

僧帽弁の定量評価

松 永 明*

はじめに

僧帽弁形成術の進歩に伴い、術中経食道心エコー法(transesophageal echocardiography: TEE)を用いた僧帽弁機能の評価は必要不可欠なものとなっている。特に弁形成術後の遺残逆流や狭窄の診断は患者の予後に大きな影響を与える。そこで臨床の場でよく行われる僧帽弁逆流と狭窄の重症度評価法とその問題点について述べる。

僧帽弁逆流の重症度評価

僧帽弁逆流の重症度評価には、カラードプラ法で描出される逆流ジェットによる半定量的な評価法が簡便で最もよく用いられる。また PISA (proximal isovelocity surface area) 法から得られる有効逆流弁口面積を用いた定量的評価もしばしば行われる。表1に僧帽弁逆流の重症度を評価する半定量法と定量法を示す。

A. 逆流ジェットの到達範囲(距離・面積)による評価

カラードプラ法による僧帽弁逆流ジェットは、逆流弁口へ向かう左室内で加速した血流(acceleration flow)と左房内でのモザイク状の逆流ジェットから構成される(図1)。この逆流ジェットが最大となる時相と断面を描出して重症度を評価

する(表2)。カラードプラ法による逆流ジェットの到達距離や逆流ジェット面積と左房面積の比率などによる半定量法はいずれも造影法の重症度とよ

表1 僧帽弁逆流の定量評価法

半定量的評価

- ・逆流ジェットの到達範囲(カラードプラ法)
- ・acceleration flow(カラードプラ法)
- ・vena contracta(カラードプラ法)
- ・肺静脈血流速波形(パルソドプラ法)

定量的評価

- ・僧帽弁通過血流量と大動脈弁通過血流量の差(パルソドプラ法)
- ・PISA(カラードプラ法, 連続波ドプラ法)

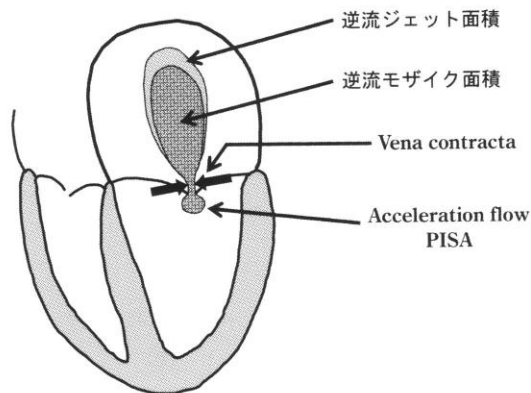


図1 僧帽弁逆流ジェットシグナルと重症度評価部位

表2 逆流ジェットによる僧帽弁逆流の重症度評価¹⁾²⁾⁵⁾⁷⁾

Grade	mild	moderate	severe
ジェット面積 (cm ²)	<4	4~8	>8
左房内ジェット	<1/3	1/3~2/3	>2/3
ジェット左房面積 (%)	<20	20~40	>40
Vena contracta (mm)			>5
肺静脈血流速波形			収縮期逆行波

*鹿児島大学医学部歯学部附属病院集中治療部

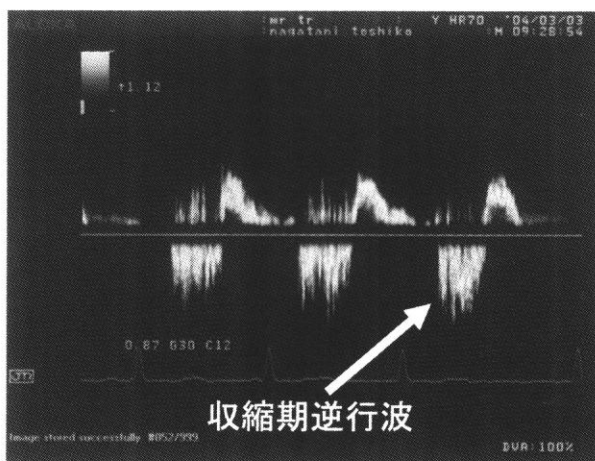


図2 重症僧帽弁逆流症例における肺静脈血流速度波形の収縮期逆行波

く一致する²⁾。TEE で描出される逆流ジェットは経胸壁心エコー法 (transthoracic echocardiography: TTE) より大きく表示されるため、同一基準で判定すると過大評価する。TEE では最大逆流モザイク面積、TTE では最大逆流ジェット面積が造影法の重症度とよく一致する³⁾。しかし、僧帽弁逆流ジェットの広がりや血行動態に大きく影響され、全身麻酔下では心拍出量の減少、後負荷の減少などによりその重症度は過小評価されやすい。特に、僧帽弁形成術における体外循環離脱直後の残存逆流評価を行う際には、血行動態に十分注意を払う必要がある。

僧帽弁逸脱症に伴うことの多い偏在性の逆流ジェットは、左房壁に衝突し壁に沿った形態 (Coanda effect) を呈するため、速度成分が通常の逆流のように左房内に均等に広がらず重症度を過小評価する⁴⁾。また偏在性の逆流ジェットではその空間的広がりを捉えられることが困難な症例もあるので、その評価には acceleration flow の大きさや、vena contracta などの他の評価法を組み合わせることで総合的に評価することが望ましい。acceleration flow が認められれば moderate 以上の逆流と評価できる (PISA 法を参照)。

カラードプラ法による逆流ジェットの大きさは患者側の要因だけではなく、超音波診断装置設定による影響も大きい。カラーゲインの設定は、カラーボックス内にノイズが出現する直前が最適なレベルであり、ゲイン不足は過小評価の原因となる。僧帽弁逆流を評価する際のカラーフロー速度

は 60~70cm/sec が適当であり、カラーフロー速度を低く設定しすぎると逆流を過大評価し、高く設定しすぎると過小評価する。白黒断層 (B モード) ゲインもカラードプラに影響を与え、ゲインが強すぎるとカラードプラシグナルが消えてしまう。

B. Vena contracta による評価

Vena contracta は逆流ジェットが逆流弁口から出た直後の最も狭い部分であり (図1)、その幅が 5mm 以上の場合、僧帽弁逆流の重症度は severe と評価する⁵⁾。この方法は、偏在性の僧帽弁逆流の重症度評価においても有用である⁶⁾。

C. 肺静脈血流速度波形による評価

僧帽弁逆流の重症度によって肺静脈血流速度波形に異常が出現する。逆流が重症になるにつれて、すなわち逆流量増加により左房充満が傷害されるにつれて S 波が減高し、左房から肺静脈へ逆流する陰性の S 波 (収縮期逆行波) が認められる症例の重症度は severe と評価する (図2)⁷⁾。TEE では TTE より容易に肺静脈血流速度波形を記録できるので、重症度評価の一つの指標として参考にすべきである。僧帽弁逸脱症に伴うことの多い偏在性の逆流ジェットがいずれかの肺静脈に向かって吹いている場合は、左右の肺静脈血流速度波形が異なることもあるので注意が必要である。

D. 僧帽弁通過血流量と大動脈弁通過血流量の差による評価

大動脈弁閉鎖不全を合併していない症例では、僧帽弁逆流量は僧帽弁通過血流量と大動脈弁通過血流量の差として求めることができる。パルスド

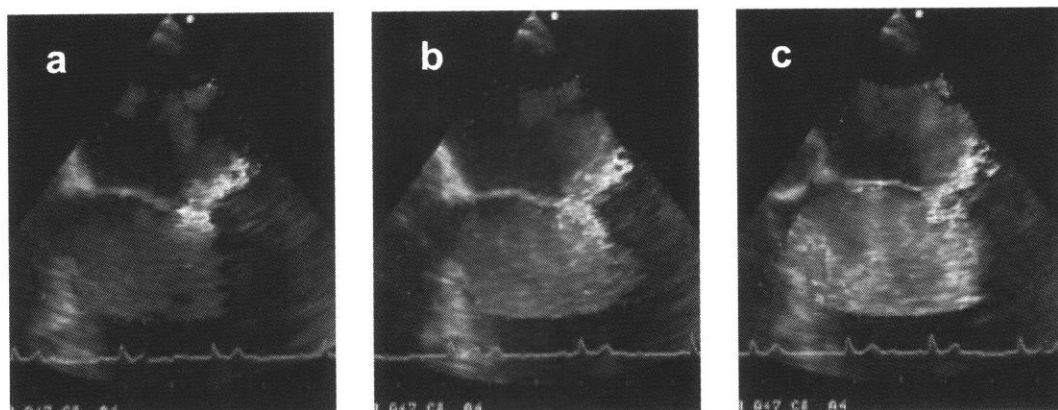


図3 折り返し速度と acceleration flow の大きさ

acceleration flow の大きさはカラードブラの折り返し速度 (aliasing velocity) により変化する。折り返し速度が高速であれば小さくなり、低速にすれば大きくなる。折り返し速度を 30~40cm/s 前後にまで下げ、カラーの反転が明瞭に観察でき、acceleration flow が半球状になるように調節する。

a, b, c の折り返し速度は、66cm/s, 44cm/s, 33cm/s である。

プラ法で得られる弁輪部を通過する血流の時間速度積分値と弁輪部の断面積の積として弁輪部を通過する血流量は算出できる。しかし、この方法は測定項目が多いため、個々の小さな測定誤差が大きな誤差を生む可能性があり、安定した結果を出すためにはある程度の時間と熟練が必要である。特に、時間の限られた術中評価は容易ではない。

E. PISA (proximal isovelocity surface area) 法による評価

PISA 法の原理は、左心室内で逆流弁口へ向かう acceleration flow は逆流口を中心に同じ血流速度の半球を形成し、この半球状の面を通過する血流量は逆流口を通過する血流量と等しいという連続の式に基づいている。カラードブラの折り返し現象 (aliasing) を利用して半円球状の acceleration flow の大きさとその流速が同定できる。PISA 法は acceleration flow における表面積と速度をカラードブラ法で計測し、逆流弁口における最高血流速を連続波ドブラで計測するだけで有効逆流弁口面積が算出され、簡便に逆流量の定量評価を行うことができるため、時間の限られた術中評価にも有用である。

実際にこの方法を行うためには、カラードブラ法で acceleration flow が最もよく観察できる断面を設定する。カラードブラの折り返し速度 (aliasing velocity) を 30~40cm/s 前後にまで下げ、カラーの反転が明瞭に観察でき、acceleration flow が半円球

になるように調節する (図3)。このときのカラードブラの折り返し速度が acceleration flow の半円球面の速度 (V_r) を表わすことになる。また、acceleration flow の半径 (r) を計測する。次に、連続波ドブラを用いて僧帽弁逆流の最高血流速 (V_{max}) と時間速度積分値 (TVI) を計測する。acceleration flow の半円球面を通過する瞬間逆流量 (flow rate) と僧帽弁口を通過する瞬間逆流量が等しいことから、有効逆流弁口面積 (ERO) と逆流量 (RV) を算出し、重症度を評価する (図4, 表3)。

$$\text{flow rate} = 2\pi r^2 \times V_r$$

$$\text{ERO} = \text{flow rate} / V_{max}$$

$$\text{RV} = \text{ERO} \times \text{TVI}$$

さらに簡易法として、収縮期の左室左房間の圧較差を 100mmHg ($V_{max} = 500\text{cm/s}$) と仮定し、折り返し速度 (V_r) を 40cm/s に設定すると、

$$\begin{aligned} \text{有効逆流弁口面積 (ERO)} &= 2\pi r^2 \times V_r / V_{max} = \\ &= 2 \times 3.14 \times r^2 \times 40 / 500 \approx r^2 / 2 \end{aligned}$$

と acceleration flow の半径だけで有効逆流弁口面積 (ERO) を大まかに求めることができる。

PISA 法は簡便に逆流量の定量評価を行うことができ、多弁逆流症例や人工弁症例にも適応できるが、逆流弁口が円形でなく不整形なため acceleration flow が半円球を呈することがない症例や、複数個の逆流弁口が存在する症例においては正確な評価が困難となる。また、僧帽弁逸脱症では収縮期後期に acceleration flow の半円球の径が有意に大

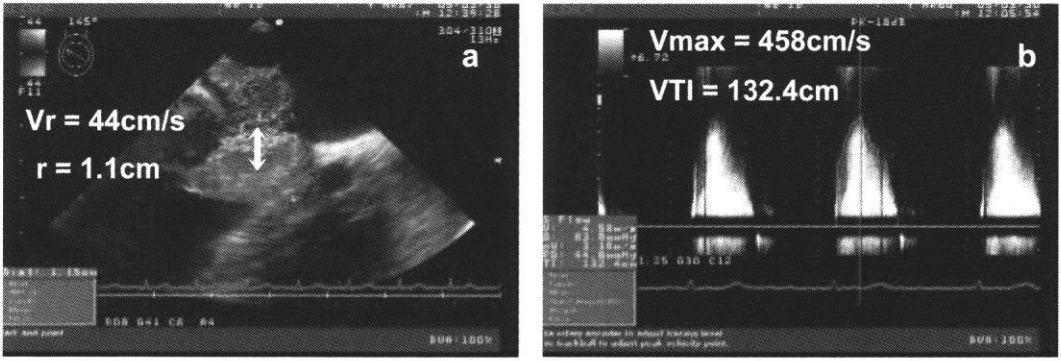


図4 PISA法の実際

a: カラー Doppler の折り返し速度を下げ acceleration flow が半円球になるように調節する。この折り返し速度 (Vr) と acceleration flow の半径 (r) を計測し、瞬間逆流量 (flow rate) を求める。

b: 連続波 Doppler を用いて僧帽弁逆流の最高血流速 (Vmax) と時間速度積分値 (TVI) を計測し、有効逆流弁口面積 (ERO) と逆流量 (RV) を算出する。

$$\text{flow rate} = 2\pi r^2 \times Vr = 2 \times 3.14 \times (1.1)^2 \times 44 = 334.3 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$\text{ERO} = \text{flow rate} / V_{\text{max}} = 334.3 / 458 = 0.73 \text{ cm}^2$$

$$\text{RV} = \text{ERO} \times \text{TVI} = 0.73 \times 132.4 = 96.6 \text{ ml}$$

表3 定量法による僧帽弁逆流の重症度評価¹⁾

Grade	trivial	mild	moderate	severe
有効逆流弁口面積 (cm ²)	<0.2	0.2~0.29	0.3~0.39	>0.4
逆流量 (ml)	<30	30~44	45~59	>60
逆流率 (%)	<20	20~30	30~55	>55

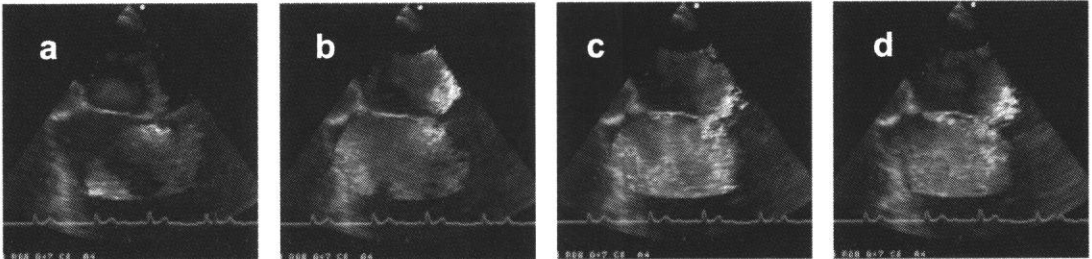


図5 僧帽弁逸脱症例における収縮期の acceleration flow の変化

収縮期の間においても acceleration flow の大きさが増大する。特に、僧帽弁逸脱症例では収縮期後期に有意に大きくなる。

a, b, c, d はそれぞれ収縮期前期, 収縮期中期, 収縮期中後期, 収縮期後期の acceleration flow を示す。

きくなり (図5), 有効逆流弁口面積を過大評価する可能性があるため、僧帽弁逆流速度が最大となる収縮中期から中後期に計測を行う必要がある⁸⁾。

僧帽弁狭窄の重症度評価

我々が僧帽弁狭窄を診断する機会は少ないが、人工弁機能不全や僧帽弁形成術後の弁狭窄などを評価する必要がある。連続波 Doppler 法を用いた左房左室間圧較差, pressure half time 法, planimetry

法, PISA 法を用いた弁口面積の計測から重症度を評価する (表4)。

A. 左房左室間圧較差による評価

狭窄弁の前後では圧較差が生じる。連続波 Doppler 法により僧帽弁通過血流速度波形を記録し、血流速度波形をトレースすれば、簡易ベルヌーイの式 ($P = 4V^2$) により自動的に最大圧較差, 平均圧較差を求めることができる (図6)。人工弁狭窄の評価に圧較差は有用であるが⁹⁾, 圧較差は心拍出量, 心拍数,

表4 僧帽弁狭窄の重症度評価⁹⁾

Grade	mild	moderate	severe
平均圧較差(mmHg)	≤5	6~10	≥10
Pressure half time (ms)	≤150	150~210	≥220
弁口面積 (cm ²)	1.6~2.0	1.1~1.5	≤1.0

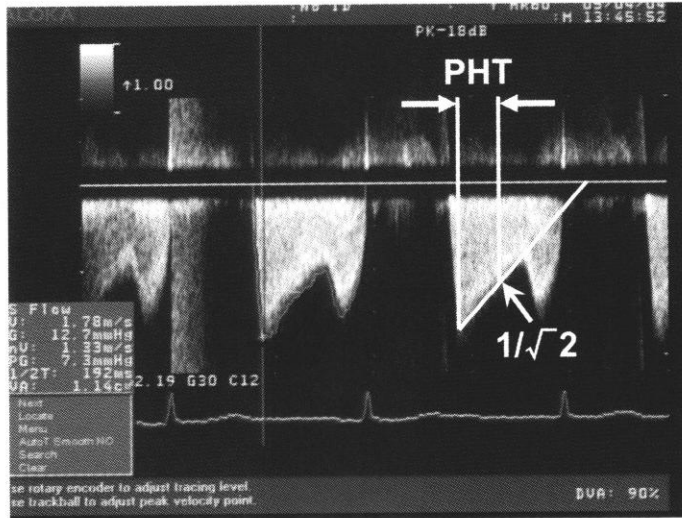


図6 僧帽弁狭窄症における僧帽弁通過血流速波形
左房左室間圧較差の計測と pressure half time (PHT)法による弁口面積の推定

僧帽弁逆流などの影響を受けるので注意が必要である。

B. pressure half time (PHT)法による評価

pressure half time (PHT)とは僧帽弁口レベルでの最大圧較差が 1/2 になるまでの時間であり、実際には、連続波ドプラ法による僧帽弁通過血流速波形から、血流速度が $1/\sqrt{2}$ になるまでの時間を求め、以下の計算式で僧帽弁口面積を推定する(図6)。

$$\text{僧帽弁口面積 (cm}^2\text{)} = 220/\text{PHT}$$

pressure half time (PHT)法は弁狭窄の評価に好んで用いられるが、この式はカテーテル検査から得られた経験式であり、人工弁の弁口面積をこの式で求めることはできない。

C. planimetry 法による評価

断層法により僧帽弁口短軸断面を描出し、弁口内周を直接トレースすることにより弁口面積を求める。この方法は心臓カテーテル法による弁口面積とよい相関を示すが、僧帽弁の変性が著しい場合には内周を正確にトレースできない。また、断面レベルが弁輪部よりの場合弁口面積を過大評価するので、正確な短軸断面の設定が重要である。

D. PISA (proximal isovelocity surface area) 法による評価

僧帽弁逆流弁口を求めるときと同じ方法で狭窄弁口面積が求められる。カラードプラの折り返し現象(aliasing)を利用して左房内の acceleration flow の大きさとその流速を計測し、連続波ドプラ法により最大僧帽弁通過血流速を計測することにより弁口面積が算出できる。注意点は、僧帽弁口が平面でないため acceleration flow も半円球を呈さないで、角度補正が必要である⁹⁾。

おわりに

臨床場でよく用いられる僧帽弁逆流と狭窄の重症度評価法について述べた。その重症度評価を行う際に重要な点は、①正常な血行動態の下で評価を行う、特に、術中は心拍出量低下、血圧低下、頻脈などにより重症度を見誤る危険性がある、②それぞれの評価法の注意点や限界を理解して評価を行う、③一つの評価法のみで診断するのではなく、いくつかの評価法を用いて総合的な診断をすることである。

文 献

- 1) 吉川純一編著: 臨床心エコー図学, 第2版, 東京: 文光堂, 2001. p.113-31.
- 2) Helmcke F, Nanda NC, Hsiung MC, et al: Color Doppler assessment of mitral regurgitation with orthogonal planes. *Circulation* 1987; 75: 175-83.
- 3) Castello R, Lenzen P, Aguirre F, et al: Variability in the quantitation of mitral regurgitation by Doppler color flow mapping: comparison of transthoracic and transeophageal studies. *J Am Coll Cardiol* 1992; 20: 433-8.
- 4) Chen CG, Thomas JD, Anconina J, et al: Impact of impinging wall jet on color Doppler quantification of mitral regurgitation. *Circulation* 1991; 84: 712-20.
- 5) Hall SA, Brickner ME, Willett DL, et al: Assessment of mitral regurgitation severity by Doppler color flow mapping of the vena contracta. *Circulation* 1997; 95: 636-42.
- 6) Gorgulu S, Eren M, Norgaz T, et al: Comparison of echocardiographic methods in assessing severity of mitral regurgitation in patients with mitral valve prolapse. *J Heart Valve Dis* 2004; 13: 38-45.
- 7) Klein AL, Obarski TP, Stewart WJ, et al: Transesophageal Doppler echocardiography of pulmonary venous flow: a new marker of mitral regurgitation severity. *J Am Coll Cardiol* 1991; 18: 518-26.
- 8) Enriquez-Sarano M, Sinak LJ, Tajik AJ, et al: Changes in effective regurgitant orifice throughout systole in patients with mitral valve prolapse. A clinical study using the proximal isovelocity surface area method. *Circulation* 1995; 92: 2951-8.
- 9) Oh JK, Seward JB, Tajik AJ: *The Echo Manual* Second Ed., Lippincott Williams & Wilkins, 1999. p.103-143.