

Proximal isovelocity surface area 法による僧帽弁逆流の定量的評価

Quantification of mitral regurgitant stroke volume by the proximal isovelocity surface area method

西上 和宏
吉川 純一
吉田 清
皆越 真一
赤阪 隆史
赤土 正洋
岩森 基猛

Kazuhiro NISHIGAMI
Junichi YOSHIKAWA
Kiyoshi YOSHIDA
Shinichi MINAGOE
Takashi AKASAKA
Masahiro SYAKUDO
Kiyotake IWAMORI

Summary

Although color Doppler flow mapping has been used to quantitate the severity of mitral regurgitation, this approach has various limitations. Doppler color flow mapping of a proximal isovelocity surface area (PISA), defined by a blue-red aliasing interface, has been shown in vitro to be accurate for estimating volume flow rate across an orifice. Volume flow rate can be calculated as PISA \times aliasing velocity. To evaluate the clinical applicability of the PISA method, we compared the regurgitant stroke volume estimated by the PISA method with the conventional pulsed wave Doppler method in 18 patients with mitral regurgitation. The mean systolic aliasing radius was calculated from color overlaid M-mode (Q/M-mode) images.

The mitral regurgitant stroke volume calculated by the PISA method correlated well with that calculated by the pulsed Doppler method ($r=0.89$, $SEE=6.0$ ml). Thus, the color Doppler PISA method can be applicable to calculating the regurgitant volume in patients with mitral regurgitation.

Key words

Mitral regurgitation Proximal isovelocity surface area method

はじめに

超音波ドップラー法による僧帽弁逆流の重症度評価には、カラードップラー法を用いた左房内逆流ジェットの面積を求める方法が臨床的に広く用

いられている¹⁻⁴⁾。しかし、同方法による逆流の重症度評価は半定量的であり、その判定基準も報告者により一定でなく、また逆流速度、逆流の方向、左房径、左房のコンプライアンスなどの血行動態的因子や、ゲイン、フィルターなどの測定器

神戸市立中央市民病院 循環器センター
神戸市中央区港島中町4-6 (〒650)

Department of Cardiology, Kobe General Hospital,
Minatojima-Nakamachi 4-6, Chuo-ku, Kobe 650

Received for publication August 29, 1991; accepted March 24, 1992 (Ref. No. 91-E-5)

側の因子にも影響を受ける⁵⁻¹¹⁾。

最近, カラー Doppler 法により逆流ジェットの上流側に認められる収束血流 (acceleration flow) を用いて逆流の重症度評価を試みた報告がある¹²⁻¹⁷⁾。Recusani ら¹⁶⁾や Utsunomiya ら¹⁷⁾は, 実験モデルを用いて, acceleration flow の aliasing の境界面積 (proximal isovelocity surface area: PISA) を計測することにより流量の測定が可能であり, さらに, 同方法は上記血行動態の因子や測定機器因子の影響を受けないことを報告した。しかし同方法を用いた僧帽弁逆流の定量的評価を試みた臨床的研究は報告されていない。

一方, パルス・Doppler 法は僧帽弁逆流の定量的評価法として優れていることが, 実験的にまた臨床的に報告されている^{18,19)}。

今回の研究の目的は, PISA 法による僧帽弁逆流量をパルス・Doppler 法によるそれと比較することにより, PISA 法の僧帽弁逆流の定量的評価に対する臨床的有用性を検討することにある。

対 象

対象は心臓超音波検査を施行し, カラー Doppler 法にて僧帽弁逆流を認めた連続 108 例のうち, 大動脈弁狭窄, 大動脈弁閉鎖不全, 僧帽弁狭窄などの合併例がなく, かつ洞調律の 21 例である。平均年齢は 49 歳で, 男性 11 例, 女性 10 例であった。僧帽弁逆流の基礎疾患は, 僧帽弁逸脱 11 例, 陳旧性心筋梗塞 4 例, 心筋症 3 例, 感染性心内膜炎 3 例であった。

方 法

上記症例を対象に, PISA 法による僧帽弁逆流量の測定と, パルス・Doppler 法による測定を行ない, 両者の比較を行なった。

1. 使用装置

超音波装置は Hewlett Packard 製 SONOS 1000, 探触子は 2.5 MHz を使用し, 測定は左側臥位にて行なった。カラーゲインはノイズが出現しないレベルでの最大のゲインに設定した。

2. PISA 法による僧帽弁逆流量の測定 (Fig. 1)

流量 (Q) は, 流速 (v), 時間 (t) および断面積 (a) より以下の式により計算される¹²⁻¹⁴⁾。

$$Q = v \times t \times a$$

v は aliasing の開始速度で, 31 cm/sec に設定した。t は僧帽弁逆流の持続時間で, M モードカラー Doppler 心エコー図より計算した。

また, a は acceleration flow の aliasing の境界面積 (PISA) で, Recusani らの報告と同様に, PISA の形を半球と仮定し, 半径 (r) を求めて a を推定した。すなわち a は $a = 2\pi r^2$ より求められる。また, M モードカラー Doppler 心エコー図法を用いて, aliasing から逆流弁口までの距離の逆流時相を通じての平均を求め, これを r とした。

3. パルス・Doppler 法による僧帽弁逆流量の測定

パルス・Doppler 法による僧帽弁逆流量の測定は, Lewis らの方法¹⁸⁾に従い, 左室流入血流量 (M flow) と駆出血流量 (A flow) の差より, 僧帽弁逆流量 (Q') を求めた。すなわち,

$$Q' = (M \text{ flow}) - (A \text{ flow})$$

となる。左室流入血流量 (M flow) は, 心尖部四腔断面図にて僧帽弁輪部中央にサンプルボリュームを置き, パルス・Doppler 法にて速度時間積分値 (M VTI) を求め, さらに僧帽弁輪部の面積 (M area) を掛けて算出した。すなわち,

$$M \text{ flow} = (M \text{ VTI}) \times (M \text{ area})$$

により算出される。僧帽弁輪部の面積は, 拡張中期の僧帽弁輪部の径を直径として求めた。左室駆出血流量は, 心尖部五腔断面図にて左室流出路にサンプルポイントを置き, パルス・Doppler 法にて速度時間積分 (A VTI) を求め, さらに傍胸骨長軸断面図にて左室流出路の断面積 (A area) を掛けて算出した。したがって駆出血流は,

$$A \text{ flow} = (A \text{ VTI}) \times (A \text{ area})$$

として算出される。左室流出路の断面積は, 大動脈弁直下の左室流出路を直径として求めた。なおパルス・Doppler 法では, 角度補正を行わず, またペーパースピードは 100 cm/sec にて計

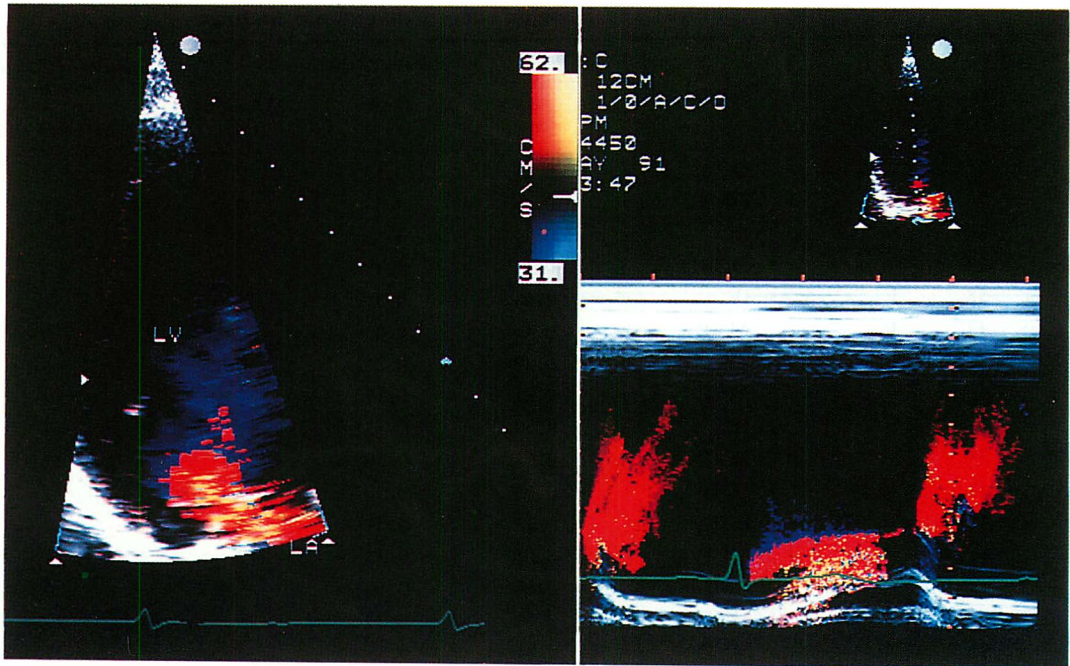


Fig. 1. Two-dimensional color Doppler flow image (left) and color velocity-encoded M-mode echocardiogram (right) of acceleration flow in mitral regurgitation. Acceleration flow is represented as shades of blue with aliasing to red.

測を行なった。速度時間積分値および面積の計測値には3心拍の平均値を用いた。

4. Interobserver variability および intraobserver variability

Interobserver variability を検討するため、対象10例について2人の測定者により計測を行ない、両者の測定値間の比較を行なった。同様に10例について、intraobserver variability の検討を行なった。

5. 統計学的処理

PISA 法による僧帽弁逆流流量とパルス・ドップラー法による僧帽弁逆流流量の一次回帰曲線および相関係数を求めた。また、interobserver variability および intraobserver variability についても同様の検討を行なった。

結 果

Acceleration flow は対象例全例で観察された。このうち僧帽弁後尖の逸脱により生じた僧帽弁逆流症の3例では、leaking orifice 面に対し垂直な面のMモードカラードップラー心エコー図の描出が困難であったため、逆流流量の測定は困難であった。残り18例の臨床所見とPISA法およびパルス・ドップラー法による僧帽弁逆流流量の測定値をTable 1に示す。PISA法による僧帽弁逆流流量の測定値とパルス・ドップラー断層心エコー図法による僧帽弁逆流流量の測定値との間には、 $r=0.89$, $SEE=6.0\text{ ml}$, $y=0.87x-1.5$, $p<0.001$ の有意な正相関が認められた(Fig. 2)。

Interobserver variability は $r=0.99$, $SEE=1.4\text{ ml}$, $p<0.001$, intraobserver variability は $r=0.99$, $SEE=1.7\text{ ml}$, $p<0.001$ であった(Fig. 3)。

Table 1. Clinical and Doppler echocardiographic findings

Patients			Diagnosis	PISA method			Pulsed Doppler method
No.	Age (yrs)	Sex		r (cm)	Time (sec)	MR-vol (ml)	MR-vol (ml)
1	61	F	DCM	0.25	0.13	2	3
2	70	M	OMI	0.39	0.33	9	14
3	19	M	IE	0.94	0.35	47	44
4	44	M	DCM	0.4	0.4	12	20
5	58	F	IE	0.68	0.3	29	32
6	47	F	MVP	0.4	0.2	6	13
7	31	F	MVP	0.29	0.34	6	3
8	42	F	MVP	0.21	0.19	2	10
9	43	F	IE	0.58	0.45	29	35
10	34	M	MVP	0.57	0.36	22	12
11	51	M	OMI	0.44	0.47	17	33
12	45	M	ECD	0.33	0.34	7	17
13	39	F	MVP	0.61	0.23	17	16
14	78	M	OMI	0.41	0.15	5	6
15	51	M	MVP	0.61	0.33	24	29
16	44	M	MVP	0.24	0.35	4	7
17	63	M	HCM	0.31	0.53	10	17
18	55	M	OMI	0.64	0.39	31	39

PISA=proximal isovelocity surface area; r=radial distance from orifice; Time=periods of mitral regurgitation; MR-vol=mitral regurgitant stroke volume; DCM=dilated cardiomyopathy; OMI=old myocardial infarction; IE=infective endocarditis; MVP=mitral valve prolapse; HCM=hypertrophic cardiomyopathy; ECD=endocardial cushion defect.

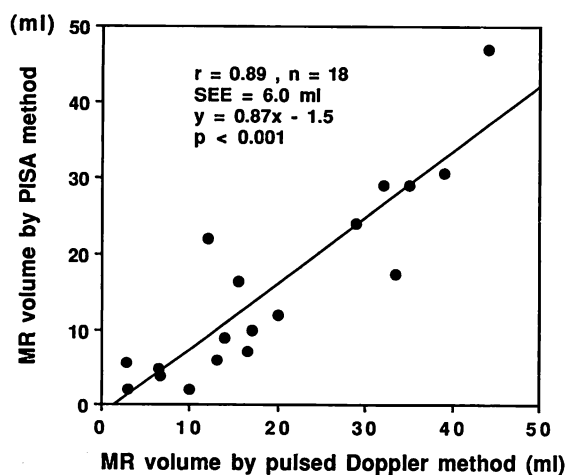


Fig. 2. Comparison of mitral regurgitant stroke volumes measured by PISA method and pulsed wave Doppler method.

Abbreviations as in Table 1.

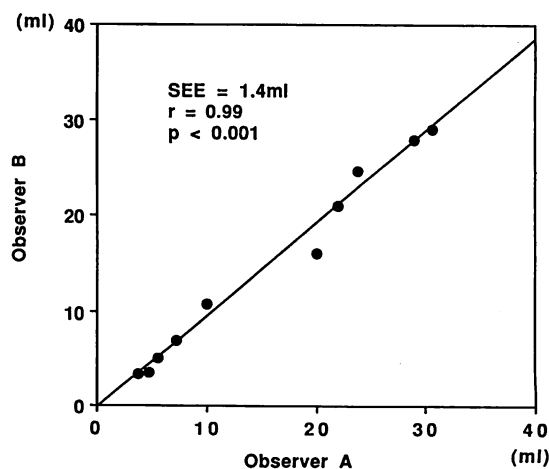


Fig. 3. Interobserver variability.

考 按

本研究は、PISA 法を用いて、臨床的な僧帽弁逆流量の定量的評価が可能であることを示した。すなわち、PISA 法とパルス・ドップラー法による僧帽弁逆流量の間には極めて良好な相関を得た。

従来、僧帽弁逆流の重症度評価は、カラードップラーマッピング法やパルス・ドップラー法などの非観血的評価¹⁻⁴⁾と、左室造影を用いた Sellers 法の観血的評価^{20,21)}によりなされてきた。カラードップラーマッピング法は、簡易に逆流ジェットの状態を評価でき、临床上広く用いられているが、その評価は半定量的であり、血行動態や測定器側の因子に影響を受ける⁵⁻¹²⁾。パルス・ドップラー法は、定量的評価法としてその有用性が報告されている^{18,19)}が、計測が煩雑で時間がかかることが問題である。また左室造影を用いた Sellers 法は、左室拡張期容量の影響を受けると報告されている²²⁾。

PISA 法は acceleration flow の aliasing の境界面積を用い、逆流量を算出する定量的評価法である。本法はゲイン、フィルターなどの測定器側の因子に影響を受けず、leaking orifice の形態に左右されないと報告されている¹⁷⁾。さらに、上流血流を評価しているため、従来の左房側の僧帽弁逆流ジェットを評価する方法に比べ、左房、僧帽弁、大動脈などの flow masking phenomenon によるドップラーシグナルへの影響が少なく、逆流ジェットが偏位した場合の測定も可能である。

Acceleration flow の大きさは逆流の時相により変化するため、PISA 法による僧帽弁逆流の測定には PISA の逆流時相を通じての平均半径を求める必要がある。そのため、今回の PISA の半径の測定には、M モードカラードップラー心エコー図法を用いた。しかしながらこの方法では、僧帽弁後尖逸脱のように、leaking orifice 面に対し垂直な面を描出しにくい場合には計測が困難であった。Recusani ら¹⁶⁾は、leaking orifice 面に対

し平行な面を描出し、その面における PISA の半径から僧帽弁逆流量を測定する方法も有用であるとしている。僧帽弁後尖逸脱の例には、上記の方法をとるなどの工夫が必要であると思われる。

PISA 法による僧帽弁逆流量の測定は、パルス・ドップラー法による測定と比較して、やや過小評価する傾向がみられた。これは、本来半楕円体である PISA の形を半球体と仮定したためと思われる。Utsumomiya ら¹⁷⁾も PISA の形を半楕円体としたモデルの方が、より正確な流量を算出できると報告している。しかし、半楕円体のモデルでは、leaking orifice 面に対し垂直な面と平行な面の 2 方向の面を描出する必要があり、臨床の場では、いずれの面も正確に描出することは困難な場合が少なくない。今後の検討を要する課題と思われる。

逆流量が小さい場合、通常の aliasing velocity (50-100 cm/sec) では acceleration flow は描出されにくい、今回設定した 31 cm/sec では、対象例全例で acceleration flow が描出された。逆に 30 cm/sec 以下の aliasing velocity では、左室流出路の駆出血流が acceleration flow と重なって描出される場合が多く、測定が困難であった。したがって PISA 法による僧帽弁逆流量の測定の際の aliasing velocity は、一般的には 31 cm/sec 前後が最も適当と思われる。

PISA 法の臨床的意義には以下のようなことが考えられる。

1. パルス・ドップラー法による僧帽弁逆流量の定量的評価法に比べ測定項目が少なく、短時間で計測が可能であること
2. 僧帽弁逆流ジェットが偏位している場合でも正確な測定が可能であること
3. 僧帽弁、大動脈の石灰化などにより逆流ジェットがみえない場合や、人工弁逆流例でも、観察可能であること

結 語

僧帽弁逆流量測定に対する PISA 法の臨床的

有用性を検討した。PISA 法による僧帽弁逆流量の評価は、従来の僧帽弁逆流流量測定の方法に比べ、装置や被検者、血行動態的因子などの影響が少なく、定量的な測定法として極めて優れた方法であると結論される。

要 約

僧帽弁逆流の非侵襲的重症度評価にはカラー Doppler マッピング法が用いられているが、この方法は半定量的評価法であり、種々の因子に影響を受ける。Acceleration flow にみられる aliasing の表面積 (proximal isovelocity surface area: PISA) を用いた逆流流量の測定法は、実験的研究においてその有用性が報告されている。逆流流量は $PISA \times aliasing \text{ velocity} \times 逆流時間$ で計算される。

我々は 18 例の僧帽弁逆流症患者において、PISA 法による僧帽弁逆流流量を従来のパルス・ドップラー法によるそれと比較することにより、PISA 法の僧帽弁逆流流量の定量的評価に対する臨床的有用性を検討した。PISA 法による僧帽弁逆流流量は、M モードカラー Doppler 心エコー図を用いて aliasing の平均半径から PISA を算出し、さらに逆流時間と aliasing velocity を乗ずることによって求めた。

PISA 法による僧帽弁逆流流量とパルス・ドップラー法による僧帽弁逆流流量の間には、 $r=0.89$, $SEE=6.0 \text{ ml}$ の有意な相関が認められた。本法は僧帽弁逆流流量の非観血的評価法として臨床上有用な方法であると結論された。

文 献

- 1) Omoto R, Yokote Y, Takamoto S, Kyo S, Ueda K, Asano H, Namekawa K, Kasai C, Kondo Y, Koyano A: The development of real-time two-dimensional Doppler echocardiography and its clinical significance in acquired valvular disease. *Jpn Heart J* 25: 325-340, 1984
- 2) Miyatake K, Izumi S, Okamoto M, Kinoshita N, Asonuma H, Nakagawa H, Yamamoto K, Takamiya M, Sakakibara H, Nimura Y: Semiquantitative grading of severity of mitral regurgitation by real-time two dimensional Doppler flow imaging technique. *J Am Coll Cardiol* 7: 82-88, 1986
- 3) Helmcke F, Nanda NC, Hsuin MC, Soto B, Adey CK, Goyal RG, Gatewood RP Jr: Color Doppler assessment of mitral regurgitation with orthogonal planes. *Circulation* 75: 175-183, 1985
- 4) Otsuji Y, Tei C, Kisanuki A, Natsugoe K, Kawazoe Y: Color Doppler echocardiographic assessment of the change in mitral regurgitant volume. *Am Heart J* 114: 349-354, 1987
- 5) Sung HW: Factors affecting jet visualization by color flow mapping Doppler echo: In vitro studies. *Circulation* 74 (Suppl): II-271, 1986 (abstr)
- 6) Sahn DJ: Instrumentation and physical factors related to visualization of stenotic and regurgitant jets by Doppler color flow imaging. *J Am Coll Cardiol* 12: 1354-1365, 1988
- 7) Davidoff R, Wikins GT, Thomas JD, Achorn DM, Weyman AE: Regurgitant volumes by color flow overestimate injected volumes in an in vitro model. *J Am Coll Cardiol* 9: 110A, 1987 (abstr)
- 8) Simpson IA, Valdes-Cruz LM, Sahn DJ, Murillo A, Tamura T, Chung KJ: Doppler color flow mapping of simulated in vitro regurgitant jets: Evaluation of the effects of orifice size and hemodynamic variables. *J Am Coll Cardiol* 13: 1195-1207, 1989
- 9) Bertucci C, Valdes-Cruz LM, Recusani F, Bargigia G, DePieri G, Raisaro A, Tronconi L, Sahn DJ: Color flow Doppler study of the effects of afterload on spatial distribution of mitral regurgitant jets. *J Am Coll Cardiol* 9: 67A, 1987 (abstr)
- 10) Maciel B, Moises V, Shandas R, Simson I, Beltran M, Valdes-Cruz L, Sahn DJ: Effect of receiving chamber compliance on the spatial distribution of regurgitant jets as imaged by color Doppler flow mapping: An in vitro study. *J Am Coll Cardiol* 13: 23A, 1989 (abstr)
- 11) Chen C, Thomas JD, Anconia J: Impact of eccentrically directed impinging wall jets on quantitation of mitral regurgitation by color Doppler flow mapping. *Circulation* 80: II-578, 1989 (abstr)
- 12) Sahn DJ, Simpson IA, Murillo A, Valdes-Cruz L: Observations of acceleration proximal to restrictive orifices in congenital heart disease: Important clues for the interpretation of Doppler color flow maps. *Circulation* 78 (Suppl): II-649, 1988 (abstr)
- 13) Simpson IA, Sahn DJ, Valdes-Cruz LM, Chung KJ, Sherman FS, Swenson RE: Color Doppler flow mapping in patients with coarctation of the aorta: New observations and improved evaluation with color flow diameter and proximal accelera-

- tion as predictors of severity. *Circulation* **77**: 736–744, 1988
- 14) Simpson IA, Valdes-Cruz LM, Yoganathan AP, Sung HW, Jimoh A, Sahn DJ: Spatial velocity distribution and acceleration in serial subvalve tunnel and valvular obstruction: An in vitro study using Doppler color flow mapping. *J Am Coll Cardiol* **13**: 241–248, 1989
 - 15) Yoshida K, Yoshikawa J, Yamaura Y, Hozumi T, Shakudo M, Akasaka T, Kato H: Value of acceleration flows and regurgitant jet direction by color Doppler flow mapping in the evaluation of mitral valve prolapse. *Circulation* **81**: 879–885, 1990
 - 16) Recusani F, Bargiggia GS, Yoganathan AP, Raisaro A, Valdes-Cruz LM, Sung HW, Bertucci C, Eng MG, Moises VA, Simpson IA, Tronconi L, Sahn DJ: A new method for quantification of regurgitant flow rate using color Doppler flow imaging of the flow convergence region proximal to a discrete orifice: An in vitro study. *Circulation* **83**: 594–604, 1991
 - 17) Utsunomiya T, Ogawa T, Doshi R, Patel D, Quan M, Henry WL, Gardin JM: Doppler color flow “proximal isovelocity surface area” method for estimating volume flow rate: Effects of orifice shape and machine factors. *J Am Coll Cardiol* **17**: 1103–1111, 1991
 - 18) Lewis JF, Kuo LC, Nelson JG, Limacher MC, Quinones MA: Pulsed Doppler echocardiographic determination of stroke volume and cardiac output: Clinical validation of two new methods using the apical window. *Circulation* **70**: 425–431, 1984
 - 19) Ascah KJ, Stewart WJ, Jiang L, Guerrero JL, Newell JB, Gillam LD, Weyman AE: A Doppler-two-dimensional echocardiographic method for quantitation of mitral regurgitation. *Circulation* **72**: 377–383, 1985
 - 20) Sandler H, Dodge HT, Hay RE, Rackley CE: Quantitation of valvular insufficiency in man by angiocardiography. *Am Heart J* **65**: 501–513, 1963
 - 21) Sellers RD, Levy MJ, Amplatz K, Lillehei CW: Left retrograde cardioangiography in acquired cardiac disease. *Am J Cardiol* **14**: 437–447, 1964
 - 22) Croft CH, Lipscomb K, Mathis K, Firth BG, Nicod DP, Tilton G, Winniford MD, Hillis LD: Limitations of qualitative angiographic grading in aortic or mitral regurgitation. *Am J Cardiol* **53**: 1593–1598, 1984