

血流イメージング法による  
僧帽弁逆流重症度の定量的  
評価：断層心エコー図ドッ  
プラー法による僧帽弁逆流  
率、逆流量との比較

Quantification of mitral  
regurgitation by Dop-  
pler color flow mapping:  
Comparison of mitral  
regurgitant fraction and  
volume with Doppler  
measurements

伊藤 浩  
明比 教幸  
友岡 俊夫  
酒井 範子  
東野 順彦  
藤井 謙司  
加藤 修  
南野 隆三  
北畠 顕\*  
鎌田 武信\*

Hiroshi ITO  
Noriyuki AKEHI  
Toshio TOMOOKA  
Noriko SAKAI  
Yorihiko HIGASHINO  
Kenshi FUJII  
Osamu KATO  
Takazo MINAMINO  
Akira KITABATAKE\*  
Takenobu KAMADA\*

### Summary

Color flow imaging of the regurgitant areas has been used to quantitate the severity of valvular regurgitation, however, the exact relationship between color flow areas and regurgitant volumes or fraction has not been clarified. This study was designed to determine whether measurements of jet flow areas and distances using color flow imaging are closely related to the regurgitant volume (MRV: ml/beat) and fraction (MRF: %). Doppler examinations were performed in 29 patients with mitral regurgitation (MR). The MR jet was depicted as the largest clearly definable flow disturbance on the echo images, and the maximal jet area (cm<sup>2</sup>) and length (cm) were measured. The MRV and MRF were obtained from the Doppler measurements of the transmitral flow (TMF) and the aortic flow (AF) as follows:  $MRV = TMF - AF$ ,  $MRF = MRV / TMF \times 100$ . The maximal jet area showed significant correlations with the MRV and MRF ( $r = 0.75$  and  $0.75$ ,  $p < 0.01$ ), and the maximal jet length showed even better correlations with the MRV and MRF ( $r = 0.82$  and  $0.80$ ,  $p < 0.01$ ), irrespective of

桜橋渡辺病院 循環器内科  
大阪市北区梅田 2-4-32 (〒530)  
\*大阪大学医学部 第一内科

Division of Cardiology, Sakurabashi Watanabe Hos-  
pital, Umeda 2-4-32, Kita-ku, Osaka 530

\*The First Department of Internal Medicine, Osaka  
University School of Medicine

Received for publication March 28, 1990; accepted September 29, 1990 (Ref. No. 36-44)

the etiology of MR. Thus, both the maximal jet area and length obtained from color flow imaging can be simple and useful measurement methods for predicting the MRV and MRF.

### Key words

Doppler ultrasound

Mitral regurgitation

Color flow mapping

Regurgitant fraction

## 目 的

従来, 僧帽弁逆流の重症度はパルス・ドップラー法による flow mapping, あるいはカラードップラー法によって求めた左房内の逆流ジェットの広がりから評価されていた<sup>1,2)</sup>. これらの方法は簡便であるため, 臨床上広く用いられているものの, その定量性に関しては諸家の報告に一致をみないのが現状である<sup>3-5)</sup>. 一方, 僧帽弁逆流の定量的評価法の一つに, 僧帽弁逆流率(量)を直接計測する方法がある. 断層心エコー図ドップラー法による流路断面積と血流速の計測から, 左右両心室の拍出量および経僧帽弁血流量が別個に, かつ精度良く計測し得ることが報告されており<sup>6-9)</sup>, さらにこれらの計測値を比較することにより, 僧帽弁および大動脈弁の逆流率(量)を計測し得ることも報告されている<sup>10,11)</sup>.

本研究の目的は, ドップラー法による左室(または右室)拍出量, 僧帽弁血流量の計測から, 僧帽弁逆流率および逆流量を定量化し, それをカラードップラー法により評価した僧帽弁逆流ジェットの広がりと比較することにより, 逆流ジェット信号の定量的意義を明らかにすることである.

## 対象および方法

対象はドップラー検査時, 僧帽弁逆流を認めた29例(男性19例, 女性10例, 平均年齢59歳)である. 基礎疾患は陳旧性心筋梗塞8例, 拡張型心筋症10例, 僧帽弁逸脱3例, 腱索断裂1例, 機能的逆流7例である. 僧帽弁狭窄, 大動脈弁逆流, 心房細動, 短絡性心疾患の合併例は対象から除外した. 一方, 僧帽弁逆流を認めない正常10例を control として, ドップラー法による僧帽弁および大動脈弁輪部での血流量計測の精度を検討し

た.

使用装置は断層血流イメージング装置, 東芝製SSH-65A(発振周波数2.5または3.75MHz)である. 僧帽弁逆流の重症度は, ドップラー検査時左房内における逆流ジェットの広がりから, 以下の3段階に分類した(I度: 逆流ジェットが僧帽弁輪部を越えない, II度: 大動脈弁輪部を越えない, III度: 大動脈弁輪部を越える). 僧帽弁逆流率および逆流量は, ドップラー法により計測した左室駆出血流量, および経僧帽弁血流量から求めた. まず, 経僧帽弁輪血流量の計測法を Fig. 1に示す. 傍胸骨左縁左室長軸像より拡張中期僧帽弁輪径を求め, 僧帽弁輪を円と仮定して僧帽弁輪断面積を求めた後, 経僧帽弁輪流入血流速の拡張期にわたる時間積分を乗じて求めた. 左室駆出血流量は(Fig. 1右)大動脈弁輪の収縮中期径より円と仮定して求めた大動脈弁輪面積に駆出血流速の収縮期にわたる時間積分を乗じて算出した. いずれも連続3心拍以上の平均として求めた. これらの計測より, 以下の式に従い僧帽弁逆流量および逆流率を求めた.

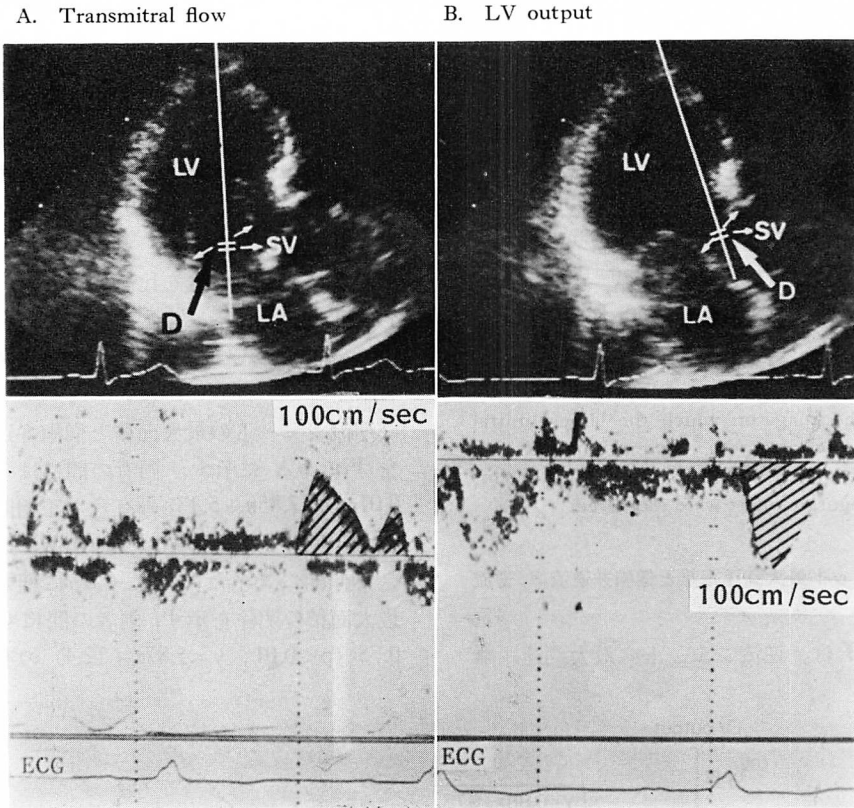
僧帽弁逆流量 [MRV (ml)] = TMF - AF

僧帽弁逆流率 [MRF (%)] = MRV / TMF × 100

TMF: transmitral flow (ml)

AF: aortic flow (ml)

一方, カラードップラー法により, 左房内の逆流ジェットの広がりより僧帽弁逆流を定量的に評価した. Fig. 2に示すごとく, 多断面のアプローチから逆流ジェットが最大に描出される断面を設定し, その断面においてジェットが最大になる時相において画像をfreezeし, 最大面積(MRA)(cm<sup>2</sup>)およびその最大到達距離(MRD)(cm)を計測した. これらの計測は, 連続3心拍以上の平均とした. これらの計測値を僧帽弁逆流率あるいは逆流



**Fig. 1. Measurements of the transmitral flow and the aortic flow by two-dimensional Doppler echocardiography.**

Left: Transmitral flow was measured as a product of the mitral annulus area and the time integral of the transmitral flow velocity during diastole. The mitral annulus area was calculated from the square of the mitral annulus diameter, assuming the mitral annulus is circular. Right: Aortic flow was measured as a product of the aortic annulus area and the time integral of the left ventricular ejection flow velocity.

量と比較しその定量性を検討した。

## 結 果

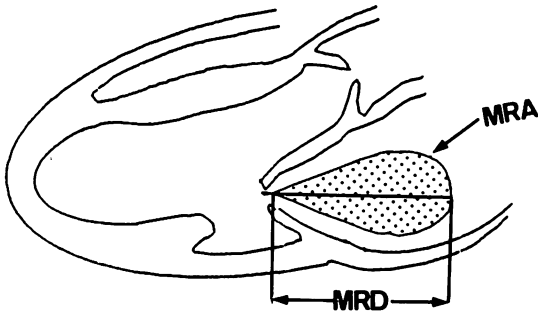
### 1. 経僧帽弁および左室駆出血流量の関係(正常例)

ドップラー法による左室拍出量および経僧帽弁血流量の計測精度を調べるため、正常例で両者を比較した (Fig. 3)。両者の間には、 $r=0.95$  ( $p<0.01$ ) と高い正相関を認め、回帰直線も、 $y=0.88x+6.75$  で、 $y=x$  の仮想直線に良く一致し、本法により両血流量を精度よく計測し得ることが示された。ちなみに正常例の計測値を基に算出した

僧帽弁逆流率は  $5\pm 3\%$  で、ほぼ 0 に近似した値を示した。

### 2. 僧帽弁逆流の重症度と逆流率の関係

Fig. 4 にカラードップラー法で評価した僧帽弁逆流の重症度と逆流率との関係を示す。僧帽弁逆流率は I 度で  $26\pm 7\%$  (mean $\pm$ SD) で、先述した正常例に比し有意に ( $p<0.01$ ) 高値であった。さらに II 度は  $38\pm 4\%$ 、III 度は  $59\pm 6\%$  ( $p<0.01$  vs I, II 度) で、逆流が重症になるにつれ僧帽弁逆流率は有意に増加した。特に III 度以上の症例は全例逆流率が 50% 以上であった。



**Fig. 2. Quantitative assessment of the mitral regurgitant jet by color flow mapping.**

From the echo image on which the largest mitral regurgitant jet is shown, the maximal mitral regurgitant area (MRA: cm<sup>2</sup>) and distance (MRD: cm) of the mitral regurgitant jet were measured.

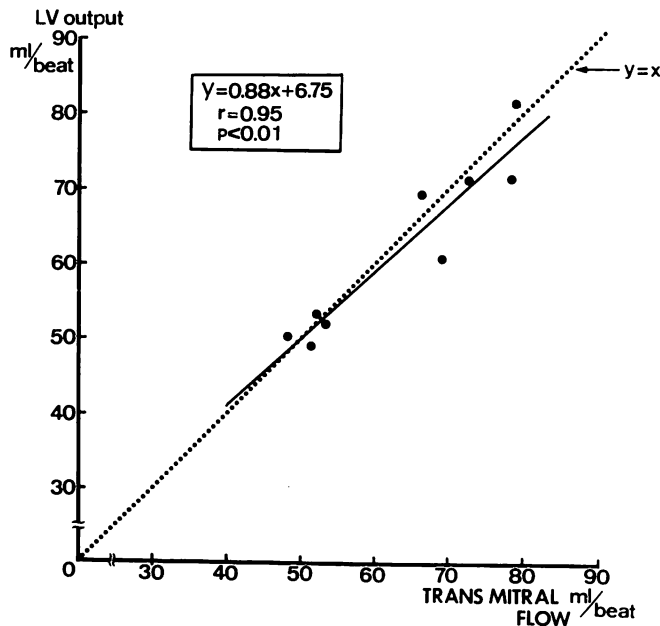
**3. 逆流ジェット最大到達距離と僧帽弁逆流率, 逆流量の関係**

Fig. 5 A, B は, 逆流ジェットの最大到達距離

と僧帽弁逆流量, 逆流率との関係を示す. 僧帽弁逆流量と到達距離の間には  $r=0.82$  ( $p<0.01$ ;  $y=1.85x-25.0$ ) と有意な正相関を認め, 到達距離は逆流量を比較的良好に反映することを示唆した. さらに, 僧帽弁逆流率と到達距離を比較すると, 両者の間にも  $r=0.80$  ( $p<0.01$ ;  $y=1.26x-6.65$ ) と有意な正相関を認めた. したがって, 到達距離は僧帽弁逆流の重症度を比較定的に反映すると考えられた.

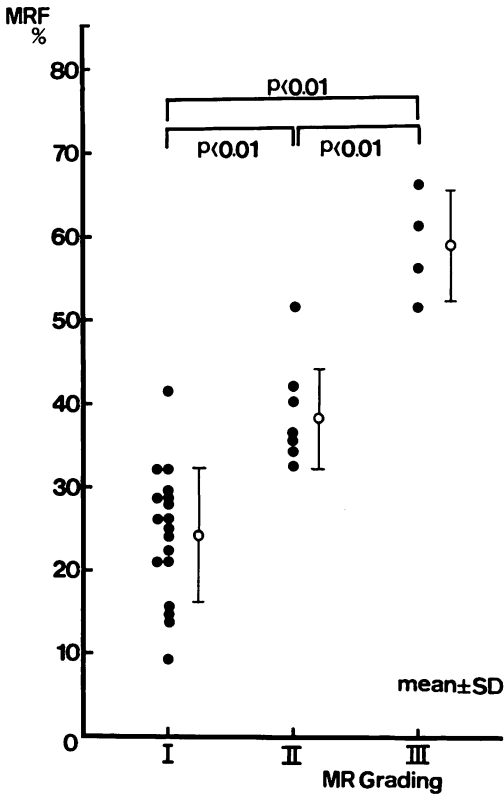
**4. 逆流ジェット最大面積と僧帽弁逆流率, 逆流量の関係**

逆流ジェットの最大面積と僧帽弁逆流量の関係を Fig. 6 A に示す. 両者の間には  $r=0.75$  ( $p<0.01$ ;  $y=7.85x+5.43$ ) の有意な正相関を認めたものの, 先述した到達距離との相関に比し分散が大きい傾向にあった. Fig. 6 B に僧帽弁逆流率と最大面積の関係を示す. 両者の間にも同様に,  $r=0.75$  ( $p<0.01$ ;  $y=5.87x+12.4$ ) の有意な正相関



**Fig. 3. Correlations of Doppler measurements of the transmitral flow and the aortic flow in normal subjects.**

Transmitral flow values correlated well with aortic flow values ( $r=0.95$ ,  $p<0.01$ ;  $y=0.88x+6.75$ ).



**Fig. 4. Relationship between Doppler measurements of the mitral regurgitant fraction (MRF) and Doppler grading of mitral regurgitation (MR).**

MRF value increased according to an increase in the severity of mitral regurgitation. In case of severe mitral regurgitation (more than III degree), MRF value was more than 50%.

を認めたものの、相関係数は先の到達距離との間のそれに比し低く分散も大きい傾向であった。

**考 按**

本研究では、カラードップラー法で評価した僧帽弁逆流シグナル分布の定量的意義を、断層心エコー図ドップラー法を用いて非侵襲的に計測した僧帽弁逆流率および逆流量と比較し検討した。その結果、僧帽弁逆流ジェットの最大到達距離および最大面積は各々逆流率(量)と有意な正相関を示

し、カラードップラー法による逆流シグナルの広がり、臨床で僧帽弁逆流の定量的指標になり得る可能性が示唆された。

従来、僧帽弁逆流の重症度は、カラードップラー法に基づく左房内僧帽弁逆流シグナルの広がりに基づいて半定量的に評価されてきた。本検討でも、半定量的な重症度評価と僧帽弁逆流率との間には有意な正相関を認め、特に III 度以上の重症例では全例 50% 以上の逆流率を呈し、逆流ジェットの広がり、有用な半定量的指標になり得ると考えられた。

近年、このような逆流シグナルの広がりよりも、さらに定量的な僧帽弁逆流の評価が可能か否かについて幾つかの報告がある。Spain らは<sup>3)</sup>、僧帽弁逆流ジェットの最大面積と、他日心臓カテーテル検査時に求めた逆流量、逆流率との間には、各々  $r=0.55, 0.62$  という粗い相関を認めるにとどまったとしているが、心臓カテーテル法により求めた逆流量(率)の精度に問題がある可能性も指摘されている<sup>12)</sup>。Haichin らは<sup>4)</sup>、逆流ジェットの最大面積とドップラー法により求めた逆流率とを各種の僧帽弁逆流で比較した結果、両者の間には有意な正相関を認めなかったとしている。それに対し、Vandenberg らは<sup>5)</sup>、対象を生体弁例に限定した検討から、逆流ジェットの広がりや逆流率には有意な正相関を認めたとしている。このように逆流シグナルの広がりから逆流量(率)を定量的に評価し得るか否かに関しては、一致した見解がないのが現状である。我々の検討では、逆流ジェットの広がりや逆流率に有意な正相関を認めたが、これは対象が陳旧性心筋梗塞および拡張型心筋症など、僧帽弁に器質的病変を有しない例が主であり、さらにその場でドップラー法により求めた逆流量(率)と比較したためと考えられる。

弁逆流量は逆流弁口面積と瞬間瞬間の圧較差により規定される。中でも逆流弁口面積の関与が大きいとされている。我々は大動脈弁逆流例を対象とした検討から、カラードップラー法により求めた逆流弁口面積と大動脈弁逆流率との間に有意な

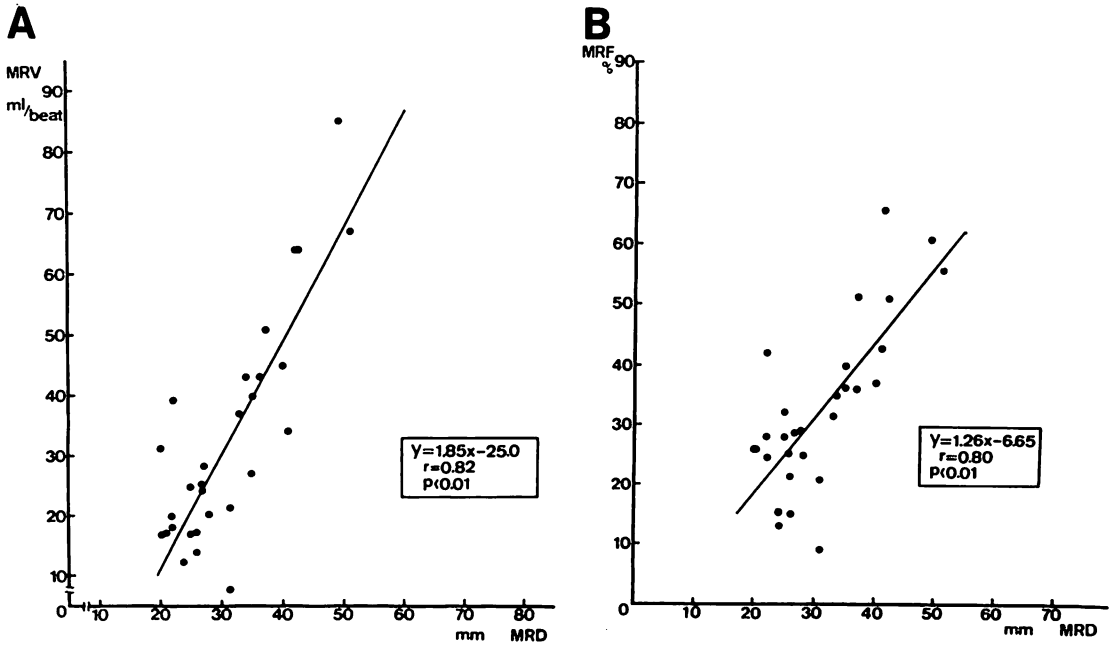


Fig. 5A, B. Correlations of the maximal distance of the mitral regurgitant jet (MRD) with the mitral regurgitant volume (MRV) and fraction (MRF).

MRD value correlated significantly with the MRV value ( $r = 0.82$ ;  $p < 0.01$ ) and MRF value ( $r = 0.80$ ;  $p < 0.01$ ).

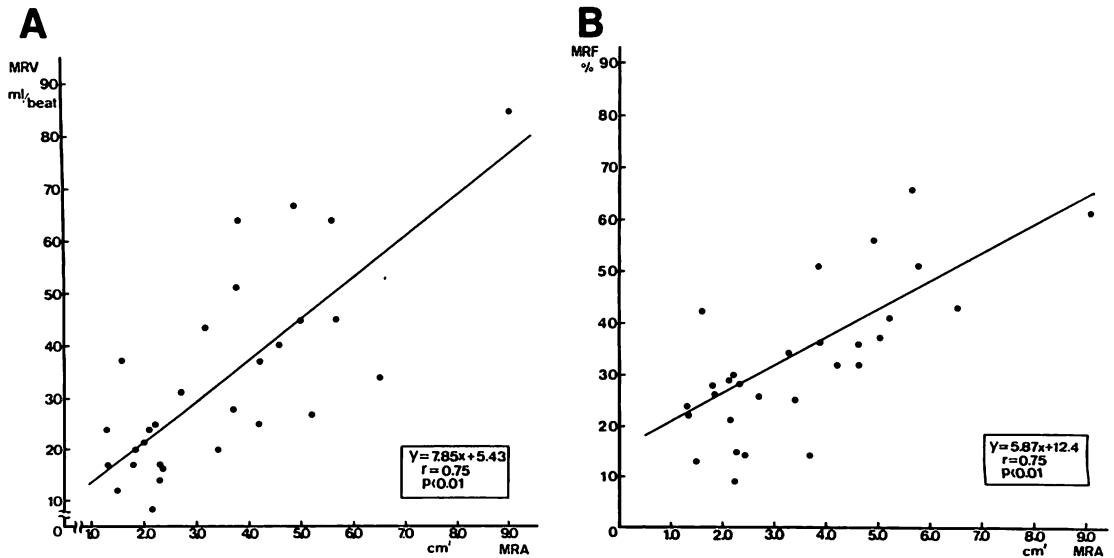


Fig. 6A, B. Correlations of the maximal area of the mitral regurgitant jet (MRA) with the mitral regurgitant volume (MRV) and fraction (MRF).

MRA value correlated significantly with the MRV value ( $r = 0.75$ ;  $p < 0.01$ ) and MRF value ( $r = 0.75$ ;  $p < 0.01$ ).

正相関を認め、弁口面積が逆流量を規定する重要な因子であることを報告している<sup>13)</sup>。しかし僧帽弁では、逆流弁口面積の計測は方法論上困難である。実際には同じ到達距離あるいは広がりであっても、逆流ジェット幅により逆流量が変わると考えられ、これが逆流率あるいは逆流量と最大到達距離あるいは最大面積との間にみられたバラツきの主たる要因であると考えられる。したがって、今後さらに基礎疾患別に、僧帽弁逆流率(率)と、逆流ジェットの広がりとの定量的関係を求める必要がある。

左室-左房間の圧較差も逆流量(率)の広がりにも影響することが実験および臨床的検討から報告されており<sup>14-16)</sup>、逆流ジェットの広がりも解釈する上で血行動態も考慮する必要がある。本検討では、対象に心不全例、低血圧症例を含んでいないが、心不全により著明に左房圧の上昇した例、また左室圧の低下した例では、逆流量(率)と逆流ジェットとの間に今回のような相関が成立しない可能性があり、今後の検討を要する。

断層心エコー図ドップラー法による経僧帽弁血流、および左室あるいは右室拍出量の計測から、精度よく僧帽弁逆流率および逆流率が算出されることは、既に Ascah らが報告している<sup>10)</sup>。彼らは経僧帽弁血流の計測に際し、平均僧帽弁口断面積とその部位の血流を用いたが、拡張期にわたる僧帽弁の動きを補正する必要があり、その計測は煩雑であった。それに対し、我々は、新たに拡張中期の僧帽弁輪径より、円と仮定して算出した僧帽弁輪断面積を用い、それと同部位の血流速度波形より経僧帽弁血流量を求める手法を開発した。これにより、既に報告したように、煩雑な補正の操作なく、簡便かつ精度よく経僧帽弁血流量を計測し得た。本研究でも、この手法の妥当性を確認するため、正常例で左室拍出量と比較した。両者はよく一致したことから、侵襲的に求めた僧帽弁逆流率との比較は行っていないものの、本法により僧帽弁逆流率は簡便かつ精度よく計測し得るものと考えられる。

**限界性:** 腱索断裂、僧帽弁穿孔などによる急性の僧帽弁逆流では、逆流量に比し左房の反応性の拡大がないため、逆流ジェットが途中で壁に当たり反転したりするため、到達距離、面積がそのまま逆流量を反映しない可能性があり、実際の逆流の重症度と不一致を生ずる場合がある。また一部の僧帽弁逸脱にみられるように、逆流ジェットが僧帽弁輪を横断するように吹くなど、特異な走行を示す場合には、限られた時間内でその最大到達距離などを求めることは困難であり、そのような場合にも僧帽弁逆流を過小評価する危険性がある。さらに、今回の検討では対象から除外したが、心房細動を合併した例では、一心拍毎に逆流量が異なるため、左房内の逆流ジェットの広がりも影響されるものと考えられ、データの解釈に注意を要する。一方、カラードップラー法に内包される問題として、機器の利得の問題がある。すなわち、利得設定を高くすると逆流シグナルの表示面積が増大し、一見逆流が増悪したようにみえるなど、逆流シグナルの広がりも機器の利得により影響されるため、個々の症例において適切な利得の設定が重要である。現在、カラードップラー法の最適利得に関しては諸家の報告に一致をみないが、本研究では、背景雑音が出現する直前の利得を採用した。

**応用:** 僧帽弁狭窄症に合併する僧帽弁逆流の重症度を定量的に評価することは、病態の把握において重要であるが、従来の断層心エコー図ドップラー法を用いて逆流率および逆流量を算出することは困難であった。これは、主に狭窄を通過する経僧帽弁血流量の計測が方法論的に困難であったことによる。しかしこのような例においても、本検討で述べたようにカラードップラー法による僧帽弁逆流ジェットの広がりも定量化することにより、ある程度その定量的評価が可能になるものと考えられる。さらに、多弁逆流症例など、断層心エコー図ドップラー法で僧帽弁逆流率(率)を定量化することが困難な症例においても、本法を適用することにより、重症度の定量的評価が可能となる。

以上の結果より, 断層心エコー図ドップラー法による経僧帽弁血流および左室拍出量の計測から, 僧帽弁逆流率および逆流量の定量的評価が可能になることが明らかとなった. さらに, それらと本法により計測した僧帽弁逆流ジェットの最大到達距離, あるいは最大面積を比較すると, 有意な正相関を認めたことから, 本法により僧帽弁逆流の定量的評価を行なうことの妥当性が示唆された. 本研究は慢性僧帽弁閉鎖不全例における検討であるが, さらに急性例および不整脈例において本法の有用性を明らかにする必要がある.

### 要 約

カラードップラー法による僧帽弁逆流 (MR) シグナル分布の定量的意義を, 断層心エコー図ドップラー法により求めた僧帽弁逆流量および逆流率 [MRV (ml), MRF (%)] と比較することにより明らかにしようとした. 対象は MR 29 症例 (陳旧性心筋梗塞 8 例, 拡張型心筋症 10 例, 機能的逆流 7 例, その他 4 例) である. 僧帽弁狭窄症, 心房細動, 短絡性心疾患の合併例は対象から除外した. 流路断面積と血流速の時間積分の積より求めた経僧帽弁血流量 (TMF) と大動脈血流量の差から MRV, MRF を TMF で補正して MRF を, 各々算出した. 一方, MR ジェットは, それが最大に描出される断面より, その最大到達距離 (MRD: cm), 最大面積 (MRA: cm<sup>2</sup>) を計測し定量化した.

MRV と MRD, MRA の間には, 各々  $r=0.82$ ,  $r=0.75$  ( $p<0.01$ ) の有意な正相関を, MRF と MRD, MRA との間にも, 各々  $r=0.80$ ,  $r=0.75$  ( $p<0.01$ ) と有意な正相関を認めた. MRD, MRA は臨床上 MR の重症度を簡便かつ定量的に反映する有用な指標になり得るものと考えられた.

### 謝 辞

本稿を終えるにあたり, データ収集, データ解析に協力していただいた阪上雄三技師に感謝致します.

### 文 献

- 1) Perry GJ, Nanda NC: Diagnosis and quantitation of valvular regurgitation by color Doppler flow mapping. *Echocardiography* 3: 493-503, 1986
- 2) Miyatake K, Izumi S, Okamoto M, Kinoshita N, Asonuma H, Nakagawa H, Yamamoto K, Takayama 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) Spain MG, Smith MD, Grayburn PA, Harlamert EA, DeMaria AN: Quantitative assessment of mitral regurgitation by Doppler color flow imaging: Angiographic and hemodynamic correlations. *J Am Coll Cardiol* 13: 585-590, 1989
- 4) Haichin RN, Zoghbi WA, Quinones MA: Assessment of mitral regurgitation severity by color Doppler echocardiography: A comparison with Doppler measurement of regurgitant fractions. *Circulation* 76 (Suppl): IV-449, 1987 (abstr)
- 5) Vandenberg BF, Dellsperger KC, Chandran KB, Kerber RE: Quantitation of bioprosthetic mitral valve regurgitation: An in vitro two-dimensional Doppler flow mapping study. *Circulation* 76 (Suppl): IV-141, 1987 (abstr)
- 6) Meijboom EJ, Valdes-Cruz LM, Horowitz S, Sahn DJ, Larson DF, Young KA, Lima CO, Goldberg SJ, Allen HD: A two-dimensional Doppler echocardiographic method for calculation of pulmonary and systemic blood flow in a canine model with variable-sized left-to-right extracardiac shunt. *Circulation* 68: 437-445, 1983
- 7) 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
- 8) Stewart WJ, Jiang L, Mich R, Pandian N, Guerrero JL, Weyman AE: Variable effects of changes in flow rate through the aortic, pulmonary and mitral valves on valve area and flow velocity: Impact on quantitative Doppler flow calculations. *J Am Coll Cardiol* 6: 653-662, 1985
- 9) Fisher DC, Sahn DJ, Friedman MJ, Larson D, Valdes-Cruz LM, Horowitz S, Goldberg SJ, Allen HD: The mitral valve orifice method for noninvasive two-dimensional echo Doppler determinations of cardiac output. *Circulation* 67: 872-877, 1983
- 10) Ascach 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
- 11) Kitabatake A, Ito H, Inoue M, Tanouchi J, Ishihara K, Morita T, Fujii K, Yoshida Y, Masuyama T, Yoshima H, Hori M, Kamada T: A new approach to noninvasive evaluation of aortic regurgitant fraction by two-dimensional Doppler echocardiography. *Circulation* **72**: 523-529, 1985
  - 12) Croft CH, Lipscomb K, Mathis K, Firth BG, Nicod P, Tilton G, Winniford MD, Hills LD: Limitations of qualitative angiographic grading in aortic or mitral regurgitation. *Am J Cardiol* **53**: 1593-1598, 1984
  - 13) 北島 顕, 伊藤 浩, 中谷 敏, 田内 潤, 石原 謙, 藤井謙司, 上松正朗, 吉田 豊, 富永なおみ, 堀 正二, 井上通敏, 鎌田武信: 大動脈弁直下短軸断面を用いたリアルタイムドップラー断層法による大動脈弁閉鎖不全の重症度評価. *J Cardiogr* **17**: 95-105, 1987
  - 14) Bertucci C, Valdes-Cruz LM, Recusani F, Bargiggia G, DePieri G, Raisaro A, Tronconi L, Sahn DJ: Color flow Doppler study of the effects of afterload on the spatial distribution of mitral regurgitant jets. *J Am Coll Cardiol* **9**: 67A, 1987
  - 15) Czer L, Maurer G, Lin SL, DeRobertis M, Resser K, Chaux A, Matloff J: Left ventricular afterload: An important determinant of mitral regurgitant jet size by color Doppler flow mapping. *Circulation* **76** (Suppl): IV-449, 1987 (abstr)
  - 16) 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