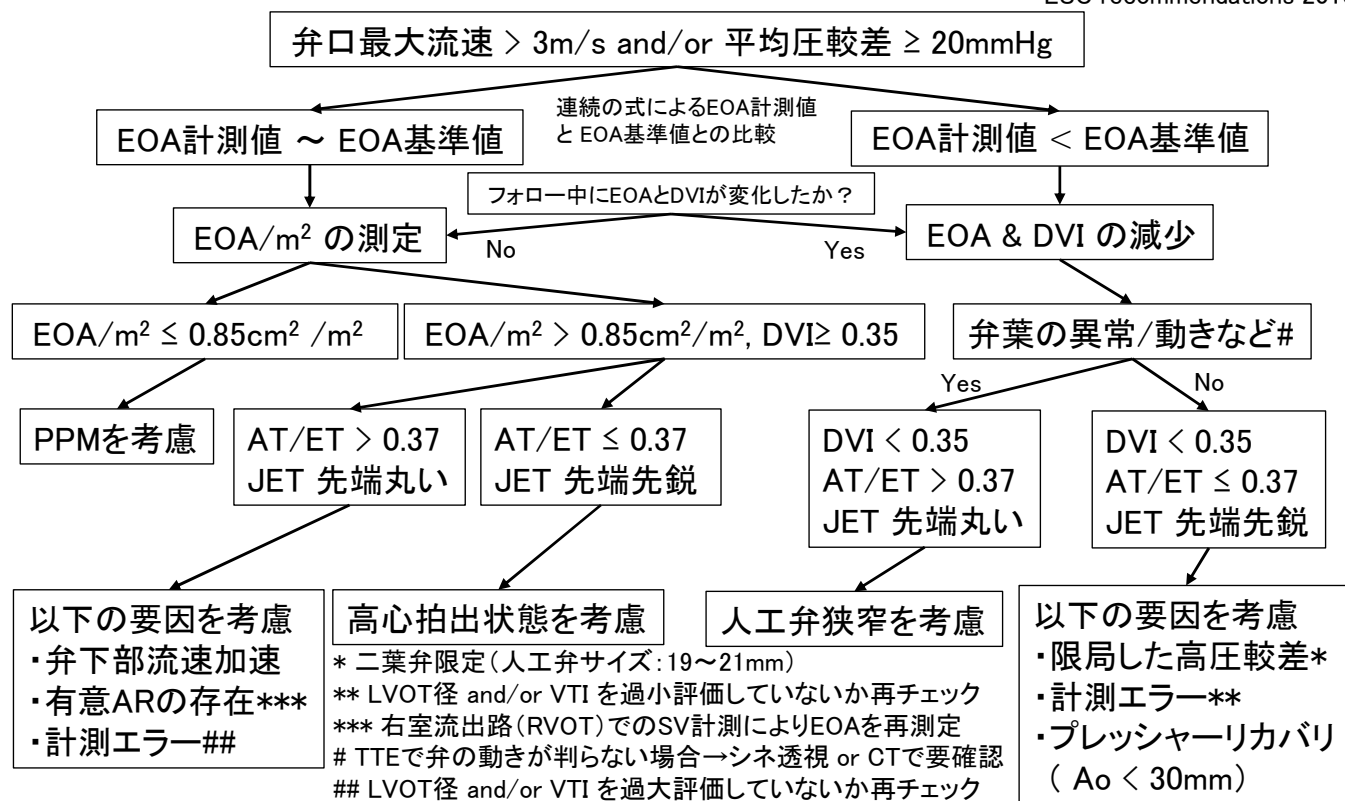
d: 低左心機能や有意な大動脈弁位逆流が存在する場合など、低拍出・高拍出状態での影響を受ける。

e: LV流出路のサイズに依存。

弁膜症治療のガイドライン 2020年改訂版(青字)

⑧ 大動脈弁位人工弁 高圧較差時における 狭窄評価のアルゴリズム

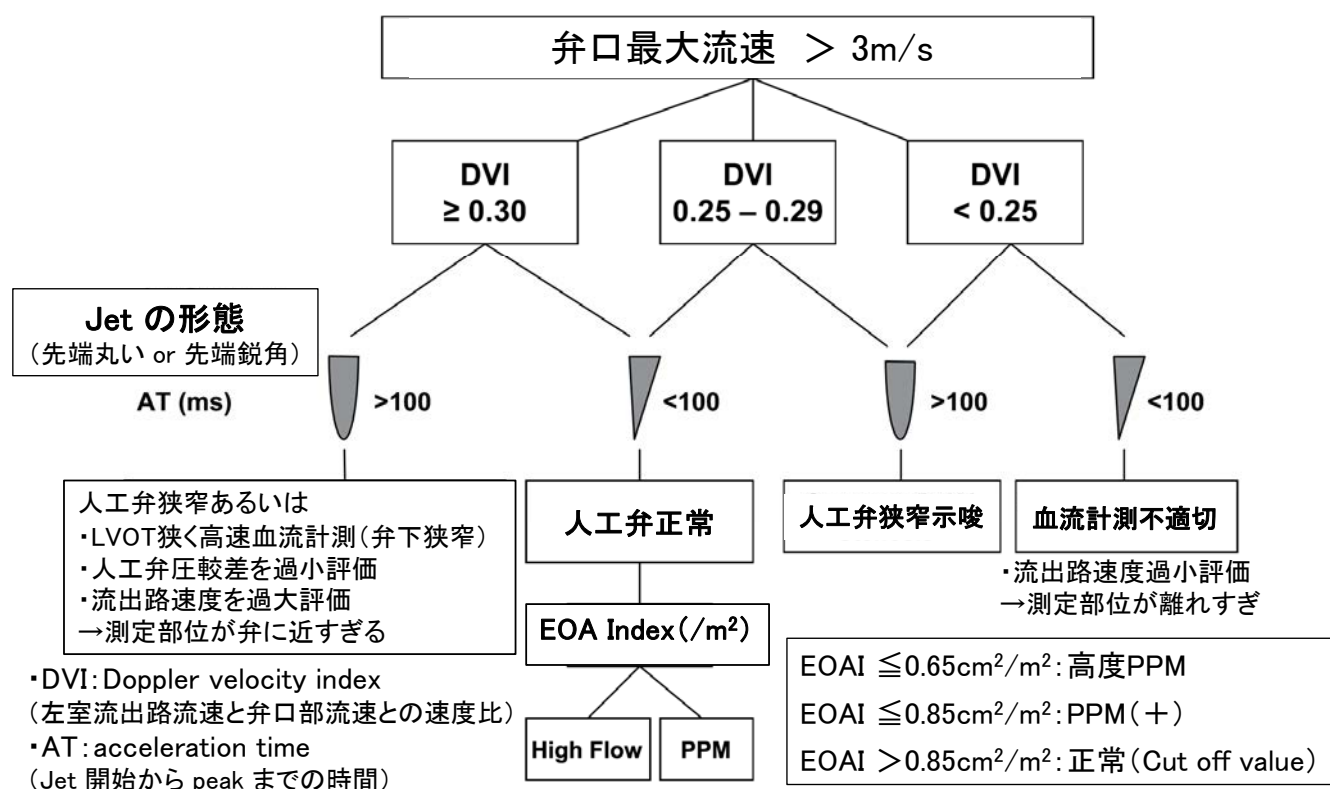
ESC recommendations 2016



EOA : effective orifice area, DVI : Doppler velocity index, PPM : prosthesis-patient mismatch, AT : acceleration time, LVOT : left ventricular outflow tract, TTE : transthoracic echocardiography

⑨ 大動脈弁位人工弁狭窄重症度評価における 心エコー図検査のながれ

ASE guidelines 2009



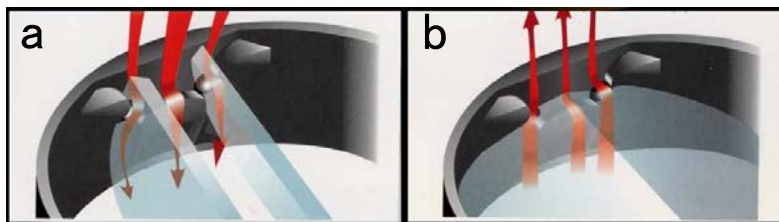
3) 大動脈弁位人工弁逆流の重症度評価

(機械弁 & スtent生体弁)

① 生理的範囲内の人工弁逆流

- ディスク閉鎖時に数条の小さな逆流ジェット(c: 矢印)が認められる.
- 二葉弁ではヒンジ部から少量の逆流が起こるように設計されている(a, b).
- 閉鎖後のリークは弁上流の血流うっ滞と血栓形成を防止する役割がある.
- 逆流ジェットは短く細く、持続時間も短い.
- 生体弁では弁接合部から僅かな逆流を認めることもある.

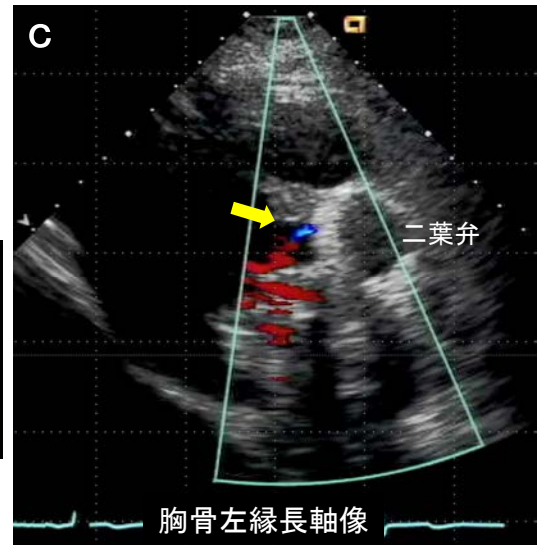
St. Jude Medical Mechanical Heart Valve (SJM)



二葉弁開放(a)

二葉弁閉鎖(b)

・血栓形成を予防するための洗浄ジェット(a, b: 矢印)



閉鎖時にヒンジ部から少量の生理的逆流(矢印)

② 経弁逆流(trans valvular leakage: TVL)

- 機械弁での主な原因 → 二葉弁の片方のスタックバルブ
 - ・弁閉鎖を妨げる組織の遺残(パンヌス形成など)
 - ・縫合糸やヒンジ内のカスなど.
- 生体弁での主な原因
 - ・弁尖劣化、石灰化、穿孔、亀裂、逸脱、IE に伴う破壊など.
- 詳細な診断には経食道心エコー(TEE)が必須である.

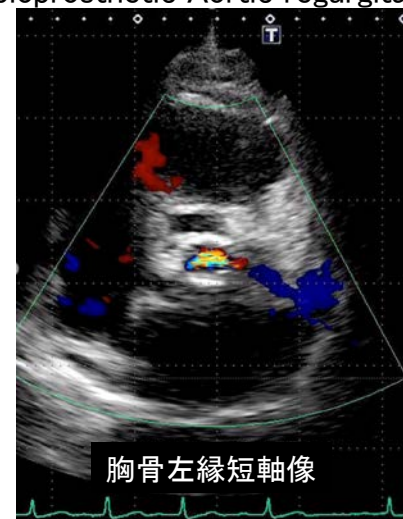
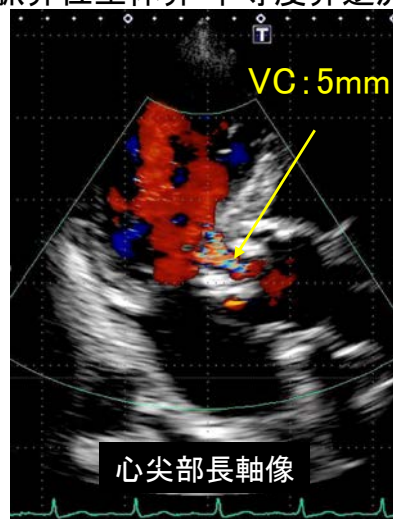
大動脈弁位生体弁 中等度弁逆流(bioprosthetic Aortic regurgitation)

* 重症度評価に有用な指標 *

- ・ARジェット幅 / LVOT幅比 = 50% → 中等度
- ・VC幅 = 5mm → 中等度



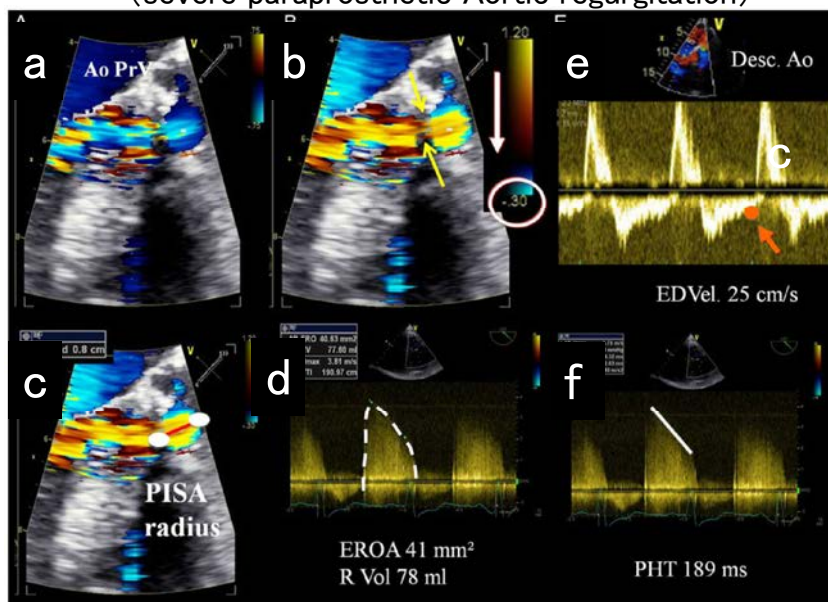
MOSAIC ULTRA(19mm)



25 ③弁周囲逆流(paravalvular leakage:PVL)

- 原因の多くは、何らかの理由(IE、縫合不全、経年劣化など)による弁輪部縫合輪の脆弱化が原因.
- 詳細な診断には経食道心エコー(TEE)が必須である.

大動脈弁位機械弁 重度弁周囲逆流
(severe paraprosthetic Aortic regurgitation)



経食道心エコー(TEE): a,b,c 連続波ドプラ(d,f) パルスドプラ(e)

* 重症度評価に有用な指標 *

a: 弁周囲逆流ジェット
特にジェット基部幅/周囲長の比
→ ④: 図(短軸像)参照

b: vena contracta (黄矢印)

以下、可能であれば計測を !!

c: PISA (red-line)

d: EROA: 0.41 cm²

RV (逆流量): 78 mL

e: 胸骨上窩アプローチによる
汎拡張期逆流血流の描出:
下行大動脈拡張末期血流速度
25 cm/s. (赤矢印)

f: PHT: 189 ms

(図はESC recommendations 2016から引用)

④ 弁周囲逆流の円周方向範囲(%)による重症度評価³⁾

大動脈弁位弁周囲逆流(paraprosthetic Aortic regurgitation)

- 弁周囲逆流ジェット基部幅(矢印)と弁リング周囲長の比から重症度を評価
mild regurgitation $< 10\%$
severe regurgitation $\geq 30\%$



経食道心エコー(TEE)

(図はESC recommendations 2016から引用)

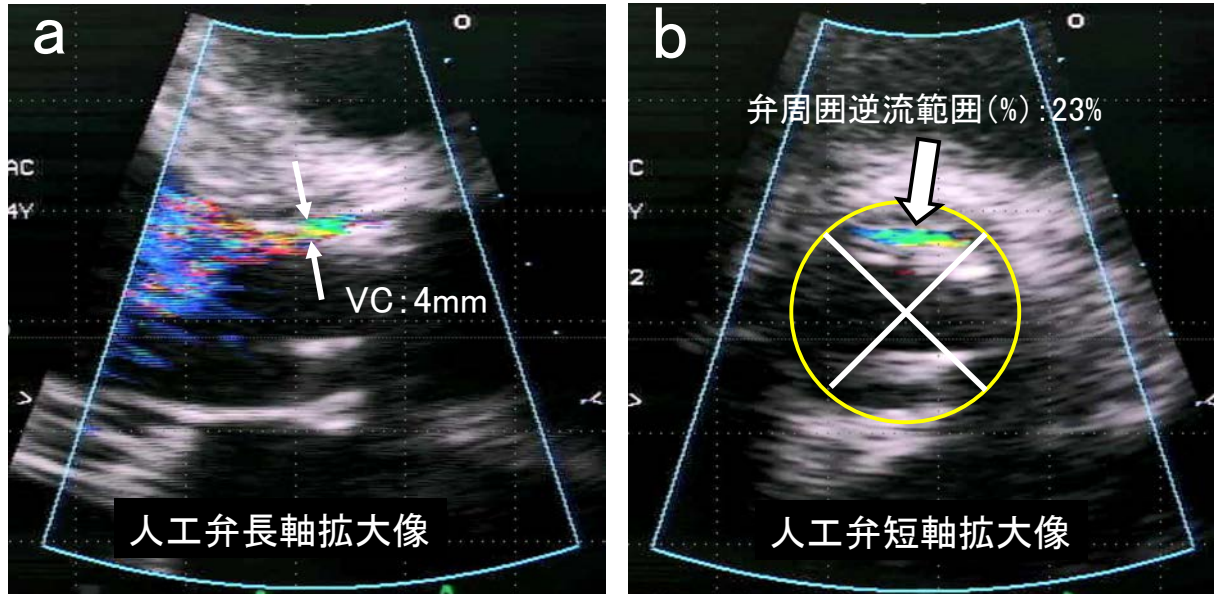
⑤ 大動脈弁位弁周囲逆流(paravalvular leakage:PVL)

経胸壁心エコー(TTE)による評価

➤ 重症度評価に有用な指標

- ・vena contracta 幅(a: 矢印): 4mm
- ・弁周囲逆流ジェット基部幅(b: 矢印)と弁リング周囲長の比(○印): 23%(中等度)

大動脈弁位二葉弁 中等度弁周囲逆流(paraprosthetic Aortic regurgitation)



- 二葉弁短軸像を4分割(b: ×印)にして観察すると逆流範囲(矢印)の判定が容易

⑥ 大動脈弁位人工弁逆流の重症度評価指標²⁾³⁾

ESC recommendations 2016

機械弁 & ステント生体弁	軽度	中等度	高度
定性 人工弁の構造と動き	通常正常	通常異常 ^a	通常異常 ^a
カラーフローARジェット幅 ^b	小さい	中間	大きい(65% > LVOT径)
AR逆流波形濃度(CWD)	不完全 or 薄い	濃い	濃い
下行大動脈拡張期逆流(PWD)	拡張早期のみ	中間	汎拡張期逆流 (ED velocity > 20cm/s)
半定量 PHT: 圧半減時間 ^c	> 500	200-500	< 200
弁周囲逆流の円周範囲(%) ^d	< 10	10-29	≥ 30
VC: Vena contracta 幅 (cm)	< 0.3	0.3-0.6	> 0.6
定量 EROA: 逆流弁口面積 (cm ²)	< 0.10	0.10-0.29	≥ 0.30
RV: 逆流量 (mL / beat) ^e	< 30	30-59	≥ 60
RF: 逆流率 (%)	< 30	30-50	≥ 50

PHT: pressure half time, VC: vena contracta, EROA: effective regurgitant orifice area, RV: regurgitant volume, RF: regurgitant fraction, PWD: pulse wave Doppler, CWD: continuous wave Doppler, ED velocity: end diastolic velocity

a: 機械弁オクルーダー異常、生体弁肥厚・石灰化、逸脱、ほか両者とも弁輪部の裂開・ロッキングによる弁周囲逆流など。

b: 中心性ジェットで適用、偏心性ジェットでは精度減少。

c: 左室コンプライアンスの影響を受ける。

d: 弁周囲逆流のみ適用。

e: LVOT拍出量からRVOT拍出量を差し引くことで逆流量の推定可能(但し、有意なPR・MRが無いこと)。

※注: 左室の大きさは術後遠隔期で他の病因による左室拡大のない人工弁逆流に適用。

弁膜症治療のガイドライン 2020年改訂版

4) 僧帽弁位人工弁機能不全の評価項目

* 人工弁機能 *

- ① Peak Early Velocity: PEV (m/s)・・・拡張早期最大血流速度
- ② mean Pressure Gradient: mPG (mmHg)・・・弁口平均圧較差
- ③ Pressure half time: PHT (msec)・・・圧半減時間
- ④ Doppler Velocity Index: DVI・・・弁口血流速と左室流出路血流速との流速(VTI) 比
- ⑤ Effective Orifice Area: EOA (cm²)・・・連続の式による有効弁口面積
- ⑥ 人工弁-患者不適合 (PPM: prosthesis-patient mismatch) の評価
- ⑦ 弁逆流・弁周囲逆流の有無、局在性、重症度評価など
- ⑧ 異常エコーの有無: 疣贅、パンヌス、血栓、石灰化など

* その他 *

- ① 左室・左房の大きさ、左室機能
- ② 心膜液・胸水貯留の有無、心不全の有無
- ③ 肺高血圧の有無・重症度、右室負荷など

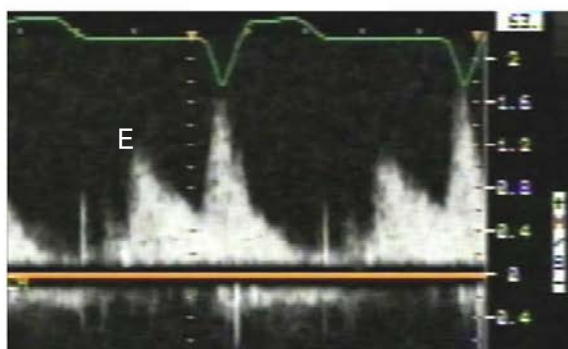
5) 僧帽弁位人工弁狭窄の重症度評価

(機械弁 & ステント付き生体弁)

- ① Peak Early velocity: PEV (m/s)・・・拡張早期最大速度(E)の測定
- ② mean Pressure Gradient: mPG (mmHg)・・・平均圧較差の測定
- ③ Pressure half time: PHT (msec)・・・圧半減時間の測定

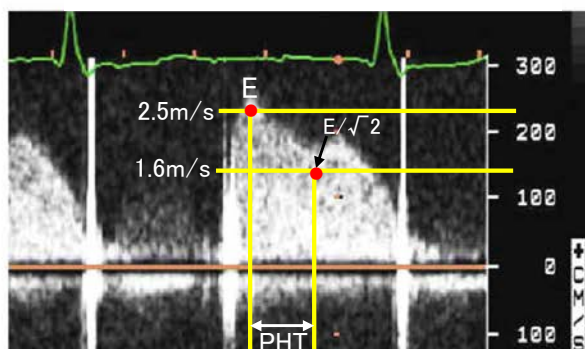
→ 最大血流速度が $1/\sqrt{2}$ になるまでの減速時間

正常例



PEV = 1.1 m/s
mPG = 4 mmHg
PHT = 123 msec

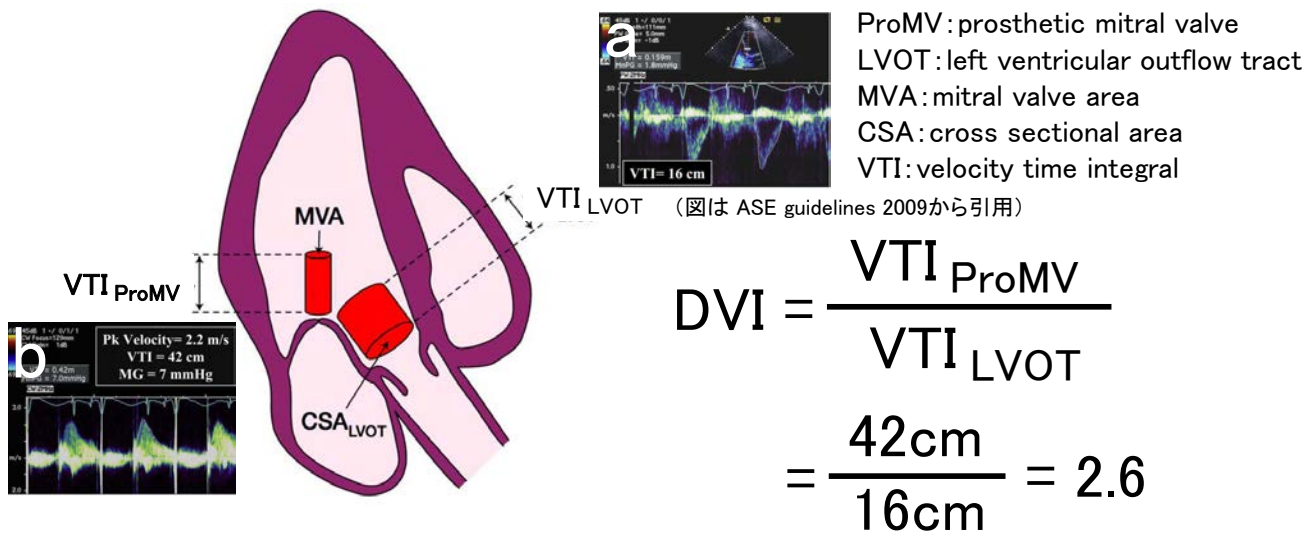
狭窄例(中等度～高度)



(図はESC recommendations 2016から引用一部改変)

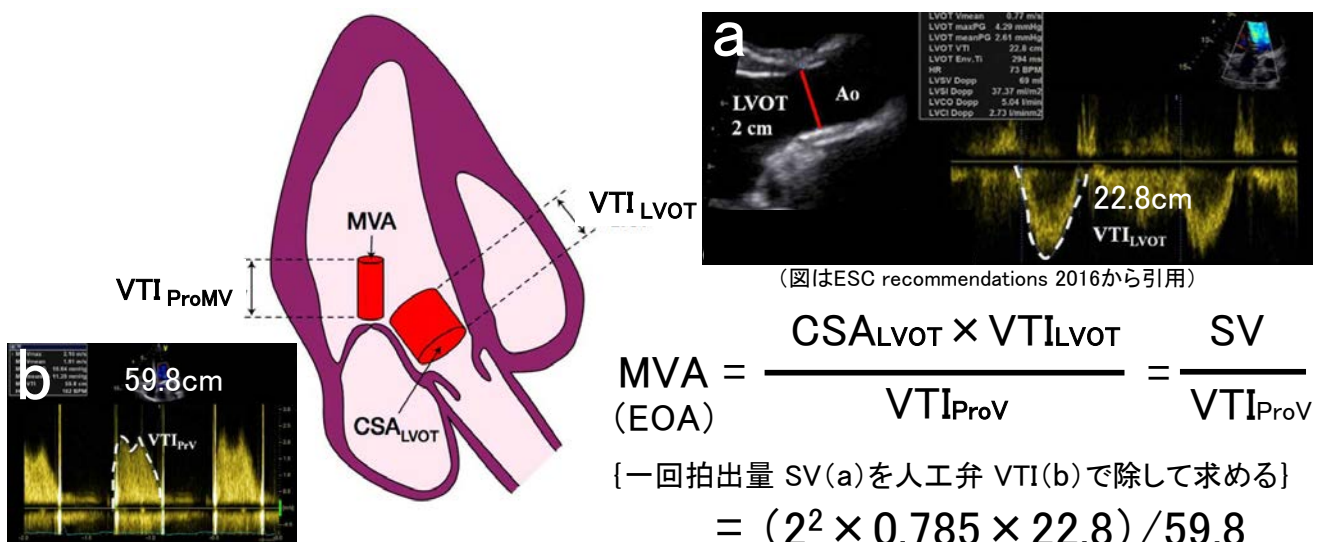
PEV = 2.5 m/s
mPG = 15 mmHg
PHT = 170 msec

④ Doppler Velocity Index (DVI) の測定



- 流量に依存しない指標
- 血流量の影響は少ないが、有意なARやMRがある場合、また心房細動時には信頼性が低くなる。
- DVI は僧帽弁位人工弁 (VTI_{ProMV}) (b) と左室流出路 (VTI_{LVOT}) (a) との流速比 (VTI比) である。→ 速度 V より平均流速 VTI での計測を推奨
- 速度比 DVI が >0.25 の場合に高度狭窄が疑われる。
- PEV、mPGが前回値より上昇した場合には DVI が有用。

⑤ 連続の式による僧帽弁位有効弁口面積 (EOA) の測定



- 流量に依存しない指標
- 血流量の影響は少ないが、有意な AR や MR がある場合、また心房細動時には信頼性が低くなる。
- PHTから求めた弁口面積は EOA を反映しない。
- 但し、PHT が $>200msec$ の場合に高度狭窄が疑われる。
- 特に機械弁 (二葉弁) では EOA を過小評価しやすい (VTI_{ProV} が増大する場合)。

⑥ 僧帽弁位人工弁狭窄の重症度評価指標²⁾³⁾

ESC recommendations 2016

機械弁&ステント生体弁	正常	狭窄疑い	高度狭窄疑い
定性 人工弁の構造と動き	正常	多くの場合異常 ^a	異常 ^a
半定量 PHT: 圧半減時間(msec)※ ^b	<130	130~200	>200
定量 PV: 弁口最大速度(m/sec)* ^{c,d,f}	<1.9	1.9~2.5	>2.5
mPG: 平均圧較差(mmHg)* ^{c,d,f}	≤5	6~10	>10
ストレスエコー中の mPG 増大(mmHg)*	≤5	5~12	>12
経過観察中の mPG 増大(mmHg)*	<5	5~12	>12
EOA: 有効弁口面積(cm ²)# ^{c,g}	>2.0	1~2	<1.0
基準値EOA - 測定EOA(cm ²)# ^c	<0.25	0.25~0.35	>0.35
DVI: VTI _{PrMV} / VTI _{LVO} # ^{c,d,e,g}	<2.2	2.2~2.5	>2.5

PV: peak velocity, mPG: mean pressure gradient, PHT: pressure half time, DVI: Doppler velocity index,

EOA: effective orifice area, VTI: velocity time integral, PrMV, prosthetic mitral valve, LVO: left ventricular outflow

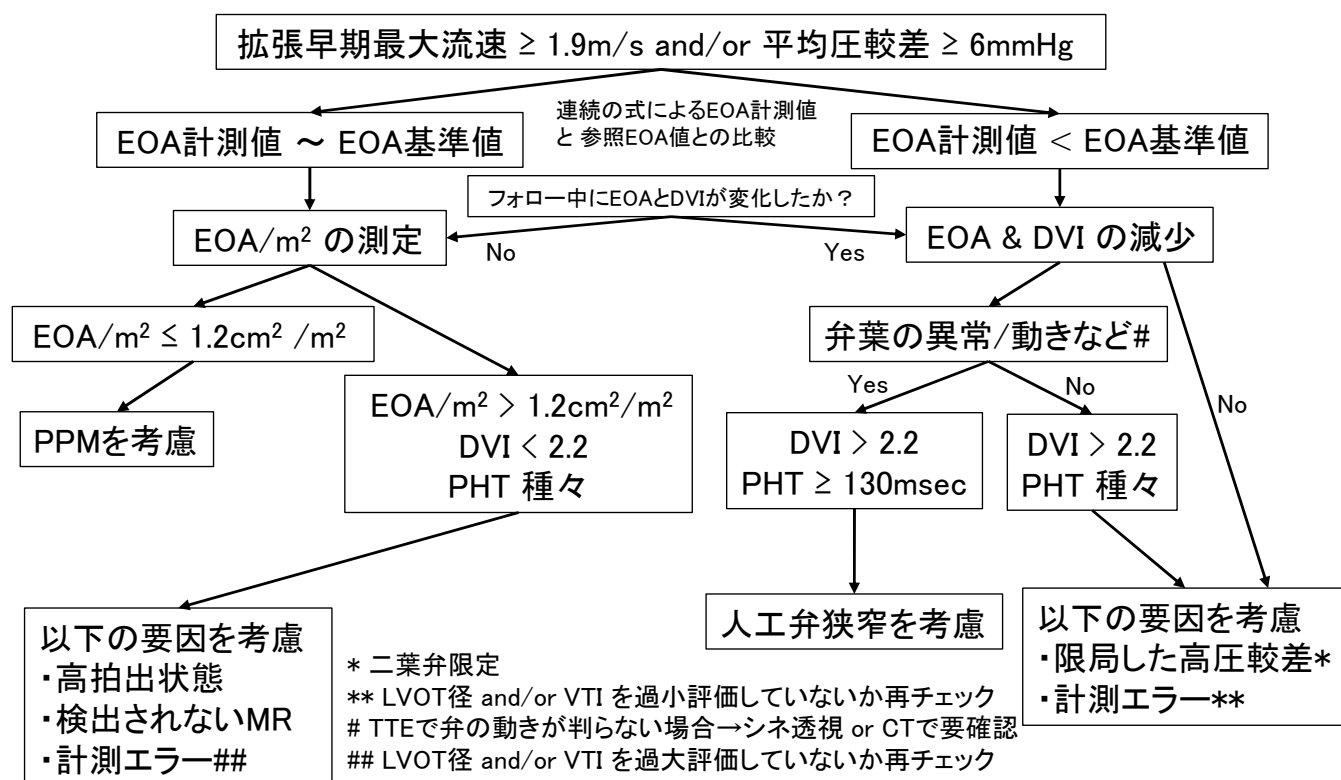
*: 流量に依存する指標 #: 流量に依存しない指標 ※: PHTからEOA測定は不可

- a: 機械弁オクルーダー異常(不動・可動制限) 生体弁肥厚・石灰化、逸脱、他に両者とも血栓、パンヌスなどによる閉塞障害など。
b: 心拍数、左房・左室コンプライアンスの影響を受ける。また頻脈、1度房室ブロック、EとA波融合、拡張期充満期短縮では測定不可。
c: この指標は、ほぼ正常または正常な拡張期容量すなわち一回拍出量(50~90 mL)および心拍数(50~80 bpm)に対して有効。
d: この指標は、有意な僧帽弁位逆流が存在する場合にも異常値を呈する。
e: この指標は、LV流出路のサイズに依存する。心房細動ではVTIPrMVとVTILVOTは一致する心周期で測定すること。
f: この指標は、流量(高心拍出: ARの存在など)と心拍数の影響をより大きく受ける。
g: この指標は、有意なARまたはMRが存在する場合は無効。

弁膜症治療のガイドライン 2020 年改訂版(青字)

⑦ 僧帽弁位人工弁 高圧較差時における狭窄評価のアルゴリズム

ESC recommendations 2016



EOA : effective orifice area, DVI : Doppler velocity index, PPM : prosthesis-patient mismatch, TTE: transthoracic echocardiography

6) 僧帽弁位人工弁逆流の重症度評価

(機械弁&ステント付き生体弁)

①生理的範囲内の人工弁逆流

* 経食道アプローチ *

機械弁(二葉弁)



生体弁(ブタ弁)



生体弁(ウシ心のう膜弁)



(図は ASE guidelines 2009から引用)

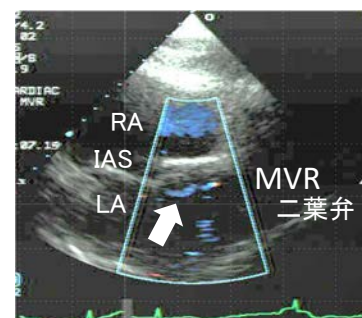
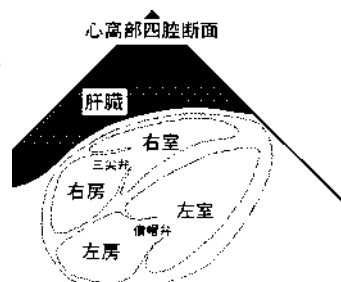
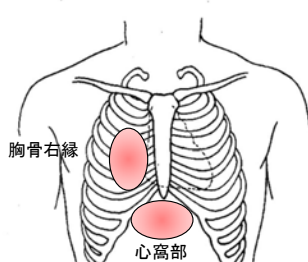
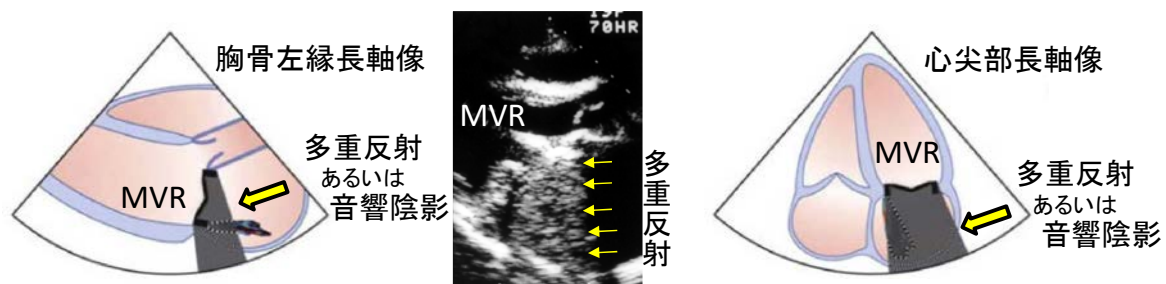
- ディスク閉鎖時に数条の小さな逆流ジェット
- 二葉弁ではヒンジ部から少量の逆流が起こるように設計されている。
- 閉鎖後のリークは弁上流の血流うっ滞と血栓形成を防止する役割がある。
- 逆流ジェットは短く細く、持続時間も短い。

skillup

僧帽弁位機械弁の生理的逆流

* 経胸壁アプローチ *

- 経胸壁アプローチでは、通常人工弁によるアーチファクト(多重反射や音響陰影など)の影響を受ける。



心窩部アプローチ(四腔像)

- よって、人工弁によるアーチファクトの影響を避けて MR を検出するには、心窩部ないし胸骨右縁アプローチが有用である(矢印: 生理的 MR)。

②経弁逆流(transvalvular leakage:TVL)

- 機械弁での主な原因:二葉弁の片方のスタックバルブ
 - ・弁閉鎖を妨げるパンヌス・血栓形成、その他縫合糸やヒンジ内のカスなど.
- 生体弁での主な原因:経年劣化、感染など
 - ・石灰化、穿孔、亀裂、逸脱、IEに伴う破壊など.
- 機械弁(二葉弁)では偽MRIに注意(アーチファクト:37~38頁参照)
 - ・胸骨右縁ないし心窩部アプローチで、アーチファクトの影響を避けてMRの有無をチェックする.

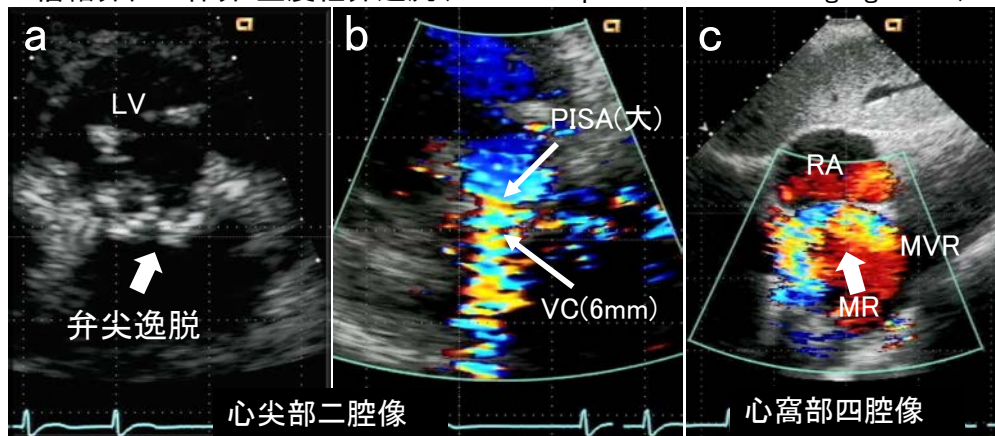
* 重症度評価に 有用な指標 *

- ・vena contracta 幅
(b:矢印):6mm(重度)
- ・PISAの大きさ
(b:矢印):大(重度)



Hancock II
(ブタ大動脈弁)

僧帽弁位生体弁 重度経弁逆流(severe bioprosthetic Mitral regurgitation)



弁尖逸脱(a:矢印) 逸脱部位からの逆流(b) IAS側へ MR jet(c)

③弁周囲逆流(paravalvular leakage:PVL)

- 人工弁周囲逆流の主な原因
 - ・多くは縫合輪の固定が十分でない場合(傾斜縫着も高リスク).
 - ・多くは感染などが関与した弁座の動揺、縫合輪の脱落など.
- 術後早期の small leakage は消失する事が多い. → 数ヶ月後に要再検

僧帽弁位機械弁 重度弁周囲逆流(severe paraprosthetic Mitral regurgitation)

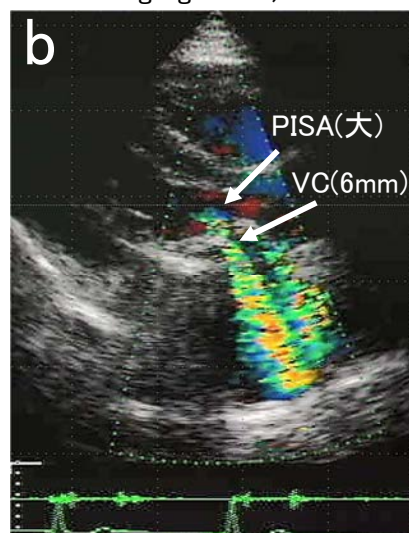


* 重症度評価に有用な指標 *

- ・vena contracta 幅(b:矢印):6mm(重度)
- ・PISAの大きさ(b:矢印):大(重度)
- ・弁周囲逆流ジェット基部幅と弁リング周囲長の比



二葉弁:SJM Standard (29mm)



- 僧帽弁位機械弁の弁輪部弁座動揺部位(a:矢印)から逆流を認める(b).
- 通常、僧帽弁位では弁周囲逆流円周範囲を一断面で描出・評価するのは困難.

機械弁 & スtent生体弁	軽度	中等度	高度
定性 人工弁の構造と動き	通常正常	通常異常 ^a	通常異常 ^a
カラーフロージェット面積 ^b	小さい	中間	大きな中心ジェット or 偏心ジェット左房内旋回
Flow convergence (PISA) ^c	(-) or 小さい	中間	大きい ^d
連続波ドプラ逆流波形濃度・形	薄い・放物線	濃い／放物線	濃い／三角形
半定量 肺静脈血流パターン (PWD)	収縮期優位	収縮期鈍化 ^e	収縮期反転血流 ^f
僧帽弁口血流 (PWD)	可変	可変	ピーク速度 $\geq 1.9\text{m/s}$, 平均圧較差 $\geq 5\text{mmHg}$
DVI : $\text{VTI}_{\text{PrMV}} / \text{VTI}_{\text{LVOT}}$	< 2.2	$2.2 \sim 2.5$	> 2.5
VC: Vena contracta 幅 (mm)	< 3	$3 \sim 5.9$	≥ 6
弁周囲逆流の円周範囲 (%) ^g	$< 10\%$	$10 \sim 29\%$	$\geq 30\%$
定量 EROA: 逆流弁口面積 (cm^2)	< 0.20	$0.20 \sim 0.39$	≥ 0.40
RV: 逆流量 (mL / beat) ^h	< 30	$30 \sim 59$	≥ 60
RF: 逆流率 (%)	< 30	$30 \sim 49$	≥ 50

PWD: pulse wave Doppler, PrMV, prosthetic mitral valve, LVOT: left ventricular outflow tract, VTI: velocity time integral

a: 機械弁オクルーダー異常、生体弁肥厚・石灰化、逸脱、ほか両者とも弁輪部の裂開・ロッキングによる弁周囲逆流など。

b: 中心性ジェットで適用、偏心性ジェットでは精度低下。

c: ナイキスト周波数 $50 \sim 60\text{cm/s}$ に設定。

d: 中心性ジェットでPISA半径は $< 0.4\text{cm}$ および $> 0.9\text{cm}$ として定義され、 40cm/s のナイキスト周波数にベースラインシフト。

e: 収縮期鈍化は他の理由がない限り (心房細動、LA圧上昇)。

f: 重度MRでは肺静脈収縮期反転血流は特異的であるが必ずしも鋭敏ではない。

g: 弁周囲逆流のみに適用。

h: 可能であればPISA法で、または僧帽弁輪で測定されたSVとLVOTで測定されたSVの差から逆流量の推定可能 (但し、有意なARが無いこと)。

※注: 左室・左房の大きさは、他の病因および急性MRがない場合の慢性術後の人工僧帽弁逆流症に適用。

なお、定量的パラメーターは、ネイティブMRIに比べて十分に検証されていないことを留意。

弁膜症治療のガイドライン 2020年改訂版

3. 人工弁置換術後にみられる 合併症 & 異常エコー

- 人工弁の構造的劣化 (SVD) による狭窄・閉鎖不全
- 人工弁逆流 (TVL・PVL)
- 血尖弁
- 感染性心内膜炎 (疣腫、膿瘍など)
- 弁座の動揺
- スタックバルブ
- パンヌス形成
- 左室流出路狭窄
- 溶血
- 人工弁患者不適合 (PPM)
- アーチファクトによる 偽MR など

1) 弁座の動揺(Rocking)

① 弁座の動揺とは

- 弁座とは縫着された人工弁の支持体のことで、それらが何らかの原因(IEなど)により弁輪部から部分的に外れて支持体がぐらつくことを“弁座の動揺”と云う。その動揺が明らかになる前には、必ず弁周囲逆流が認められているので、常に弁座部位を注視しておくことが重要である。また“弁座の動揺”は程度差こそあれ“弁座の剥離”を意味し、その剥離が広範囲に及ぶと弁の離脱へと進展するので注意が必要である。

* 生体弁 *

- 置換時の年齢が低い程(60歳以下)、生体弁の構造的劣化(SVD)のリスクが大きく、特に若年者に劣化が激しいとされる。
- 特に僧帽弁位では5年後から、大動脈弁位では8年後位からみられる。
 - ・弁閉鎖時に僧帽弁位の方が高圧がかかるので早い。
 - ・三尖弁位では低圧系のため問題は少ない。低圧系は血流速が遅いため、機械弁においては血栓ができやすいので通常使用されない。

* 機械弁 *

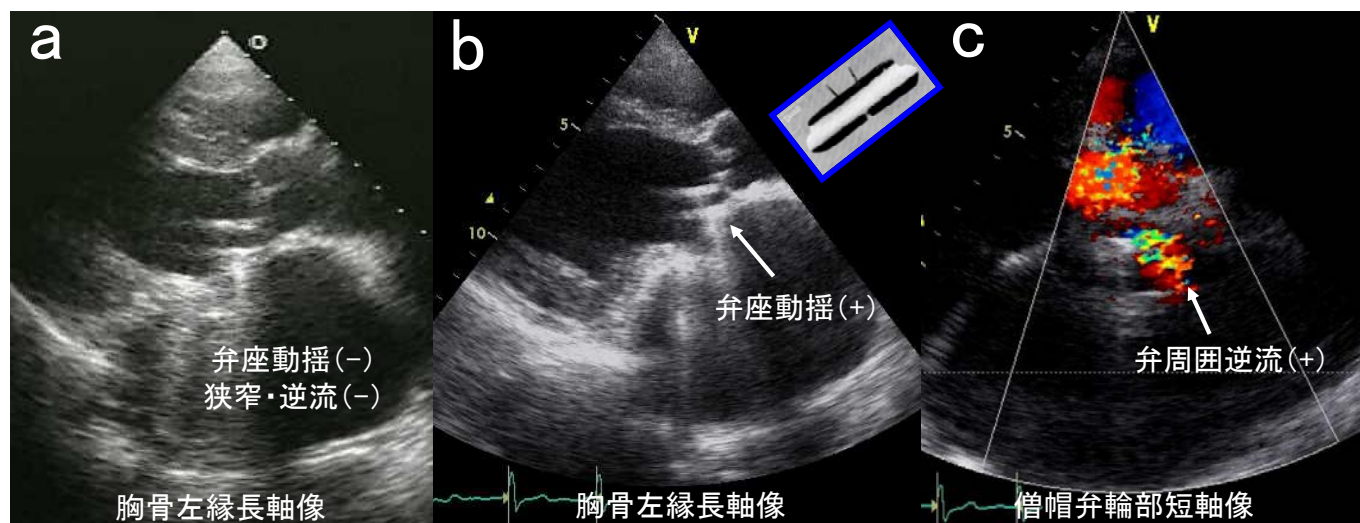
- rocking の原因として、自己弁の高度石灰化や人工弁感染などによる。
- 他に原因として、稀に縫合輪の固定不良による剥離・離脱などがあるが、主に感染等(IEなど)が関与した rocking が多い。

② 弁座の動揺による弁周囲逆流: 僧帽弁位機械弁

- 64歳女性、14年前にMSR、TRにてMVR(SJM 29mm)、TAP 施行
- 術後4年目にIE、疣腫にて再手術(re-MVR: Carbomedics 25mm)施行(a, b)

術後1ヶ月目

術後4年目



- 心周期に呼応した本来の人工弁輪部の動きとは別に、前弁輪側縫合輪に弁座の動揺(ぐらつき)が軽度認められた(b: 矢印)。
- 縫合輪前部から外側寄りにかけて中等度の逆流(弁周囲範囲15~20%程度)が認められるが(c: 矢印)、弁輪部周辺に明らかな疣腫様エコーは描出されず。

2) スタックバルブによる人工弁狭窄・逆流

①スタックバルブ(stuck valve)とは

- 機械弁ディスクの可動性が開・閉位で固定された状態のことで、狭窄・逆流の原因となる。二葉弁の場合、片方のディスクだけのスタックバルブでは、程度にもよるが症状がない場合もある。

②スタックバルブの原因 ―血栓・パヌス・疣腫など―

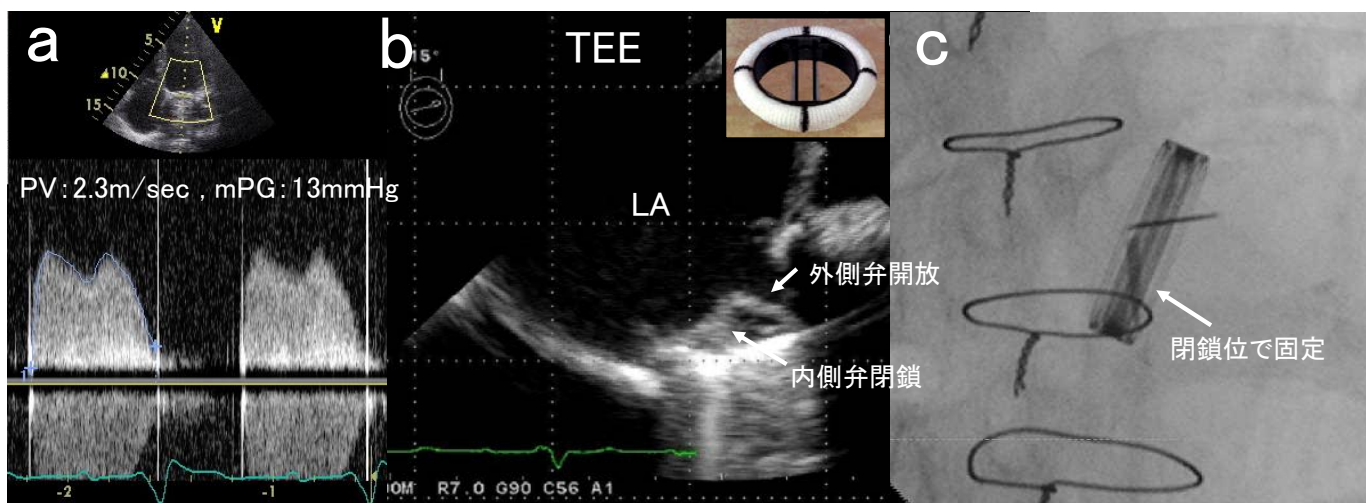
- 人工弁に付着した血栓・疣腫およびパヌス形成などによって、人工弁の開閉が妨げられ、これらが狭窄・逆流の原因となる。前者は急性の経過をとることが多いのに対し、後者は慢性の経過(術後最低1年、通常は5年以降)をとることが多い。
- 僧帽弁位におけるスタックバルブは、パヌス、血栓および疣腫などが主な原因であるが、大動脈弁位でのスタックバルブの発生は稀である。
- 大動脈弁位における弁口通過速度の増大時には弁性の狭窄だけでなく、弁下部周囲のパヌス形成にも留意する。

* パヌス(pannus)とは *

- 人工弁周囲の内膜組織などが過剰増殖して人工弁に障害をもたらす線維性増殖のことで、人工弁の開閉障害や弁下狭窄などを起こす。

③スタックバルブ(血尖弁)による弁狭窄: 僧帽弁位機械弁

- 75歳女性、4年前にMRにてMVR(ATS 25mm)施行。全身倦怠感、食欲不振、労作時息切れ出現、症状増悪、薬物治療のみでは心不全コントロール困難のため入院。



機械弁狭窄血流波形

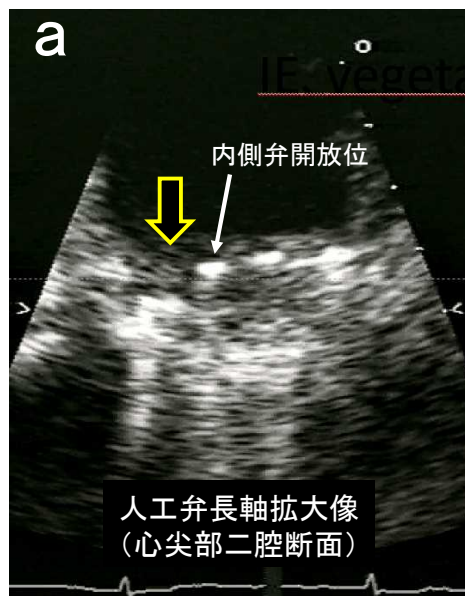
スタックバルブ(矢印左)

X線透視像

- TEE 2D像で二葉弁(内側弁)の開放みられず閉鎖位のまま(b: 矢印)。
- ドプラ法による計測では、弁口最大血流速度(PV: 2.3m/s)・平均圧較差(meanPG: 13mmHg)ともに増大し(a)、血尖弁による高度狭窄が疑われた。
- 一方、X線透視像では二葉弁の片方が閉鎖位で固定され(c: 矢印)、可動性消失が確認された。

④スタックバルブ(疣腫)による弁逆流:僧帽弁位機械弁

➤ 54歳女性、4年前にMSR、TRにてMVR(SJM 29mm)、TAP 施行.



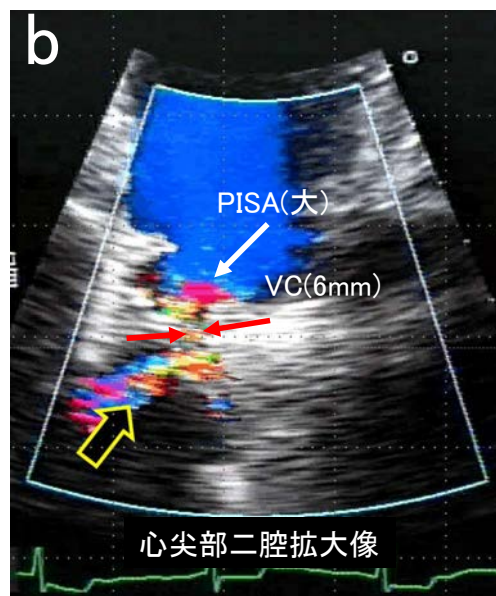
疣腫様エコー(矢印大)

* 重症度評価に
有用な指標 *

- vena contracta 幅
(b: 矢印): 6mm (重度)
- PISAの大きさ
(b: 矢印): 大 (重度)



ディスク型二葉弁
SJM (29mm)

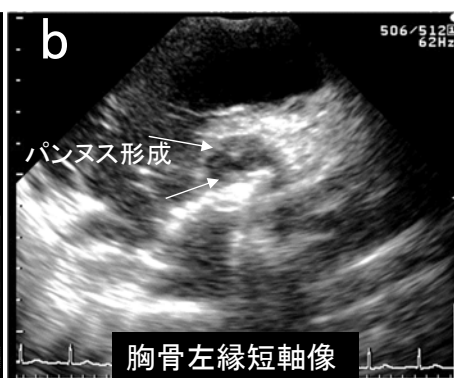
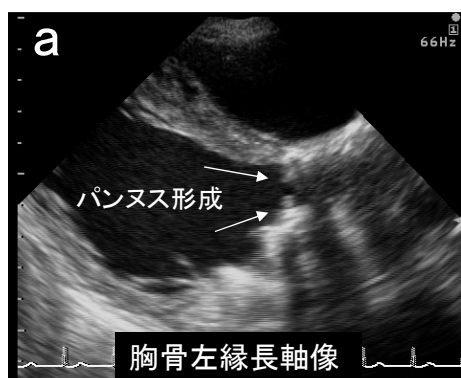


人工弁逆流(矢印大)

- IE 発症、内側側人工弁外方に可動性のある約10mm程度の疣腫様異常エコーを検出(a: 矢印大).
- 疣腫様エコーは弁閉鎖時には観察困難となるが、弁閉鎖部付近より重度の弁逆流が認められた(b: 矢印大). → 疣腫によるスタックバルブが疑われた.

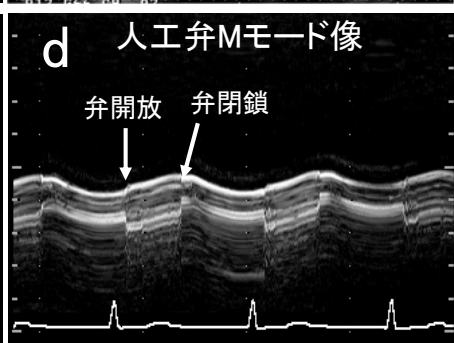
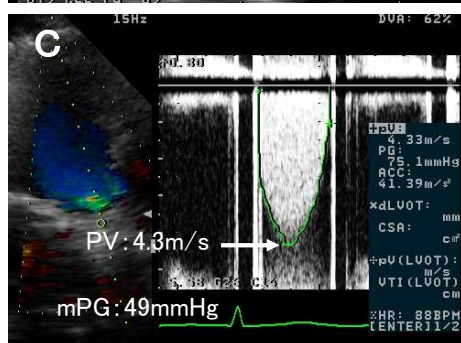
⑤パックス増生による大動脈弁下狭窄: 大動脈弁位機械弁

47歳女性
AVR(SJM)



- PV: 4.3m/s
- mPG: 49mmHg
- EOA: 0.68cm²

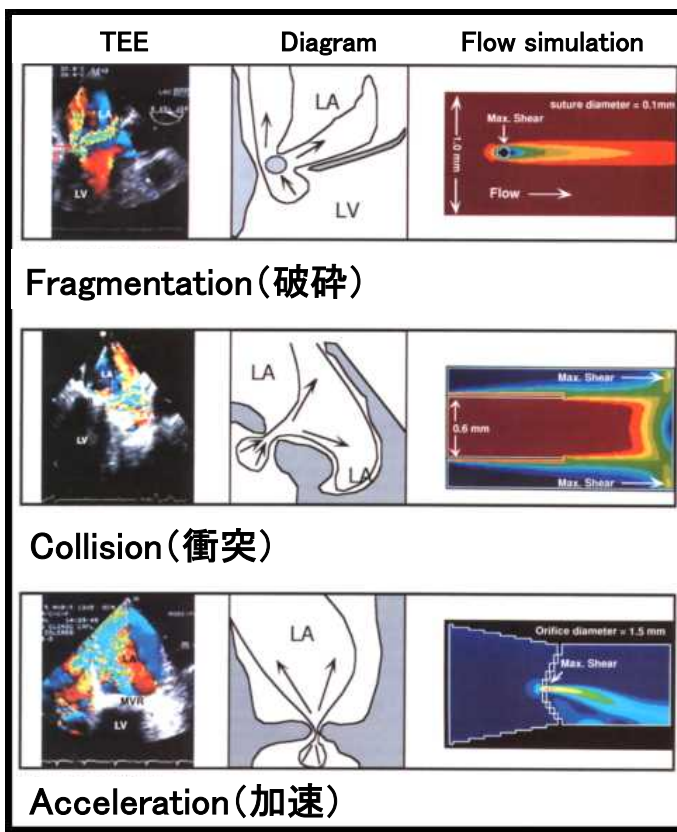
→ 高度狭窄疑い



- 左室流出路大動脈弁下に全周性にパックス形成が認められた(a, b: 矢印).
- 左室流出路通過最大血流速度の増大(c)から、大動脈弁下狭窄が疑われた.
- 人工弁Mモードでは、弁開閉に引っかかりはなく動きは良好である(d: 矢印).

3) 赤血球の破碎による溶血⁶⁾

①溶血が起こりやすい場合

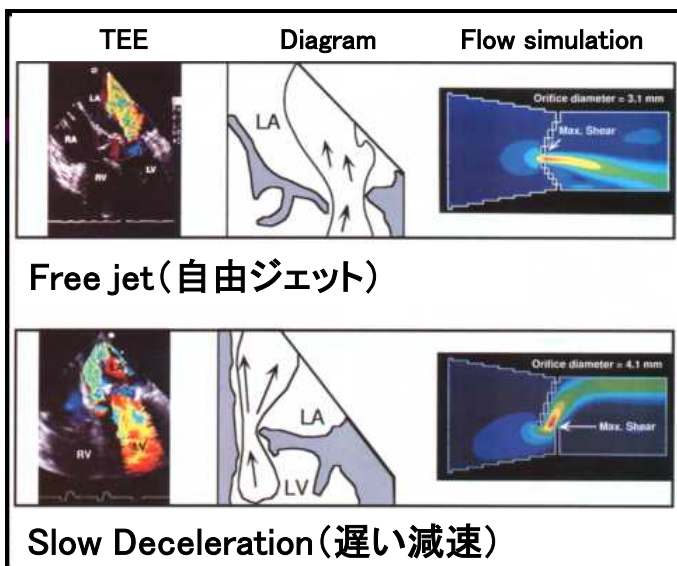


- 逆流が僧帽弁リングなどの固いものにあたって碎ける場合(破碎)に溶血が起こりやすい。

- 逆流が心耳壁などの近接組織に直角にあたる場合(衝突)に溶血が起こりやすい。

- 穿孔やPVLなどで生じた逆流弁口が小さい場合(2mm以下)には、通過血流がジェット噴射(加速)となることで溶血が起こりやすい。

②溶血が起こりにくい場合



- 大きい逆流弁口(2mm以上)で、どこにもあたらず真っすぐ吹く場合(自由ジェット)には溶血は起こりにくい。

- 大きな偏心性ジェットで心房壁に沿って吹く場合(減速)には溶血は起こりにくい。

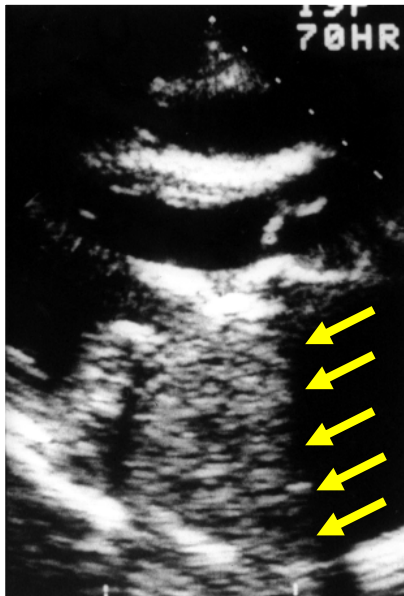
- 溶血とは赤血球が破壊された時に起こる現象で、血清LDHが上昇することで確認できる。
- 人工弁置換術後にLDHが高値(三桁後半～四桁)を呈する場合には、弁逆流ないし弁周囲逆流が疑われる。
- 溶血が起こる原因として、逆流が僧帽弁リングなどの固いものにあたって碎ける場合(破碎)、近接組織に直角にあたる場合(衝突)、また逆流弁口が小さい場合(加速)などで起こりやすい。

37 4) 人工弁のアーチファクト

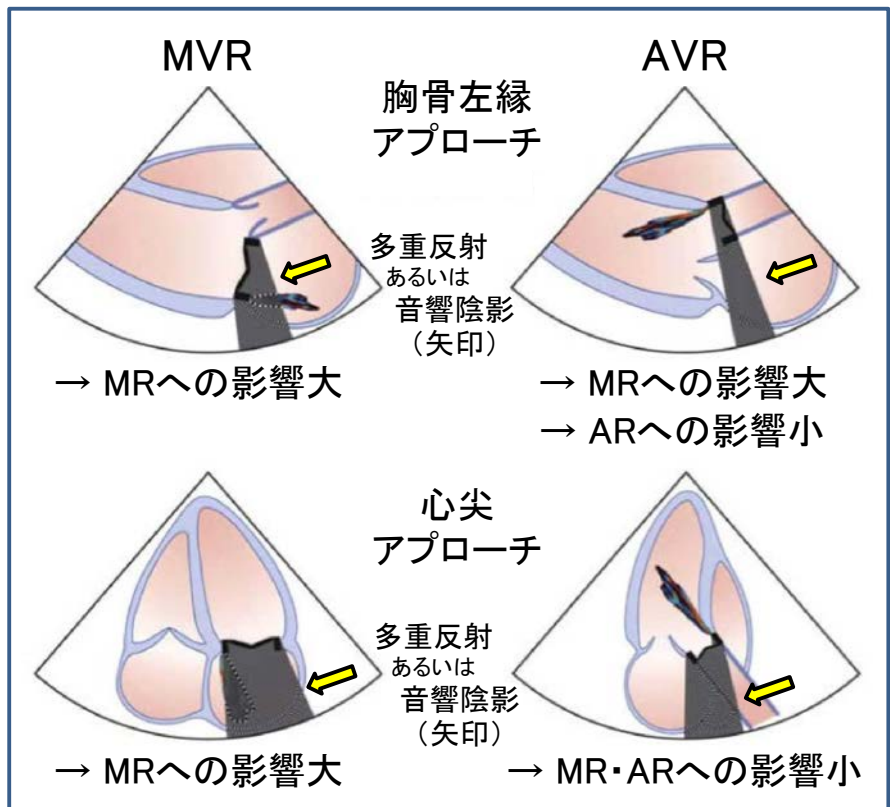
① 音響陰影・多重反射

- 音響陰影や多重反射による弁逆流あるいは弁周囲逆流への影響

MVR(機械弁)

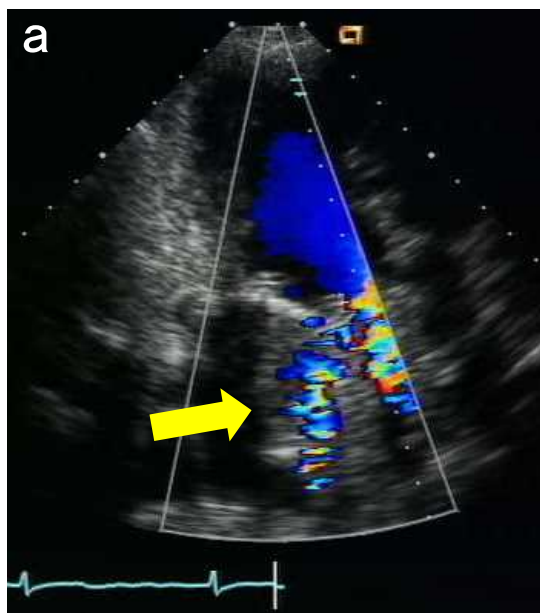


矢印: 多重反射

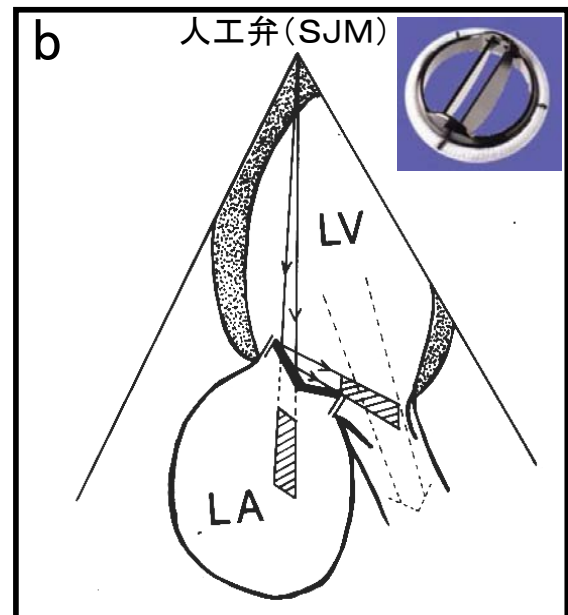


② 反射による人工弁のアーチファクト: 偽MR

- 僧帽弁位機械弁では、収縮期に人工弁の後方に逆流血流様のドプラエコー像 (MR様ドプラ信号) が検出される場合がある (a: 矢印).
- 閉鎖した人工弁の弁葉に反射したドプラ信号が駆出血流を捉え、その信号が人工弁葉の背方に描出され、あたかもMRであるかのように表示されるのが偽MRの機作である (b).



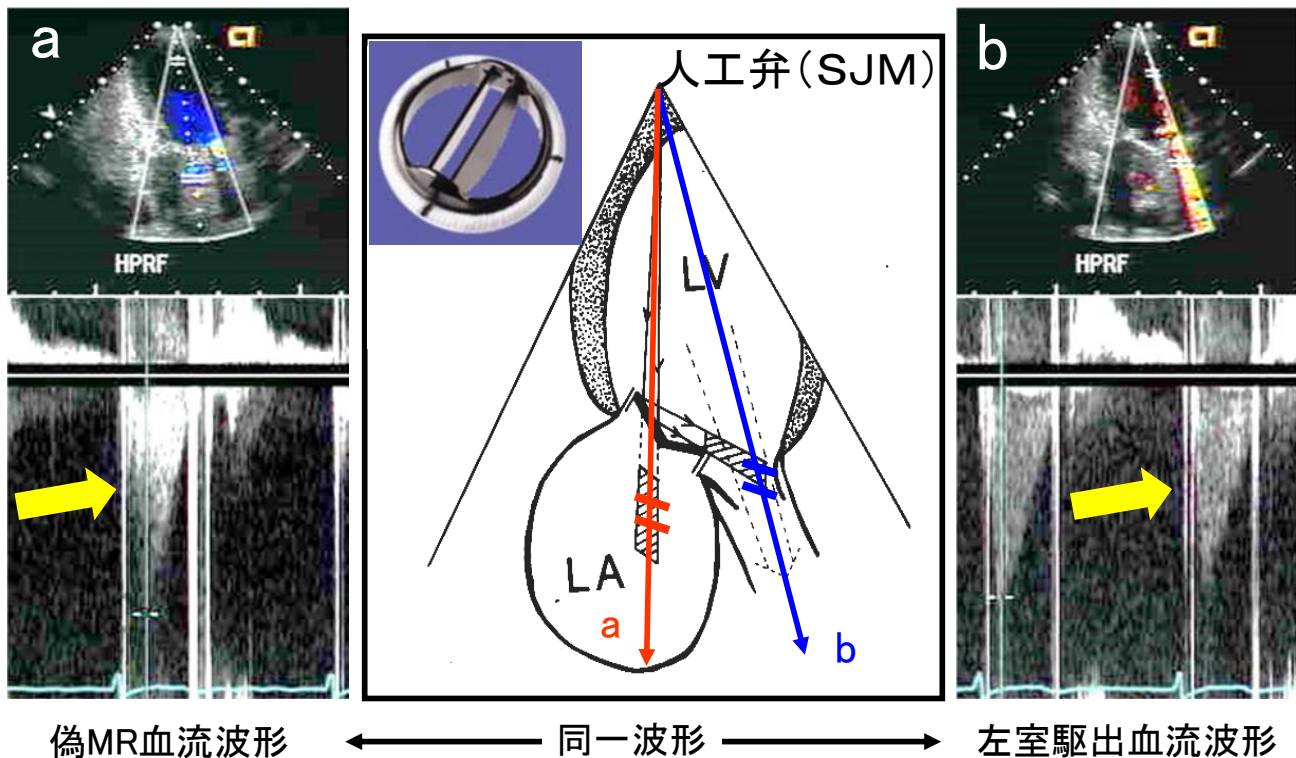
左房内の収縮期異常血流 (矢印)



偽MRの機作: 反射によるアーチファクト

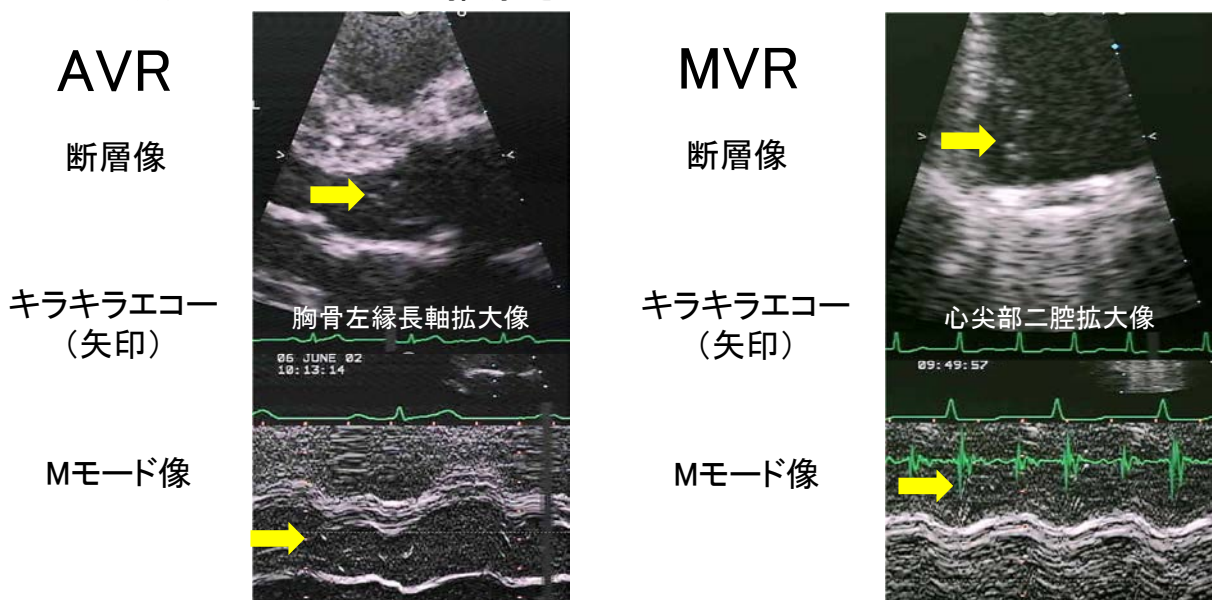
③ 偽MRはパルスドプラ法で確認

- パルスドプラ法で捉えた左房内の収縮期異常血流波形(a: 矢印)と駆出血流波形(b: 矢印)の流速プロフィールが同じであることから、偽MRであると同定できる。



④ 人工弁の周辺で観察されるキラキラエコーとは

- 機械式人工弁の周辺でキラキラした大粒のエコー群が観察される場合がある。
- 大動脈弁位では拡張期左室流出路側に、僧帽弁位では収縮期左室流入路側で、いずれも主に弁閉鎖時に描出される。
- 生体における詳細な機作は判らないが、cavitation(空洞現象)による気泡ではないかと推察されている⁷⁾。



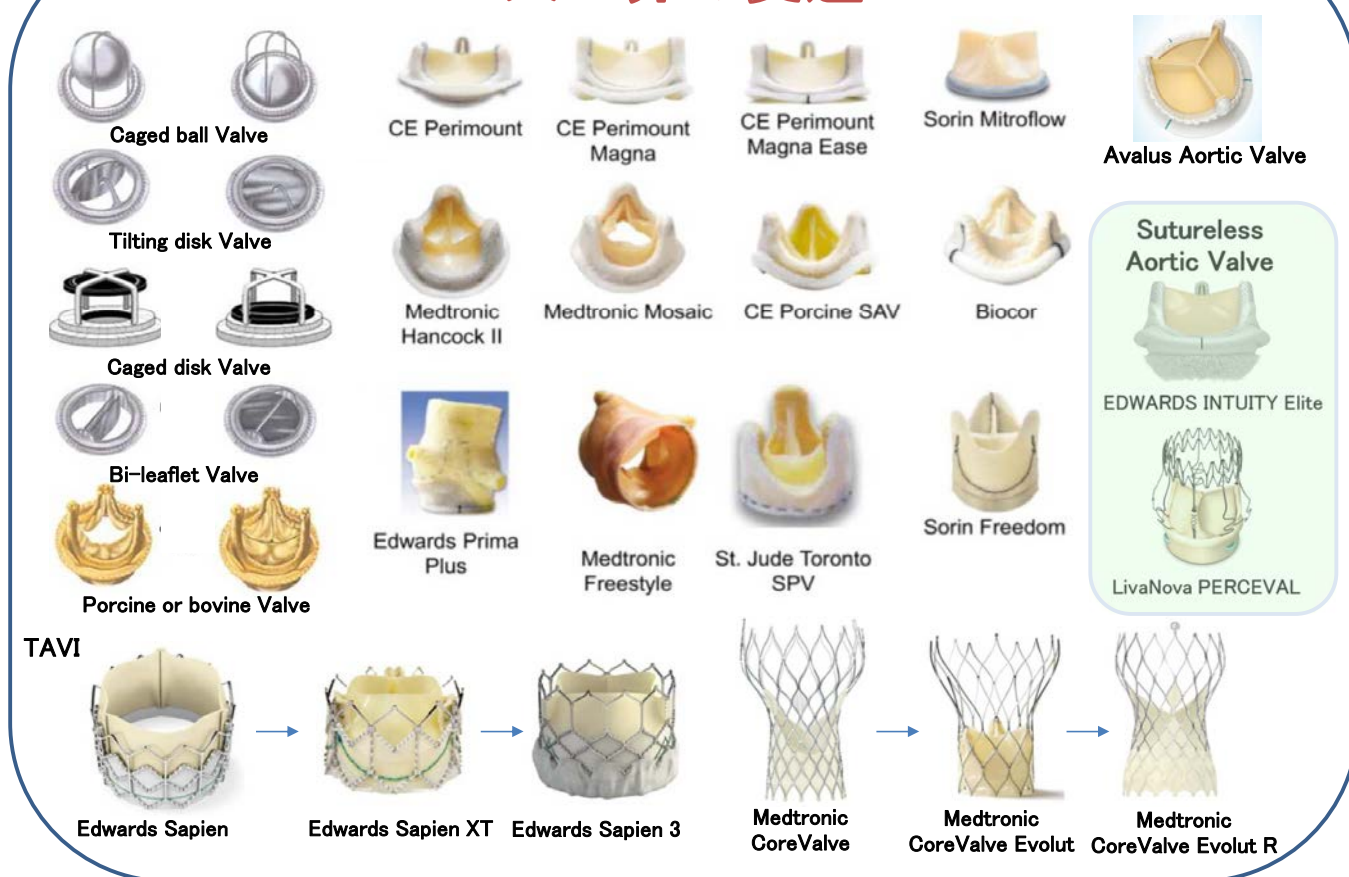
4. 人工弁検査の進め方

- 1) 手術時期は、機械弁か生体弁か、もし判れば弁の種類は、サイズは。
- 2) 弁、弁座の動揺など弁輪部に異常はないか。少しでも疑わしい場合には経食道心エコー検査で確認することが望ましい。特に術後の不明熱が続く場合には必須である。疣腫や弁輪部膿瘍の存在や、また機械弁では血栓やパンヌス形成などにも留意する。
- 3) 弁の開閉はスムーズかどうか。Mモードを併用して確認する。また生体弁では弁エコー輝度増強の有無・程度をチェックする。
- 4) 弁口通過最大血流速度および圧較差の測定。一般に大動脈弁位 3m/sec 以上、僧帽弁位 2m/sec 以上の血流速度が記録された場合には異常と考え原因を検索する(23頁、29頁の人工弁狭窄評価のアルゴリズム参照)。
- 5) 弁狭窄が認められるかどうか、その程度はどうか。
 - ①人工弁の有効弁口面積(EOA)算出には連続の式を用いる。
 - ②PHT法を用いて僧帽弁位EOAを精度良く算出することはできないが、PHT: >200msecでは狭窄が疑われる。
 - ③大動脈弁位は DVI 比(LVOT VTI/AV VTI 比)が重要
→ DVI 比 $\leq$ 0.25 の場合、及び AT>100msでは狭窄が疑われる。
- 6) 弁逆流が認められるかどうか。その程度はどうか。弁性か、または弁輪部周囲(PVL)からか。また逆流弁口上流側に見られる吸い込み血流(PISA)の有無・大きさをチェックする。
 - ①機械弁では、ごく少量の生理的弁逆流はある。
 - ②生体弁サイズが大きい場合にはごく少量の弁逆流を認めることがある(正常範囲)。
 - ③術直後～早期では、PVLの存在に留意する。ごく少量のPVLは遠隔期に消失する可能性がある。→ 要フォローアップ。
 - ④特に僧帽弁位機械弁では、胸骨右縁・心窩部アプローチでアーチファクトの影響を避けてMRの有無・程度を必ずチェックする。
- 7) 僧帽弁位機械弁ではアーチファクトによる偽MRに留意する。
- 8) 特に経過観察では、術後早期(3～6ヶ月)と比較して人工弁機能はどうか(狭窄・逆流指標比較)、左・右心系負荷、PHの有無など。
- 9) 同様に心室壁の動きや心膜癒着サイン(特に開心術後例)は必ずチェックする。また胸水・心膜液貯留の有無にも留意する。
- 10) また、検査前にラボデータは必ずチェックしておくこと。血清LDH(溶血の有無)、特に機械弁ではワルファリンコントロールとしてのPT-INR(2.0～3.0)など。

ACC 米国心臓病学会 American College of Cardiology	EACTS 欧州心臓胸部外科学会 European Association for Cardio-Thoracic Surgery
AHA 米国心臓協会 American Heart Association	EOA(I) 有効弁口面積(指数) effective orifice area (index)
AR 大動脈弁閉鎖不全症/大動脈弁逆流症 aortic regurgitation	EROA 有効逆流弁口面積 effective regurgitant orifice area
ARB アンジオテンシン受容体拮抗薬 angiotensin II receptor blocker	ESC 欧州心臓病学会 European Society of Cardiology
AS 大動脈弁狭窄症 aortic stenosis	ET 駆出時間 ejection time
ASA 心房-中隔-心房 atrial septum atrial	FAC 右室面積変化率 fractional area change
ASE アメリカ心エコー図学会 American Society of Echocardiography	FED fibroelastic deficiency
AT 加速時間 acceleration time	IE 感染性心内膜炎 infective endocarditis
AVA(I) 大動脈弁口面積(指数) aortic valve area (index)	IVC 下大静脈 inferior vena cava
AVP 大動脈弁形成術 aortic valvuloplasty	LAD 左房径 left arterial diameter
AVR 大動脈弁置換術 aortic valve replacement	LVEDD 左室拡張末期径 left ventricular enddiastolic diameter
BMI 体表面積 body mass index	LVEDV 左室拡張末期容積 left ventricular enddiastolic volume
BNP 脳性ナトリウム利尿ペプチド brain natriuretic peptide	LVEF 左室駆出率 left ventricular ejection fraction
BSA 体表面積 body surface area	LVESD 左室収縮末期径 left ventricular endsystolic diameter
CABG 冠動脈バイパス術 coronary artery bypass grafting	LVOT 左室流出路 left ventricular outflow tract
CMC 非直視下僧帽弁交連切開術 closed mitral commissurotomy	MICS 低侵襲外科手術 minimally invasive cardiac surgery
CRT 心臓再同期療法 cardiac resynchronization therapy	mPG 平均圧較差 mean pressure gradient
CSA 断面積 cross sectional area	MR 僧帽弁閉鎖不全症/僧帽弁逆流症 mitral regurgitation
CT コンピュータ断層撮影 computed tomography	MRI 磁気共鳴イメージング magnetic resonance imaging
CWD 連続波ドプラ法 continuous wave Doppler	MS 僧帽弁狭窄症 mitral stenosis
DOAC 直接経口抗凝固薬 direct oral anticoagulant	MVA 僧帽弁口面積 mitral valve area
DVI 左室流出路と弁口部の速度比 Doppler Velocity Index	

MVR 僧帽弁置換術 mitral valve replacement	SVD 人工弁構造的劣化 structural valve deterioration
OMC 直視下僧帽弁交連切開術 open mitral commissurotomy	SVi 一回心拍出量係数 stroke volume index
PCI 経皮的冠動脈インターベンション percutaneous coronary intervention	TAP 三尖弁輪形成術 Tricuspid annuloplasty
PEV 拡張早期最大血流速度 peak early velocity	TAPSE 三尖弁輪収縮期移動距離 tricuspid annular plane systolic excursion
PG 最大圧較差 Peak Gradient	TAVI (or TAVR) 経カテーテル的大動脈弁留置術 transcatheter aortic valve implantation (or replacement)
PH 肺高血圧 pulmonary hypertension	TAVR 経カテーテル的大動脈弁留置術 transcatheter
PHT 圧半減時間 pressure half time	TEE 経食道心エコー図検査 transesophageal echocardiography
PISA 近位部等流速表面 proximal isovelocity surface area	TR 三尖弁閉鎖不全症/三尖弁逆流症 tricuspid regurgitation
PMI ベースメーカー移植術 pacemaker implantation	TS 三尖弁狭窄症 tricuspid stenosis
PPM 人工弁患者不適合 prosthesis-patient mismatch	TTE 経胸壁心エコー図検査 transthoracic echocardiography
PR 肺動脈弁閉鎖不全症/肺動脈弁逆流症 pulmonary regurgitation	TVL 経弁逆流 transvalvular leakage
PS 肺動脈弁狭窄症 pulmonary stenosis	VC 縮流幅 vena contracta
PTMC 経皮的僧帽交連切開術 percutaneous transvenous mitral commissurotomy	VTI 速度時間(流速)積分値 velocity time integral
PV (or maxV)最大速度 peak velocity	2D 二次元 two-dimensional
PVL 弁周囲逆流 paravalvular or perivalvular leakage	3D 三次元 three-dimensional
PWD パルスドプラ法 pulsed wave Doppler	
RF 逆流率 regurgitant fraction	
RV 逆流量 regurgitant volume	
RVOT 右室流出路 right ventricular outflow tract	
SAM 収縮期前方運動 systolic anterior motion	
SAVR 外科的大動脈弁置換術 surgical aortic valve replacement	
SJM St. Jude Medical® Mechanical Heart Valve SJM弁	

人工弁の変遷



資料(3) 人工弁患者不適合 (PPM) における重症度評価基準³⁾

ESC recommendations 2016

機械弁 & スtent付き生体弁	軽度 or 臨床的に不問	中等度	高度
大動脈弁位 EOA指数			
BMI <30 kg / m ²	> 0.85	0.85-0.66	≤0.65
BMI ≥30 kg / m ² *	> 0.70	0.70-0.56	≤0.55
測定されたEOA対通常の参照値 ^a	参照値±1SD	参照値±1SD	参照値±1SD
差(参照EOA - 測定EOA) (cm ²) ^a	<0.25	<0.25	<0.25
バルブの構造と動き	通常は正常	通常は正常	通常は正常
僧帽弁位 EOA指数			
BMI <30 kg / m ²	> 1.2	1.2~0.91	≤0.90
BMI ≥30 kg / m ² *	> 1.0	1.0~0.76	≤0.75
測定されたEOA対通常の参照値 ^a	参照値±1SD	参照値±1SD	参照値±1SD
差(参照EOA - 測定EOA) (cm ²) ^a	<0.25	<0.25	<0.25
バルブの構造と動き	通常は正常	通常は正常	通常は正常

a: これらのパラメーターに提案された基準は、ほぼ正常または正常な一回拍出量(50~90 mL)に対して有効。

- PPMと機能障害の鑑別には、各人工弁EOA基準値(12-13頁参照)を体表面積(BMI)で除した projected indexed EOA を指標として評価される。
- projected indexed EOA は体格の影響を受けるのでBMI が 30kg/m² 以上では評価基準が異なる(表: *)。
→ 肥満患者では PPM の重症度を過大評価する可能性があるため、より低いカットオフ値を使用。

機械弁 & スtent生体弁	軽症	中等症	重症
大動脈弁位人工弁			
加速時間(ミリ秒)	<80	80~99	≥100
最大血流速度(m/秒)	<3.0	3.0~3.9	≥4.0
mPG(mmHg)	<20	20~34	≥35
フォローアップ中の mPG 上昇(mmHg)	<10	10~19	≥20
EOA(cm ²)	>1.1	0.8~1.1	<0.8
計測したEOAと各人工弁における正常AVAの比較	reference ± 1SD	< reference - 1SD	< reference - 2SD
DVI(VTI _{AV} /VTI _{LVOT})	>0.30	0.25~0.30	<0.25
僧帽弁位人工弁			
ジェットPHT(連続波ドプラ法)(ミリ秒)	<130	130~200	>200
最大血流速度(m/秒)	<1.9	1.9~2.5	>2.5
mPG(mmHg)	≤5	6~10	>10
フォローアップ中の mPG 上昇(mmHg)	<5	5~12	>12
EOA(cm ²)	>2.0	1.0~2.0	<1.0
計測したEOAと各人工弁における正常MVAの比較	reference ± 1SD	< reference - 1SD	< reference - 2SD
DVI(VTI _{PrMV} /VTI _{LVOT})	<2.2	2.2~2.5	>2.5

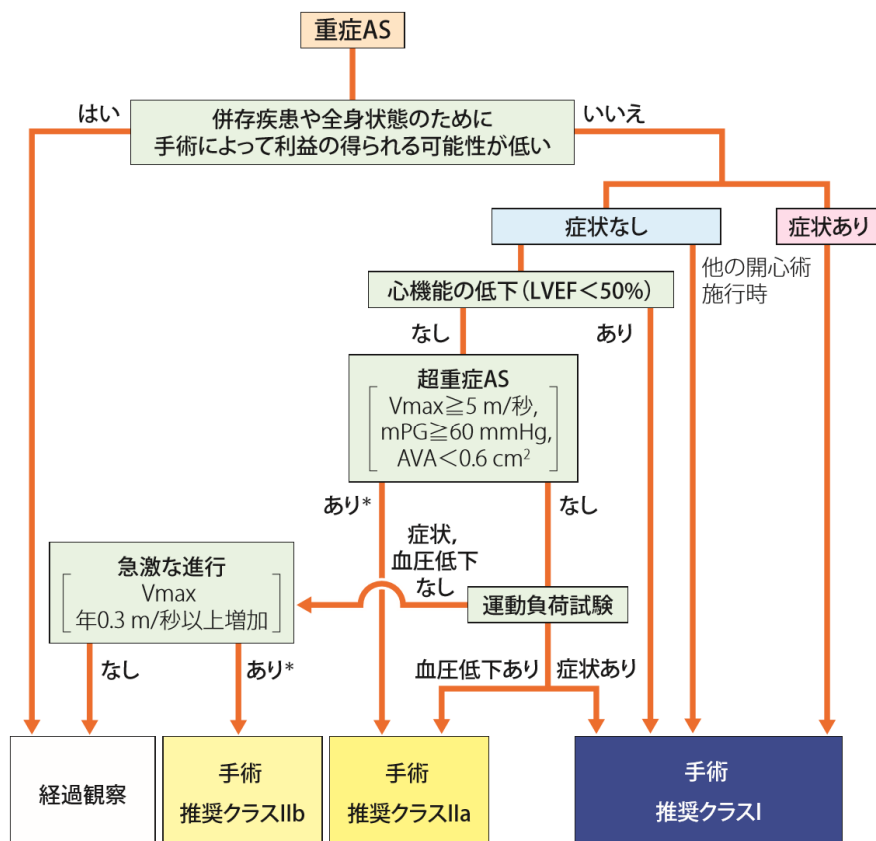
DVI: Doppler velocity index, VTI: velocity time integral

2020 年改訂版 弁膜症治療のガイドライン

機械弁 & スtent生体弁	軽症	中等症	重症
大動脈弁位人工弁			
ARジェット幅(カラードプラ法)	狭い	中間	広い
ジェットPHT(連続波ドプラ法)(ミリ秒)	>500	200~500	<200
弁周囲径に対する弁周囲逆流の割合(%)	<10	10~29	≥30
縮流部(vena contracta)幅(cm)	<0.3	0.3~0.6	>0.6
EROA(cm ²)PISA法	<0.10	0.10~0.29	≥0.30
逆流流量(mL/beat, volumetricまたはPISA法)	<30	30~59	≥60
僧帽弁位人工弁			
MRカラージェット(カラードプラ法)	少ない	中間	多い
肺静脈血流	収縮期優位	収縮波減高	逆行性収縮波
僧帽弁流入血流速(m/秒)	—	—	≥1.9
DVI(VTI _{PrMV} /VTI _{LVOT})	<2.2	2.2~2.5	>2.5
縮流部(vena contracta)幅(cm)	<0.3	0.3~0.59	≥0.40
弁周囲径に対する弁周囲逆流の割合(%)	<10	10~29	≥30
EROA(cm ²)PISA法	<0.20	0.20~0.39	≥0.40
逆流流量(mL/beat, volumetricまたはPISA法)	<30	30~59	≥60

DVI: Doppler velocity index, VTI: velocity time integral

2020 年改訂版 弁膜症治療のガイドライン

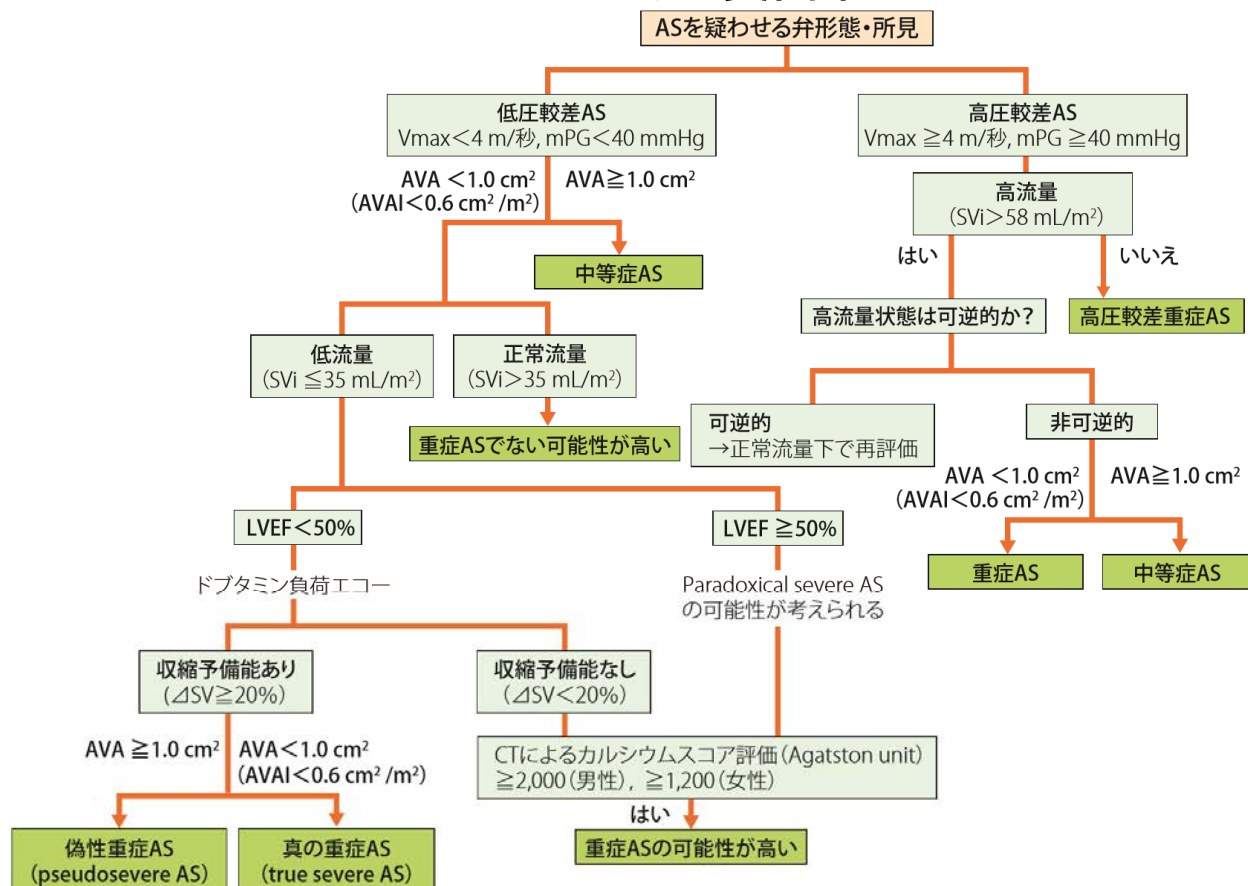
重症 AS の手術適応²⁾

* 手術リスクが低い場合（解剖学的／患者背景をふまえて、その手技[SAVR・TAVI含めて]が低リスクである場合）

Vmax: 大動脈弁最大血流速度, mPG: 平均圧較差, AVA: 大動脈弁口面積

2020 年改訂版 弁膜症治療のガイドライン

資料(7)

AS の重症度評価²⁾

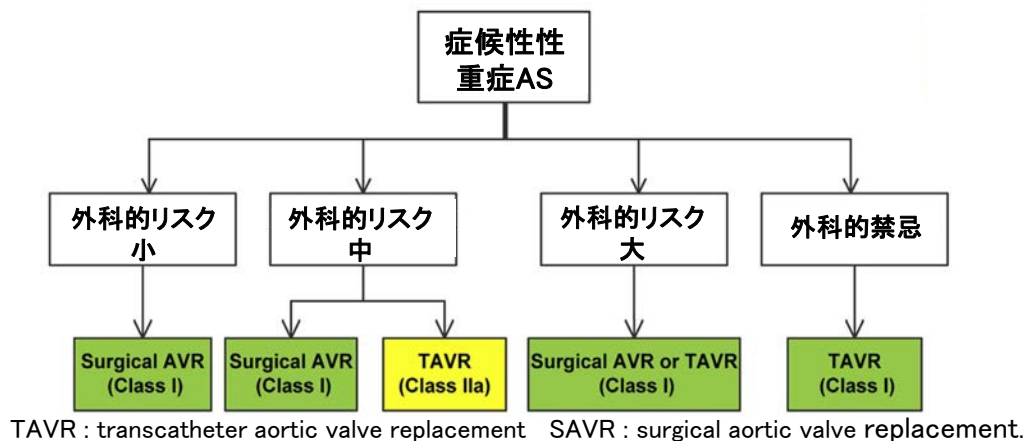
AVAI: AVA index, Vmax: 大動脈弁最大血流速度, SV: 一回拍出量

2020 年改訂版 弁膜症治療のガイドライン

	大動脈弁硬化	軽症AS	中等症AS	重症AS	超重症AS
Vmax (m/秒)	≤ 2.5	2.6～2.9	3.0～3.9	≥ 4.0	≥ 5.0
mPG (mmHg)	—	< 20	20～39	≥ 40	≥ 60
AVA (cm ²)	—	> 1.5	1.0～1.5	< 1.0	< 0.6
AVAI (cm ² /m ²)	—	> 0.85	0.60～0.85	< 0.6	—
Velocity ratio	—	> 0.50	0.25～0.50	< 0.25	—

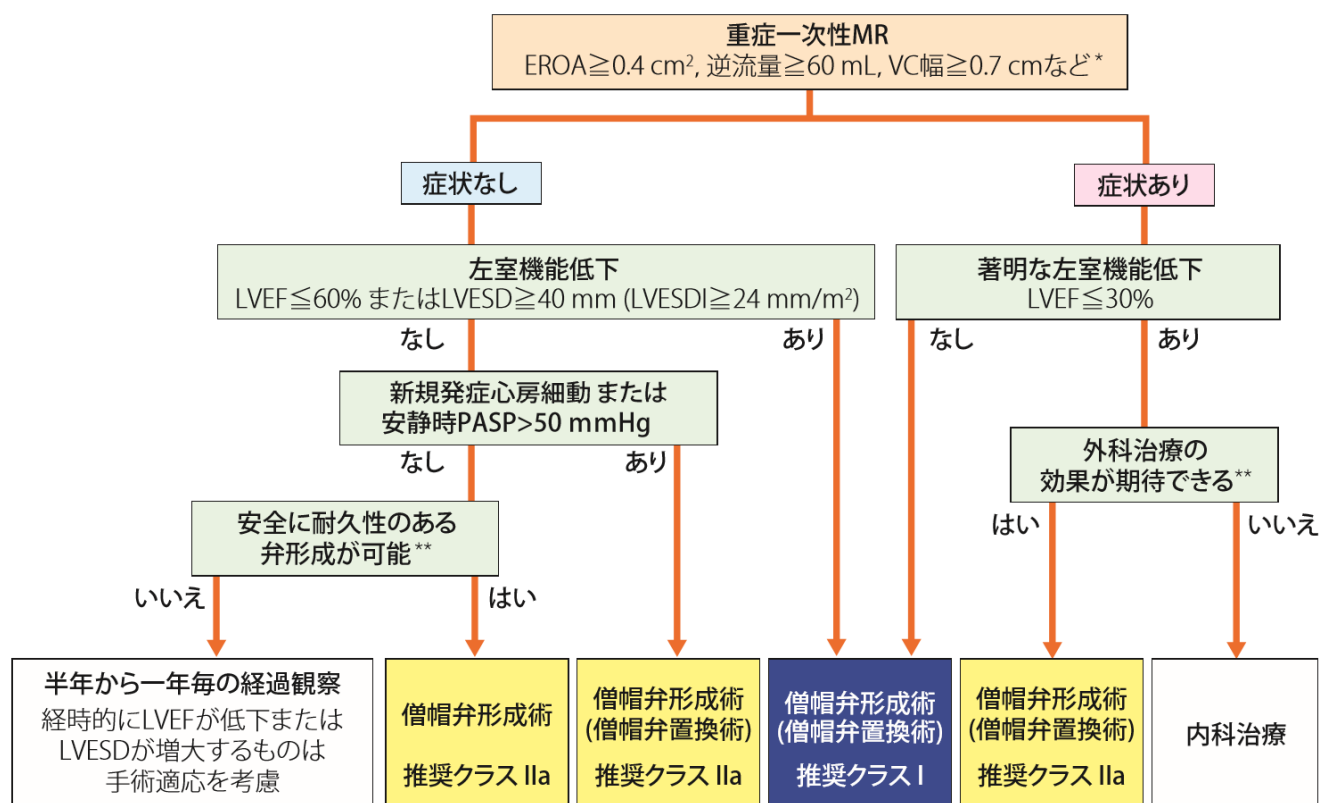
AVAI:AVA index, Vmax:大動脈弁最大血流速度, Velocity ratio:左室流出路血流速と弁通過血流速の比

症候性重症ASにおける経カテーテル的AVR(TAVR)か外科的AVR(SAVR)の選択⁸⁾



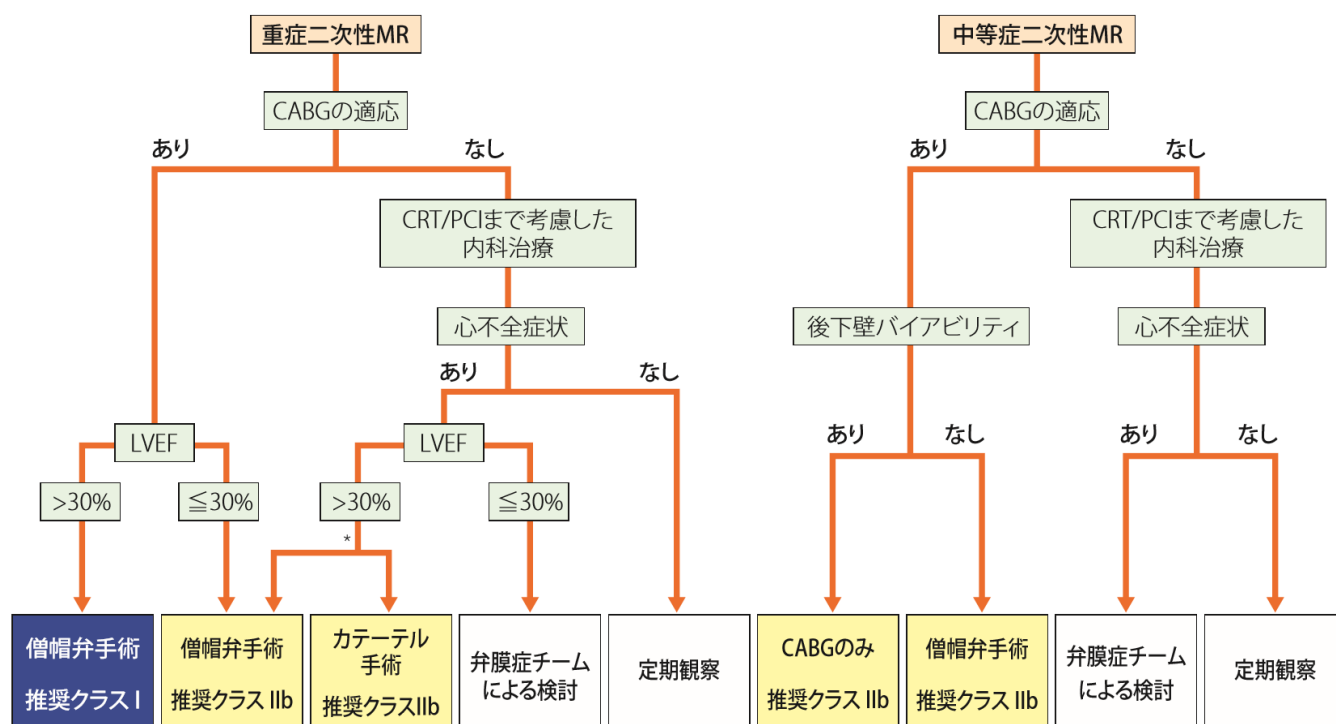
8) Nishimura, RA et al: 2017 AHA/ACC Focused Update of the 2014 AHA/ACC Guideline

	軽症	中等症	重症	備考
左室や左房の大きさ	正常	—	拡大	MRが重症でも左室や左房の拡大を伴わないことが多い機能性MRよりも慢性器質性MRの重症度評価に向く
* 定性評価 * カラードプラ法の下流ジェット面積	小さく細いセントラルジェット, かつ/または持続時間が短い	—	大きなセントラルジェット (> 左房面積の50%)	偏位して左房壁に沿う場合, ジェット面積からは重症度を過小評価しやすい
カラードプラ法の上流吸い込み血流	みえない, 短時間, または 小さい	—	収縮期を通して大きい	
連続波ドプラ波形	短時間, または薄い	—	収縮期を通して濃い	
* 半定量評価 * 縮流部幅 (cm)	< 0.3	0.3～0.69	≥ 0.7	単断面で計測した本指標は 機能性MRの評価には向かない
肺静脈血流	—	—		収縮期陽性波がない, または, 収縮期逆流波がある
左室流入血流速波形	—	—	E波増高 (> 1.2 m/秒)	
* 定量評価 * EROA (cm ²) PISA法	< 0.20	0.20～0.39	≥ 0.40	機能性MRの評価には向かない (過小評価しやすい)
RV: 逆流量 (mL)	< 30	30～59	≥ 60	左室SVが少ない機能性MR例ではRFが大きくてもRVは少なくなり, 本指標からは重症度を過小評価しやすい
RF: 逆流率 (%)	< 30	30～49	≥ 50	有意なAR合併例での評価には向かない

重症一次性MRの手術適応²⁾

2020 年改訂版 弁膜症治療のガイドライン

資料(11)

左室収縮能低下に伴う二次性MRの手術適応²⁾

2020 年改訂版 弁膜症治療のガイドライン

心エコー図検査の計測基準値¹⁰⁾

(日本人 成人)

計測項目(断層法)	男性	女性
大動脈径 (Valsalva洞) [cm]	3.1±0.4	2.8±0.3
左房径 : LAD [cm] (前後径)	3.2±0.4	3.1±0.3
心尖四腔長径 [cm]	4.9±0.7	4.6±0.7
心尖四腔短径 [cm]	3.6±0.5	3.5±0.5
最大左房容積 [mL] (biplane Simpson)	42±14	38±12
左房容積／体表面積 [mL/m ²]	24±7	25±8
心室中隔厚 : IVST [cm]	0.9±0.1	0.8±0.1
左室後壁厚 : LVPWT [cm]	0.9±0.1	0.8±0.1
左室拡張末期径 : LVDd [cm]	4.8±0.4	4.4±0.3
左室収縮末期径 : LVDs [cm]	3.0±0.4	2.8±0.3
左室拡張末期容積 : LVEDV [mL]	93±20	74±17
左室拡張末期容積/体表面積 [mL/m ²]	53±11	49±11
駆出率 : EF [%]	64±5	66±5
左室心筋重量／体表面積 [g/m ²]	76±16	70±14

10) Daimon, M et al : the JAMP study. Circ J 72 : 1859–1866, 2008

参考文献

- 1) 新井達太 et al., 心臓弁膜症の外科. 2003; 第2版:564
- 2) 泉 知里 et al., 2020年改訂版 弁膜症治療のガイドライン JCS/JATS/JSVS/JSCS Guideline on the Management of Valvular Heart Disease
- 3) Lancellotti, P et al : Recommendations for the imaging assessment of prosthetic heart valves: a report from the European Association of Cardiovascular Imaging endorsed by the Chinese Society of Echocardiography, the Inter-American Society of Echocardiography, and the Brazilian Department of Cardiovascular Imaging. Eur Heart J – Cardiovascular Imaging Advance Access published May 3, 2016
- 4) Zoghbi, W A et al : Recommendations for Evaluation of Prosthetic Valves With Echocardiography and Doppler Ultrasound. J Am Soc Echocardiogr 22 ; 975–1014, 2009
- 5) Garcia. D et al : Assessment of aortic valve stenosis severity : A new index based on the energy loss concept. Circulation 101 : 765–771, 2000
- 6) Garcia, M J et al : Mechanisms of hemolysis with mitral prosthetic regurgitation. Study using transesophageal echocardiography and fluid dynamic simulation. JACC 27(2) ; 399–406. 1996
- 7) 三浦 誠 et al., 二葉式機械弁におけるキャビテーション気泡の生成とその動態. 人工臓器29(2),379–383, 2000
- 8) Nishimura, RA et al :2017 AHA/ACC Focused Update of the 2014 AHA/ACC Guideline
- 9) Zoghbi WA, Adams D, Bonow RO, et al. Recommendations for Noninvasive Evaluation of Native Valvular Regurgitation: A Report from the American Society of Echocardiography Developed in Collaboration with the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. J Am Soc Echocardiogr 2017; 30: 303–371.
- 10) Daimon, M et al : the JAMP study. Circ J 72 : 1859–1866, 2008

参考スライド

S1) Dr. Myla Gloria Salazar , Echocardiographic Evaluation of Prosthetic Valves

Written by Yoshikazu Masuda (JRDCS)
Cooperators : I. Nakasone (JRDCS), S. Hashimoto (JRDCS)

