

超音波パルス・ドプラー法 による僧帽弁閉鎖不全症の 診断と重症度評価

Diagnosis and estimation of mitral regurgitation by two-dimensional pulsed Doppler echocardiography

保田 憲基*
武内 操
森田 展生
中野 赳
竹沢 英郎

Norimoto HOUDA
Misao TAKEUCHI
Nobuo MORITA
Takeshi NAKANO
Hideo TAKEZAWA

Summary

The sensitivity and specificity of detecting and estimating mitral regurgitation were assessed by two-dimensional pulsed Doppler echocardiography (PDE) for 85 patients, aged 17 to 79 years. Mitral regurgitation was clinically diagnosed in 10 patients, and confirmed by angiography in 60 patients. Using real time two-dimensional images and M-mode displays, the sample volumes were taken at 36 sites, including the mitral ostium, the left atrium, and the left ventricular inflow tract. Doppler signals were analyzed by the FFT method and the diagnosis of mitral regurgitation was based on the systolic turbulence with a wide range of velocities greater than ± 1 KHz. The results obtained were as follows:

1. In 61 of 70 cases with mitral regurgitation, distinctly abnormal systolic Doppler signals were detected at the mitral ostium or within the left atrium, which were not recorded in the other 15 cases without angiocardiographically documented mitral regurgitation. The signals had either unidirectional or bidirectional wide frequency-band patterns, which were thought to indicate the systolic turbulence caused by mitral regurgitation, because these were occasionally recorded beyond the second heart sound, and increased with the administration of methoxamine and diminished after the inhalation of amyl nitrite.

2. When mitral regurgitation was graded I°, II°, III° and IV° based on Sellers' classification, a PDE sensitivity for detecting mitral regurgitation was 78.1, 89.5, 100 and 100%, respectively. When approaches were divided by the parasternal long-axis, parasternal short-axis and apical long-axis, PDE sensitivity was 80.0, 74.2, and 70.0%, respectively.

3. The PDE was highly sensitive in diagnosing mitral regurgitation due to rheumatic valvular disease, mitral valve prolapse or ruptured chordae tendineae (sensitivity 100%), but it was less sensitive in ischemic heart disease, dilated cardiomyopathy or hypertrophic cardiomyopathy.

4. Nine cases in which mitral regurgitation was missed by PDE, mitral regurgitation was mild (seven cases: Sellers I°, two cases: Sellers II°). No false positives were found. The overall sensitivity

三重大学医学部 第一内科

津市江戸橋 2-174 (〒514)

*(現)尾鷲総合病院 内科

尾鷲市上野町 5-25 (〒519-36)

The First Department of Internal Medicine, Mie

University School of Medicine, Edobashi 2-174,

Tsu 514

Received for publication August 1, 1984; accepted September 9, 1984 (Ref. No. 26-45)

of the PDE was 87.1%, with a specificity of 100%, a diagnostic accuracy of 89.4%, and a predictive value of 100%.

5. By displaying the distribution of systolic turbulence on parasternal or apical long-axis images (flow mapping), the direction and the extent of the regurgitant flow in the left atrium were clearly visualized. The localization of the regurgitant flow at the mitral ostium was visualized in parasternal short-axis images by the flow mapping method.

6. Mitral regurgitation was judged semi-quantitatively by PDE as 1+, 2+, 3+ and 4+, according to the area of distribution of systolic turbulence in the parasternal or apical long-axis images. In Sellers III° or IV° mitral regurgitation, a significant correlation was noted between the PDE and angiographic assessment of the severity of mitral regurgitation. However, in patients with decreased left ventricular function mitral regurgitation was occasionally misdiagnosed or underestimated using PDE.

7. At the left ventricular inflow tract obtained from the apical long-axis approach, a "systolic flow" away from the transducer was often detected, especially in severe mitral regurgitation. It was thought to reflect the regurgitant flow from the left ventricle to the left atrium. The incidence of this flow was 5.0% for Sellers I°, 8.3% for II°, and 100% for III° or IV°.

8. Patients with the maximum velocity of the systolic flow in mid-systole had mitral regurgitation due to various etiological entities, and about half of those with the maximum velocity in late systole had ruptured chordae tendineae associated with severe mitral regurgitation. Further precise study is necessary to analyze the relationship between the timing of the maximum velocity and the etiology or the grade of mitral regurgitation.

Key words

Mitral regurgitation

Pulsed Doppler echocardiography

Flow mapping

はじめに

僧帽弁閉鎖不全の存在は、従来左室造影法により確定診断が下されていたが、近年超音波パルス・ドプラー法の出現により、非観血的に僧帽弁逆流の検出が可能となりつつある¹⁻⁴⁾。僧帽弁閉鎖不全に対する本法の有用性に関して、多くの臨床応用が報告されているが、次に述べる2, 3の問題点が挙げられる。その第一は、僧帽弁逆流は unidirectional あるいは bidirectional flow として表示されるが、この相違が超音波ビーム方向による違いか、病因による違いかが明らかでないことである。第二に、僧帽弁逆流を検出するための超音波ビーム方向が報告者により異なっており、このため sensitivity に相違が生じている可能性があること、第三に、本法によって僧帽弁閉鎖不全の重症度を評価する方法がいまだ確立されていないことである。

本研究は、超音波パルス・ドプラー法と断層心

エコー図法の複合装置を使用し、parasternal および apical approach により、僧帽弁口、左房腔、左室流入路の計36点で血流計測を行い、僧帽弁逆流の flow pattern を分析するとともに、flow mapping から乱流ジェットの局在と方向を検索し、逆流の及ぶ範囲により重症度評価を試み、本法の sensitivity, specificity, さらに左室造影所見との比較について検討したので報告する。

対 象

対象は1981年6月から1983年3月までの間に、心疾患のため三重大学第一内科で入院精査を受けた85例で、男63例、女22例、平均年齢44.8歳(17~79歳)である。その内訳は Table 1 に示すごとく、左室造影により僧帽弁閉鎖不全の有無が確認された75例、左室造影未施行であるが臨床的に僧帽弁閉鎖不全の存在が明らかな10例である。大動脈弁または三尖弁病変の合併は11例にみられ、本研究後5例に対して僧帽弁置換術あ

Table 1. Patient selection

Etiology of mitral regurgitation (MR)	LVG (+)					LVG (-)	Total
	MR (-)	MR I°	MR II°	MR III°	MR IV°	MR (+)	
Ischemic heart disease	13	13	5	1		1	33
Rheumatic valvular disease		6	4		1	4	15
Dilated cardiomyopathy		6	3	1		1	11
Mitral valve prolapse	2		5	1		2	10
Hypertrophic cardiomyopathy		5	1			1	7
Ruptured chordae tendineae				3	1		4
After mitral valve surgery		1	1			1	3
Infective endocarditis		1					1
Marfan syndrome					1		1
Total	15	32	19	6	3	10	85

Abbreviations: LVG=left ventriculography; MR=mitral regurgitation.

The severity of mitral regurgitation is judged angiographically based on Sellers' classification (grade I°, II°, III°, and IV°).

るいは僧帽弁形成術が施行された。

方 法

使用装置は超音波パルス・ドプラー血流計と電子セクタ走査型超音波断層装置を組み合わせた、東芝製 SSH-11A / SDS-10A もしくは SSH-40A / SDS-21A である。パルス・ドプラー血流計の搬送周波数は 2.4 MHz、繰り返し周波数は 4.0 KHz または 6.0 KHz のいずれかを用いた。測定可能な最大ドプラー周波数および視野深度は、前者の場合 ± 2.0 KHz, 0~16 cm, 後者の場合 ± 3.0 KHz, 0~10 cm である。サンプルボリウム大きさは深さ方向で 2 mm または 3 mm を選択し、ドプラーフィルターは ± 100 Hz あるいは ± 200 Hz の high pass filter を使用した。ドプラー信号はリアルタイム高速フーリエ変換で周波数分析され、サウンドスペクトログラムによって探触子に近づく血流は基線より上に、遠ざかる血流は基線より下に表示される。この信号を Honeywell 製 line scan recorder により、心電図、心音図、M-mode 心エコー図と同時に紙送り速度 50 mm/秒 で記録した。

検査にさいしては、被検者を 30~45° の左側臥

位とし、心断層図上でビーム方向を二次元的に把握し、M-mode でサンプリング部位をモニターしつつ、軽度呼気時に血流測定を行った。すなわち、左第3または第4肋間から得られる parasternal long-axis view, parasternal short-axis view, さらに心尖部から得られる apical long-axis view (LAO equivalent view) の3断面において、僧帽弁口、左心房、左室流入路を含む36点をサンプリング部位とした (Fig. 1)。

Parasternal long-axis view は、僧帽弁口部を1、前尖付着部を3、その中点を2、左房前壁を3等分し4、5、6を定め、後尖付着部を13、3と13の中点を8、1と8の中点を7、1と13の中点を12とした。左房中央部、左房後壁を各々3等分し、9、10、11、14、15、16を定めた。parasternal short-axis view では parasternal long-axis view とほぼ直交する僧帽弁口レベルで、前交連側を1、弁口中央部を2、後交連側を3とした。apical long-axis view では、parasternal long-axis view の16点の他に、僧帽弁直下の左室流入路17を追加した。僧帽弁逆流を示す有意の異常ドプラー信号は収縮期に出現する unidirectional または bidirectional flow で、 ± 1 KHz を越える広周波数帯域

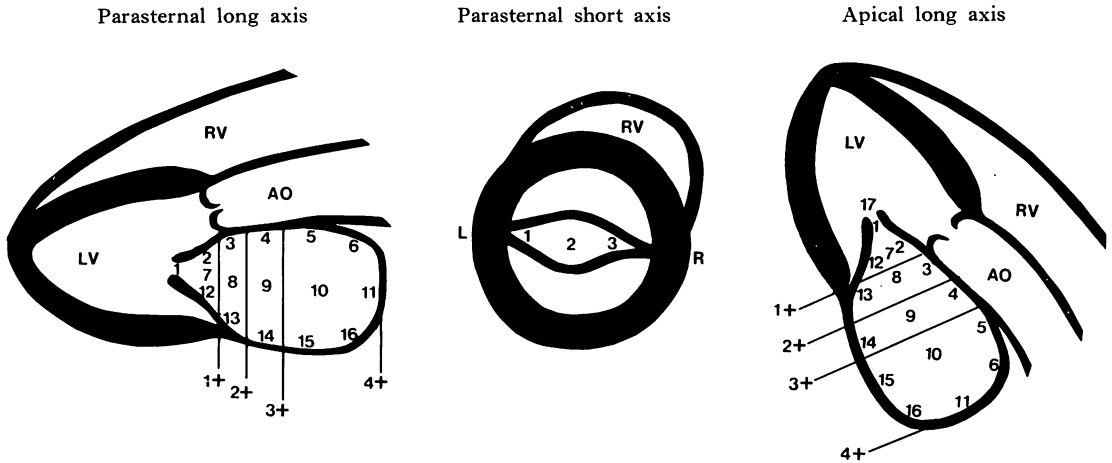


Fig. 1. Flow mapping of abnormal Doppler signals and estimation of the degree of mitral regurgitation by pulsed Doppler echocardiography.

The severity of mitral regurgitation is classified in four grades according to the extent of the regurgitant flow in the left atrium. The distribution of the regurgitant flow is investigated by two-dimensional pulsed Doppler echocardiography at the 36 sampling sites including the parasternal long-axis (left), parasternal short-axis (middle) and apical long-axis (right) views.

Abbreviations: RV=right ventricle; LV=left ventricle; AO=aorta.

の乱流と定義した。各サンプリング部位における僧帽弁逆流の有無を Fig. 1 に示す心断層図上に (+), (-) で表示し, 北畠らの方法⁵⁾ に準じて flow mapping を行った。

左心カテーテル検査は大動脈よりセルジンガー法に基づいて行い, ピッグテールカテーテルにて左室内圧を測定後, RAO 30°, LAO 45° の左室造影を施行した。左室駆出率は, single plane の area-length method で計算し, 僧帽弁逆流の重症度は Sellers らの分類⁶⁾ を用いた。

結 果

1. 僧帽弁逆流の flow pattern

超音波パルス・ドプラー法により僧帽弁口および左房内において, 収縮期に unidirectional あるいは bidirectional flow の異常ドプラー信号が僧帽弁閉鎖不全例に検出された。Fig. 2 に示すごとく, 同一症例でも左房内のサンプリング部位やビーム方向により異なる flow pattern がしばしば記録された。この異常信号は, 僧帽弁閉鎖後収縮

期に出現し, 時に第2音を越え, 左室造影で僧帽弁逆流が証明されない15例には全例存在しないことなどから, 左心房の僧帽弁逆流を反映する血流と解釈された。多くの場合, ± 1 KHz を凌駕する広周波数帯域性であったが, 僧帽弁閉鎖不全の軽い乳頭筋不全例や, 逆流が僧帽弁口部に局限している症例では ± 1 KHz 前後にとどまった。逆流信号は, 収縮前, 中, 後期, 全収縮期など, すべての収縮期時相に検出された。

超音波ビーム方向と flow pattern との関係についてみると (Fig. 3), 特に一定の相関は存在しなかったが, いずれのアプローチでも bidirectional flow の出現頻度が高く, unidirectional flow の出現頻度は低い傾向にあった。基礎疾患と flow pattern との関係については Fig. 4 に示したが, 病因による flow pattern の特異性はみられなかった。また僧帽弁閉鎖不全の重症度による flow pattern の相違も認められなかった。

2. 超音波パルス・ドプラー法の sensitivity および specificity

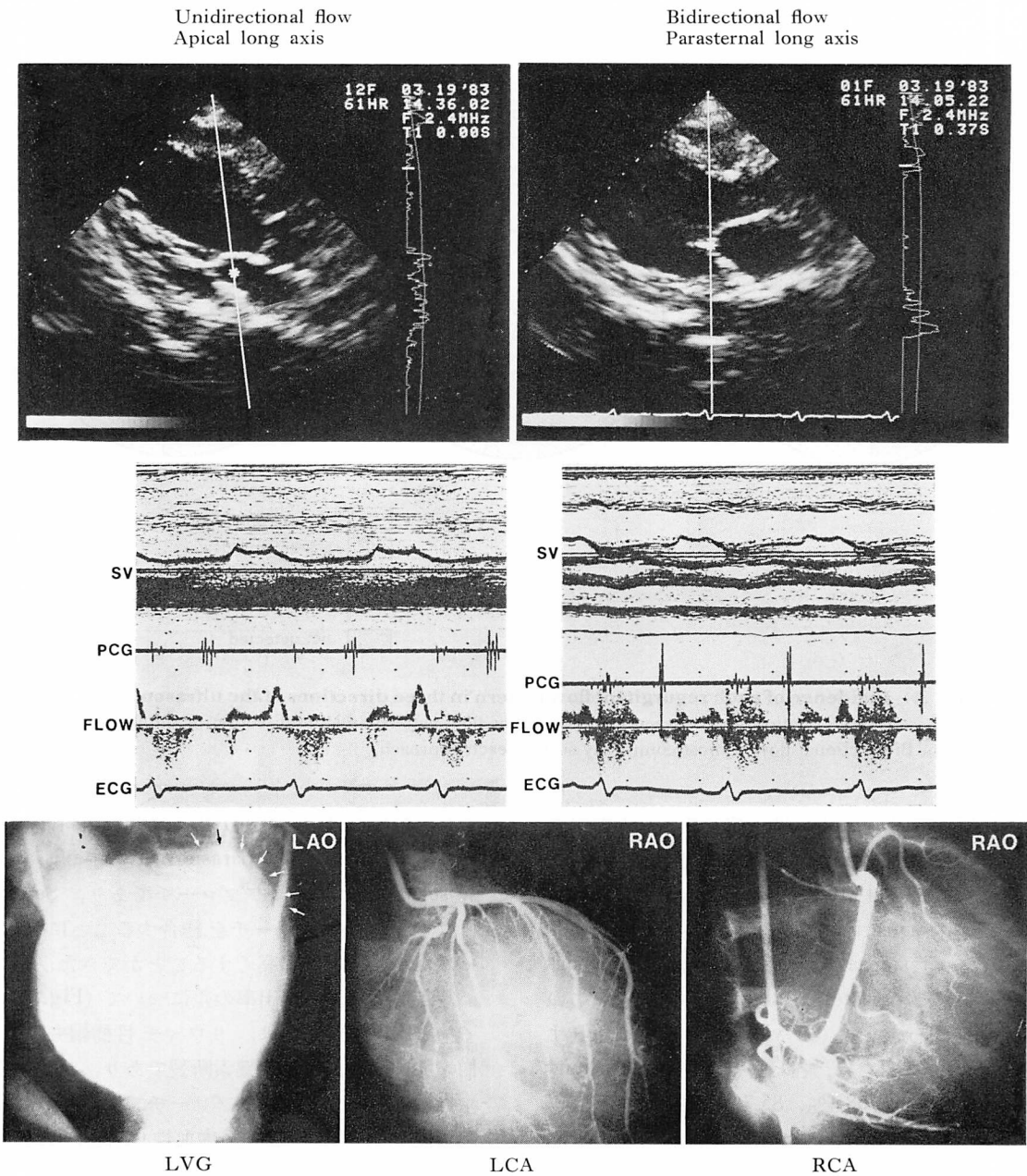


Fig. 2. Mitral regurgitant flow in a patient with dilated cardiomyopathy.

Upper left: The white line indicates the direction of the ultrasonic beam on the apical long-axis image, and the white asterisk represents the position of sample volume.

Middle left: Unidirectional turbulent flow in early systole in the left atrium.

Upper right: The direction of the ultrasonic beam and the sampling site on the parasternal long-axis image.

Middle right: Bidirectional turbulent flow in early systole at the mitral ostium.

Bottom: Left ventriculograms (LVG) show ventricular dilatation and mitral regurgitation of Sellers II°. Arrows indicate the extent of regurgitant jet in the left atrium. No abnormality is observed in the left coronary artery (LCA) or the right coronary artery (RCA) by coronary arteriograms.

Abbreviations. SV=sample volume; PCG=phonocardiogram; Flow=pulsed Doppler flow velocity pattern; ECG=electrocardiogram.

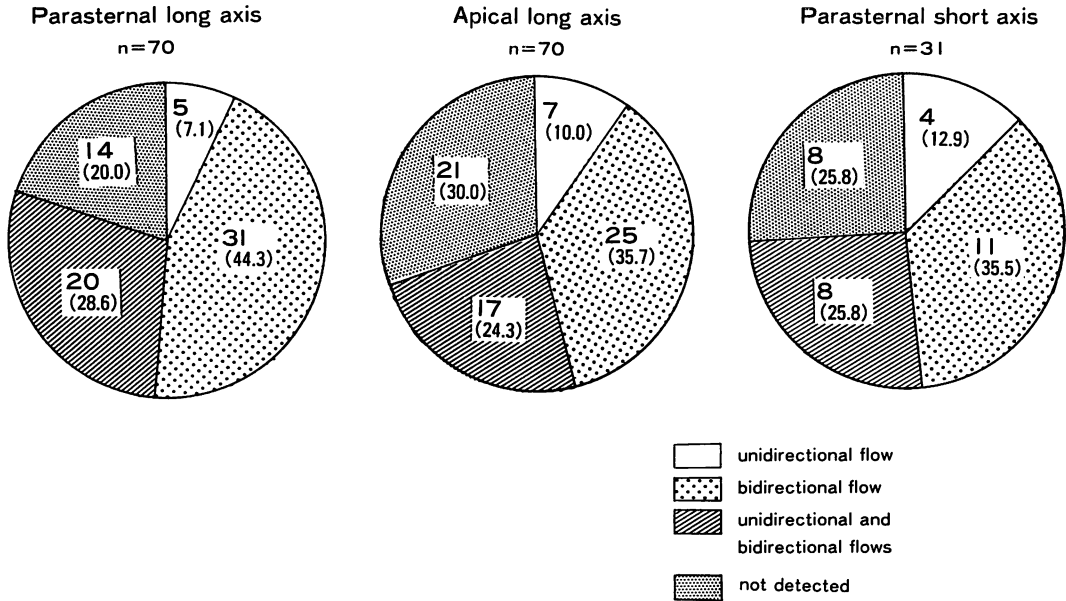


Fig. 3. Incidence of each regurgitant flow pattern in three directions of the ultrasonic beam.
 There is little relationship between the regurgitant flow pattern and the direction of the ultrasonic beam. Bidirectional flow is most commonly seen in each approach.

僧帽弁閉鎖不全の重症度，超音波ビーム方向の違いによる本法での僧帽弁逆流検出率：

Fig. 5 に要約したごとく，左室造影所見による重症度別に sensitivity を検討した結果，Sellers I° の場合，parasternal long-axis 68.8%，apical long-axis 56.3%，parasternal short-axis 53.3%，この3方向を合わせると (all views) 78.1% に上昇する。Sellers II° では，各ビーム方向の sensitivity は各々 89.4%，68.4%，85.7%，89.5% であり，Sellers III° では parasternal long-axis 83.3%，apical long-axis，parasternal short-axis，all views のいずれも 100% であった。Sellers IV° ではどの方向でも sensitivity は 100% で，左室造影未施行例も含めて 70 例全体としてみると，parasternal long-axis 80.0%，apical long-axis 70.0%，parasternal short-axis 74.2%，all views 87.1% であった。すなわち，Sellers III° 以上の重症僧帽弁閉鎖不全ではほぼ全例で僧帽弁逆流を検出でき

るが，軽症例ほど sensitivity は低い傾向にあった。またビーム方向は parasternal long-axis が最も sensitivity の高いアプローチであり，Sellers I° では三つのアプローチを総合することにより，sensitivity をさらに高くすることができた。

基礎疾患による検出率の差について (**Fig. 6**): 検出率の高い疾患は，リウマチ性僧帽弁膜症，僧帽弁逸脱症，僧帽弁腱索断裂であり，ことに僧帽弁腱索断裂ではどのアプローチでも 100% 検出可能であった。逆に，虚血性心疾患，拡張型心筋症，肥大型心筋症などでは sensitivity が低く，上述の3方向を合わせた sensitivity は各々 75.0%，90.9%，71.4% であった。

False negative 例は 9 例存在し，Sellers I° が 7 例 (虚血性心疾患 5 例，拡張型心筋症 1 例，肥大型非閉塞性心筋症 1 例)，Sellers II° が 2 例 (肥大型閉塞性心筋症 1 例，僧帽弁置換術後 1 例) を占めた。前者の 7 例中 3 例は左室駆出率が 0.4 以下

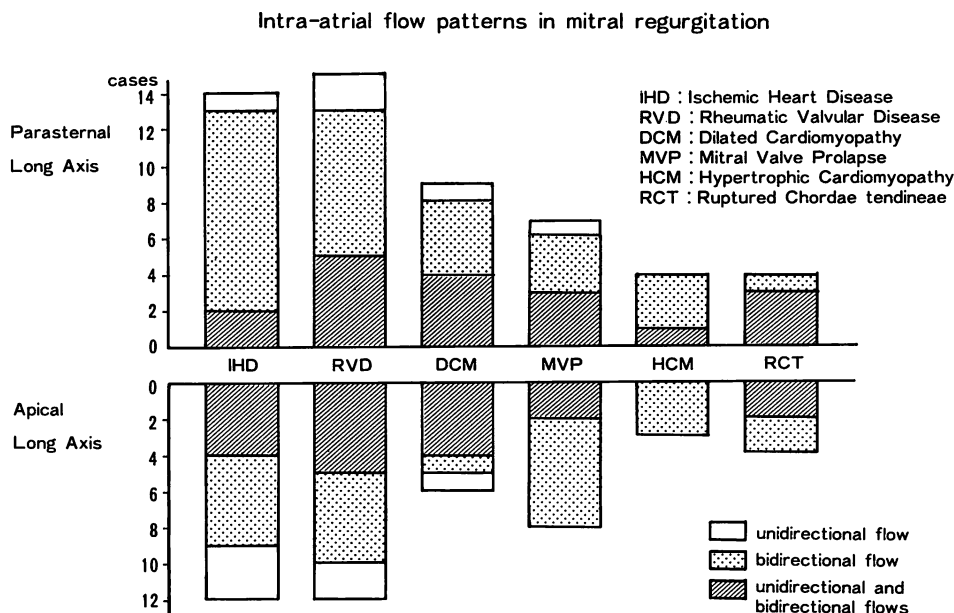


Fig. 4. Relationship between three regurgitant flow patterns and etiology of mitral regurgitation.

Both unidirectional and bidirectional flows are recorded in patients with various etiologies of mitral regurgitation.

であり、後者の2例は良好な心断層図が得られない症例であった。85症例中、true positive 61例、true negative 15例、false positive 0例、false negative 9例であるため、全体としては sensitivity 87.1%, specificity 100%, accuracy 89.4%, predictive value は positive 100%, negative 62.5% で、Quinones らの成績¹³⁾とほぼ同様であった。

3. flow mapping による僧帽弁逆流方向、部位の認識

Parasternal long-axis view の左房内 flow mapping について：

Fig. 7 に Sellers II° の僧帽弁前尖逸脱例を呈示する。左房内のサンプリング部位16点に、逆流の有無を(+)、(-)で表示すると、逆流ジェットは僧帽弁口から後尖および左房後壁方向に拡がっているのが把握される。この所見は、左室造影

第2斜位でみられる逆流ジェットの方向(図中では細い矢印で示す)と一致している。下段は parasternal long-axis view で得られる僧帽弁口ドプラー信号で、収縮後期にピークを有する bidirectional flow が記録されている。

このように、僧帽弁前尖の逸脱、前尖の腱索断裂では、逆流が左房後壁方向に向かうのに対し、僧帽弁後尖の逸脱や腱索断裂では、逆流が左房前壁方向に向かうのが観察された。その他の基礎疾患においては、逆流方向に特異性はみられなかった。

Parasternal short-axis view により得られる僧帽弁口部の flow mapping について：

Fig. 8 に細菌性心内膜炎による大動脈弁閉鎖不全兼僧帽弁閉鎖不全の1例を示す。断層心エコー図では僧帽弁前尖のやや後交連寄りに疣贅が付着している。僧帽弁口のサンプリング部位 A か

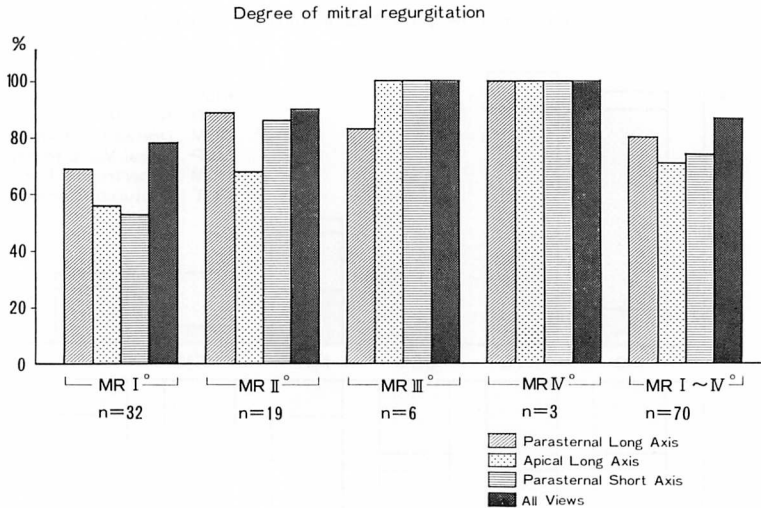


Fig. 5. Sensitivity in detecting mitral regurgitation by pulsed Doppler echocardiography in mitral regurgitation.

When mitral regurgitation is divided for I°, II°, III° and IV° based on Sellers' classification, the sensitivity of pulsed Doppler echocardiography is 78.1%, 89.5%, 100%, and 100%, respectively. When the methods of approach are categorized as the parasternal long-axis view, apical long-axis view and parasternal short-axis view based on the direction of the ultrasonic beam, each sensitivity is 80.0%, 70.0% and 74.2%, respectively. The overall sensitivity in detecting mitral regurgitation is 87.1%.

ら F に逆流の有無をプロットすると、逆流は弁口中央部から後交連側に広く分布しているのがわかる。僧帽弁逆流の局在部位は、本例のように弁口の広範囲に及ぶ場合、前交連側に限局する場合、後交連側に限局する場合など症例により種々であった。僧帽弁逸脱、僧帽弁腱索断裂では、病変の存在する交連側に逆流が検出され、虚血性心疾患による乳頭筋不全例では、責任冠動脈の支配する乳頭筋側に逆流が検出された。しかし、高齢者や虚血性心疾患例では sigmoid septum を有することが多く、完全な僧帽弁口横断面を得にくいこと、心運動とともに僧帽弁口も移動するため、サンプリング部位を固定することが困難であることから、parasternal short-axis view による血流計測は他のアプローチに比し技術的に困難であった。

Apical long-axis view における左房内 flow mapping は、parasternal long-axis view とほぼ

同じ断面の血流計測に相当する。このアプローチは、parasternal long-axis view で検出できない逆流方向、つまり僧帽弁口横断面と直交するような血流を有する症例では有用であった。この断面はサンプリング部位が胸壁から遠くなるため、左室拡大例や巨大左房例では、繰り返し周波数が 2.0 KHz のパルスをしばしば使用せざるを得なかった。

4. Flow mapping による僧帽弁閉鎖不全の重症度評価

超音波パルス・ドプラー法による僧帽弁閉鎖不全の重症度を、Fig. 1 に示すごとく、僧帽弁逆流の信号が左房のどこまで到達するかによって、(1+) から (4+) まで 4 段階に分類した。これには、parasternal long-axis view と apical long-axis view を用い、同一症例でこの 2 断面において逆流の出現に差がある場合は、より重症の方を採用した。本法と左室造影法との比較を Fig. 9

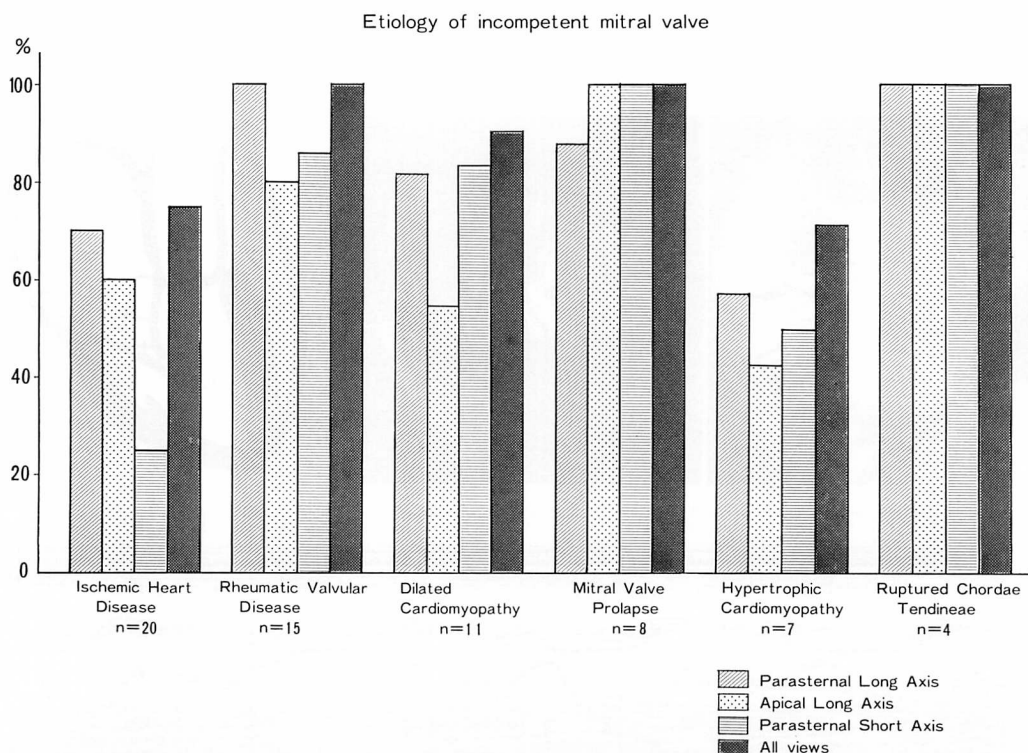


Fig. 6. Sensitivity in detecting mitral regurgitation by pulsed Doppler echocardiography for incompetent mitral valve.

The regurgitant jet in rheumatic valvular disease, mitral valve prolapse and ruptured chordae tendineae is easily documented by pulsed Doppler echocardiography. However, the presence of mitral regurgitation due to ischemic heart disease, dilated cardiomyopathy or hypertrophic cardiomyopathy is sometimes overlooked (each sensitivity is 75.0%, 90.9% and 71.4%, respectively).

に図示した。

左室造影法では Sellers I° の僧帽弁閉鎖不全でありながら、ドプラー法で (3+), (4+) と overestimate した症例は 4 例存在し、うち 2 例は検査直前に胸痛発作があり、一時的に逆流が増強したと思われる狭心症患者であった。また残りの 2 例は、肥大型閉塞性心筋症の患者であった。一方、Sellers II° の症例をドプラー法で (1+) と underestimate した 8 例中 4 例、および Sellers III° の症例を (2+) と判断した虚血性心疾患の 1 例は、いずれも左室駆出率が 0.4 以下の左室機能低下例であった。

5. 左室流入路における flow pattern の検討

Apical long-axis view において、僧帽弁直下の左室流入路 (サンプリング部位 17) で血流計測を行い、その実例を Fig. 10 に示す。

Sellers I° の陳旧性心筋梗塞例では、収縮期に有意の血流が捕捉されていない。Sellers II° の僧帽弁逸脱例では、mid-systole に peak を有するほぼ層流の探触子より遠ざかる収縮期の血流が記録されている。Sellers III° の僧帽弁腱索断裂例では、late systole に peak を有する、さらに速い収縮期の血流が認められる。

Apical long-axis view により検出される、左室

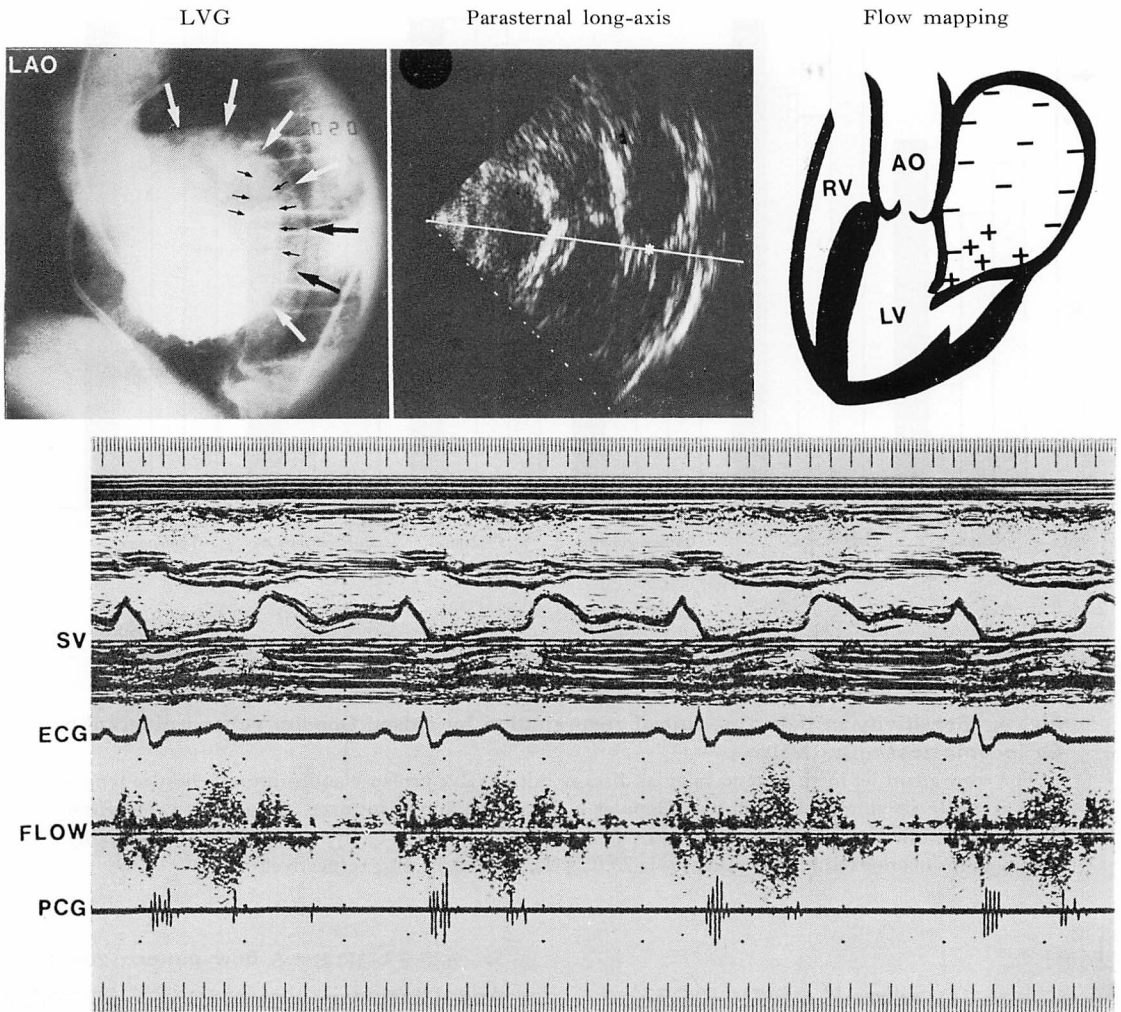


Fig. 7. Flow mapping of mitral regurgitation on the parasternal long-axis view.

Upper left: Left ventriculogram (LVG) demonstrates mitral regurgitation of Sellers II° in a patient with anterior mitral leaflet prolapse.

Upper middle: The projection of the ultrasonic beam (white line), and the sampling site (white asterisk) on the parasternal long-axis image.

Bottom: A bidirectional flow with wide spectrum is recorded in late systole at the above sampling site (mitral ostium).

Upper right: Mapping the area of turbulent flow, represented by symbols (+) shows the extent of the regurgitant flow directed toward the posterior region of the left atrium.

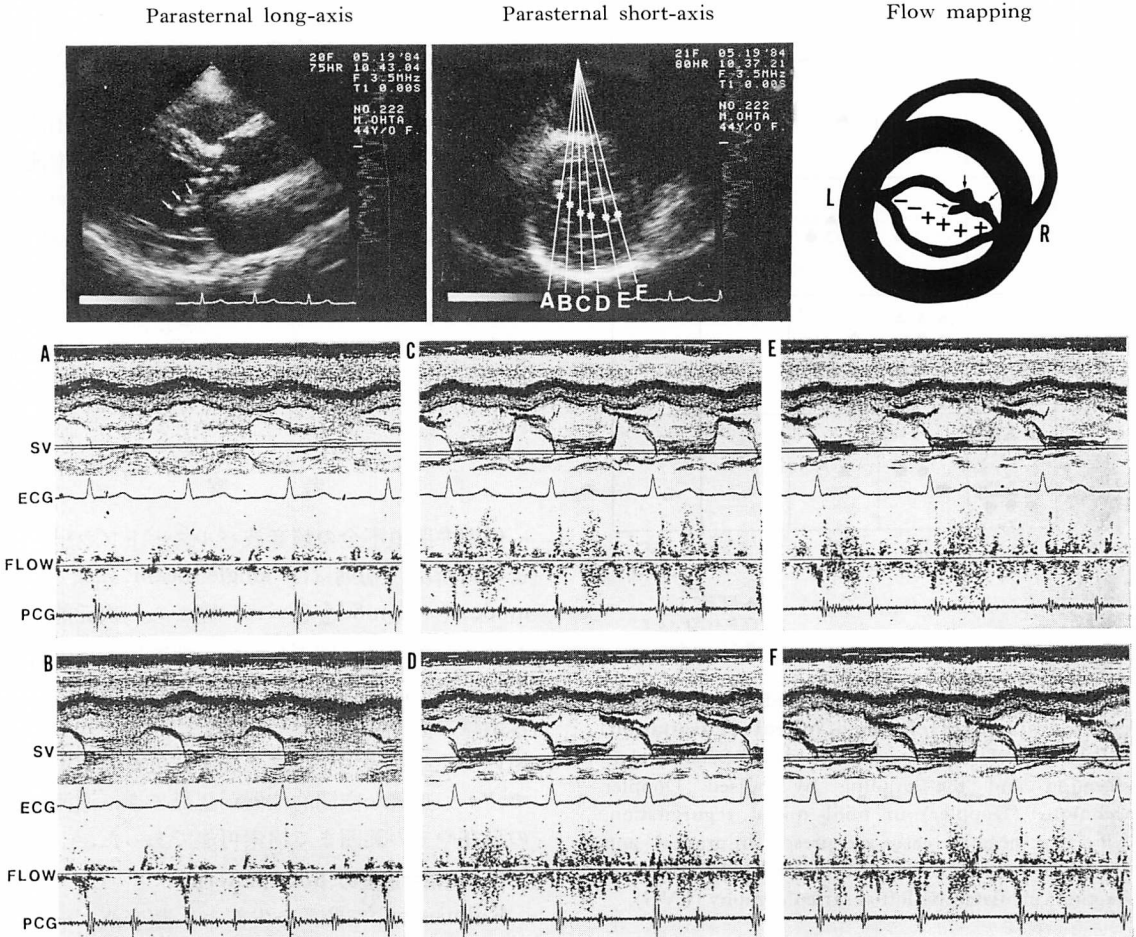


Fig. 8. Flow mapping of mitral regurgitation on the parasternal short-axis view.

This patient has aortic regurgitation and mitral regurgitation due to subacute bacterial endocarditis.

Upper left: Large vegetations (white arrows) are present at the right coronary cusp, noncoronary cusp and anterior mitral leaflet.

Upper middle: The projections of the ultrasonic beam (A-F) and sampling sites (white stars) on the parasternal short-axis image. A: anterolateral commissure side, D: central portion of the ostium, F: posteromedial commissure side. Panel A, B: Few signals are recorded in systole at the sampling site A or B. Panel C, D, E and F: Bidirectional turbulent flows are detected at the sampling sites C, D, E and F.

Flow mapping on the mitral ostium: The localization of the regurgitant flow is revealed except on the anterolateral commissure side. Black arrows indicate the vegetations on the anterior mitral leaflet.

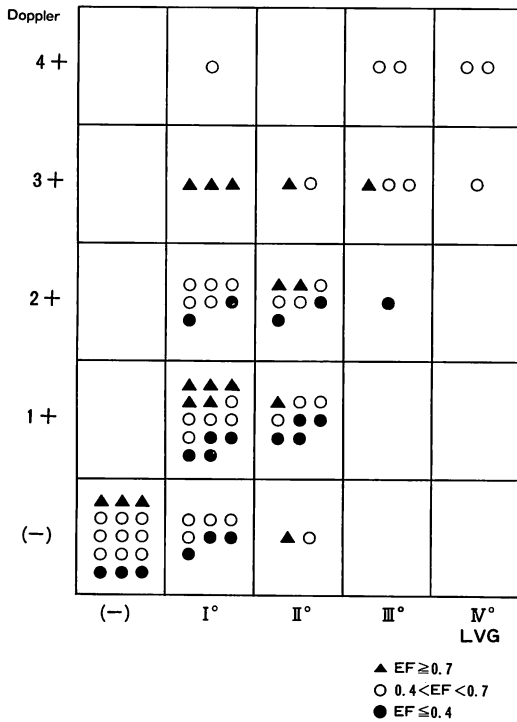


Fig. 9. Angiographic and pulsed Doppler echocardiographic correlation of mitral regurgitation.

Poor correlation is noted between Sellers' classification and the grading by pulsed Doppler technique (Doppler) in mild mitral regurgitation. Nine false negative cases are present in grade I° and II° mitral regurgitation. Abbreviations: EF=ejection fraction calculated by left ventriculography (LVG).

流入路の flow pattern を Fig. 11 に要約した。探触子から遠ざかる systolic flow は、左室造影で僧帽弁閉鎖不全が証明されない 15 例中全例に出現せず、Sellers I° ないし IV° の 41 例中 11 例 (26.8%) に出現した。この flow の最大流速が mid-systole に存在する 5 例 (Sellers II° 1 例, III° 4 例) の内訳は、僧帽弁逸脱 2 例、虚血性心疾患、拡張型心筋症、僧帽弁腱索断裂各 1 例であった。また、late systole に存在する 6 例 (Sellers I° 1 例, III° 2 例, IV° 3 例) の内訳は、僧帽弁腱索断裂 3 例、虚血性心疾患、リウマチ性僧帽弁膜

症、Marfan 症候群各 1 例であった。なお、逆流による systolic flow がみられた Sellers I° の症例は、狭心症発作直後乳頭筋不全による僧帽弁閉鎖不全が増強し、超音波パルスドプラー法では重症度 (4+) と診断した症例であった。

この逆流性の systolic flow は、左室流出路の駆出血流を捕捉した可能性があるため、左室流出路が描出されない apical four-chamber view の左室流入路における血流を検討した。この結果、apical long-axis view でみられるのと同様な flow が僧帽弁閉鎖不全例に限って記録され、しばしば第 2 音大動脈成分を越えることから、この異常血流は左室から左房への逆流を捉えたものと結論された。

考 察

僧帽弁閉鎖不全の超音波パルス・ドプラー法による診断は、初期には single beam による A-mode や M-mode 心エコー図から一次的にサンプリング部位を同定しつつ、逆流信号を分析していたため、逆流部位を二次元的に把握することは困難であった⁷⁻¹⁶⁾。今回の研究では B-mode を用いているため、サンプリング部位の設定が容易で、かつ正確な空間的位置が認識でき、逆流部位の局在やその範囲まで検索可能であった。

1. 僧帽弁逆流の flow pattern

Kalmanson ら⁹⁾は心尖部より超音波ビームを投入し、A-mode と M-mode でモニターしつつ僧帽弁輪近辺の種々な部位でサンプリングすると、unidirectional negative systolic wave がみられると報告している。彼らは zero-crossing detector を用いているため、方向指示はできるが、forward flow と reversal flow との和として表示されるため、unidirectional flow として表現されたものと考えられる。一方、A-mode、M-mode でサンプリング部位を設定し、time interval histogram を用いて周波数分析を行った場合^{8,10,12,13,15,16)}や、B-mode でサンプリング部位を決定し、高速フーリエ変換^{5,17-21)}、もしくは time

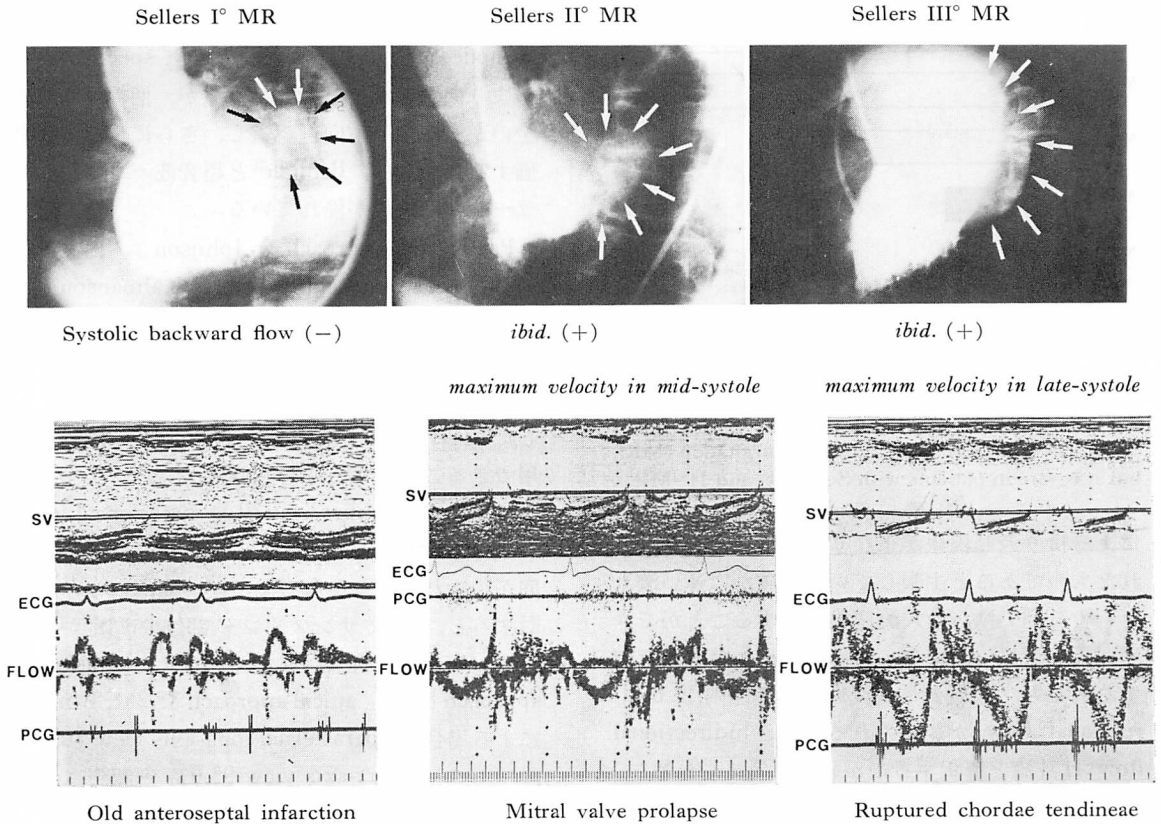


Fig. 10. Systolic flow away from the transducer in the left ventricular inflow tract recorded from the apical long-axis view.

Upper left: Left ventriculogram (LVG) shows Sellers I° mitral regurgitation (MR) in a patient with old anteroseptal myocardial infarction. Arrows indicate the extent of the regurgitant flow.

Lower left: No abnormal systolic signals are obtained in the same patient.

Upper middle: LVG reveals Sellers II° mitral regurgitation in a patient with mitral valve prolapse.

Lower middle: Systolic flow away from the transducer is detected with the maximum velocity in midsystole.

Upper right: Sellers III° mitral regurgitation in a patient with ruptured chordae tendineae.

Lower right: Systolic flow away from the transducer with the maximum velocity in late systole.

interval histogram を用いて周波数分析を行った場合^{22,23}), unidirectional flow も bidirectional flow も出現し, 一般的にはいずれも逆流血流として解釈されている. 僧帽弁閉鎖不全の自験例では, 両者の血流が認められた. これらは, いずれも収縮期に出現し, メトキサミン投与で増強, 亜硝酸アミル吸入で減弱ないし消失する (Fig. 12) ことから, 僧帽弁逆流を反映するものと理解され

た.

Flow pattern と僧帽弁逆流のビーム方向, 基礎疾患, 重症度との間に相関は認められなかった. 宮武ら¹⁷⁾は, 左房内に検出される異常ドプラー信号は bidirectional flow を呈することが多く, これは渦流を含む乱流のためであると述べている. これに対し, 最近堀口ら²⁴⁾は, bidirectional flow は unidirectional flow が最大速度検出能力不足

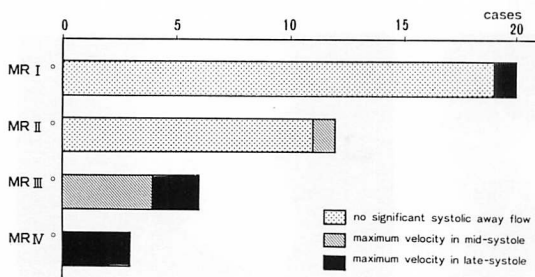


Fig. 11. Incidence of systolic flow away from the transducer in the left ventricular inflow tract.

Systolic retrograde flow is detected in all patients with Sellers III° and IV° mitral regurgitation (MR), but it is rare in patients with Sellers I° and II° MR.

による折り返し現象が重なり合い、誤って記録されたものであると主張している。確かに速い流れを有する例では、最大流速を検出することができず、折り返し現象がみられるが、緩かな逆流を有する例でも、装置の最大流速検出範囲内で bidirectional flow が認められるため、bidirectional flow は乱流と解釈するのが妥当と考えられる。

虚血性心疾患や拡張型心筋症による乳頭筋不全で、Sellers I° の症例では僧帽弁逆流を示すドプラー信号が、しばしば ±1 KHz をわずかに越える緩徐な血流として記録された。逆に、僧帽弁腱索断裂例や左室機能の良好なリウマチ性僧帽弁閉鎖不全例では、大半が ±2 KHz を越える速い血流として捉えられた。これらの成績から、本法は左室造影法よりもより生理的な状態で、非観血的に僧帽弁逆流の流速に関する情報を提供する点で有益な方法と考えられた。

2. 超音波パルス・ドプラー法の sensitivity および specificity

本法による僧帽弁閉鎖不全の診断は、サンプリング部位の設定が A-mode または M-mode による場合、sensitivity は 85.7¹⁰⁾ ~ 93.8¹³⁾ ~ 100%^{8,9)}, specificity は 88.7¹³⁾ ~ 90.0¹⁶⁾ ~ 100%^{8,14)}, B-mode による場合は sensitivity 72.0²²⁾ ~ 84.6²⁰⁾ ~ 100%^{17,19)}, specificity

100%^{17,18,19,20,22)} と報告されている。したがって、B-mode を使用しても sensitivity, specificity はあまり向上しないと考えられるが、僧帽弁閉鎖不全の逆流部位や方向を認識し、さらに重症度を評価するためには、B-mode と超音波パルス・ドプラー法との併用が優れている。

Parasternal approach は Johnson ら¹⁾によって始められ、apical approach は Kalmanson ら⁹⁾によって比較的最近試みられた方法である。しかし、同一症例で異なる超音波ビーム方向の観点から、本法による僧帽弁逆流の検出率に関して検討した報告は極めて少ない。B-mode を同時に使用できるここ数年の複合装置になってからは、apical four-chamber view²²⁾ や parasternal long-axis, parasternal short-axis など任意のビーム方向が得られるようになった。同一症例について検討すると、血流サンプリング部位の同定が M-mode による場合¹⁴⁾, sensitivity は parasternal approach 86.1%, apical approach 85.2%, B-mode による場合¹⁹⁾, parasternal long-axis view 70.0%, parasternal short-axis view 95.0% と報告されている。我々の成績は、parasternal long-axis view (80.0%) > parasternal short-axis view (74.2%) > apical long-axis view (70.0%) の順であった。このように、parasternal short-axis view の sensitivity が低い結果になったのは、虚血性心疾患が 38.8% を占め、parasternal short-axis view の描出が困難であったためと考えられる。

従来、僧帽弁閉鎖不全の軽症例ほど逆流の検出率が低いと文献上記載されている^{7,12-14,16,20,22)}が、我々の成績もほぼ同様で、Sellers I° 78.1%, II° 89.5%, III° および IV° 100% の sensitivity であった。僧帽弁逆流の軽微な症例では、左房内ジェット部位が局限しており、かつサンプルボリュームが小さいため逆流を捕捉できず、このような結果になったものと推測される。

基礎疾患による僧帽弁逆流の検出率の差に関しては、リウマチ性僧帽弁膜症、僧帽弁逸脱症、僧帽弁腱索断裂例で sensitivity がほぼ 100% であ

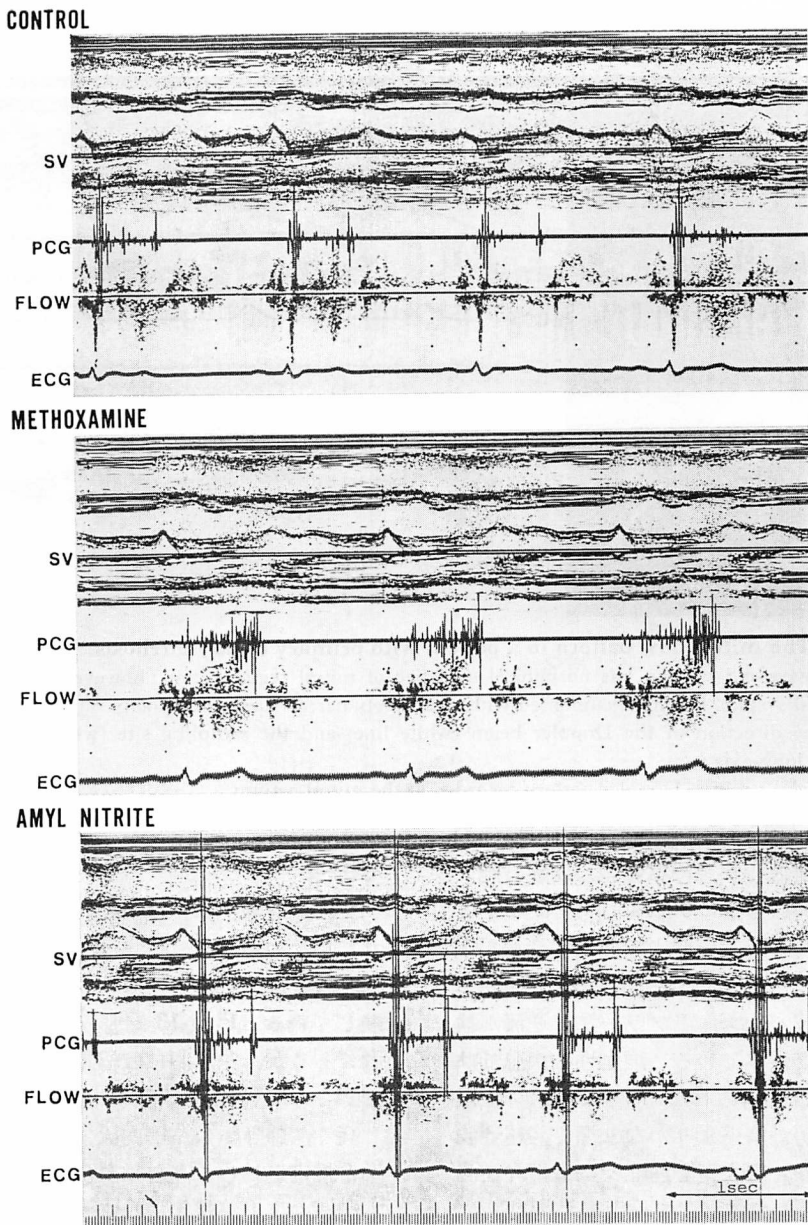


Fig. 12. Regurgitant flow patterns at the mitral ostium after the administration of methoxamine or amyl nitrite in the same patient as in Fig. 7.

Upper: When sample volume is placed at the mitral ostium on the parasternal long-axis view, turbulent flow is recorded in late systole.

Middle: After 5 mg of methoxamine administered intravenously, an increase in the duration and frequency of turbulence is demonstrated. Note also the decrease of S1 and the increase of S2 with provoked late systolic murmur on the simultaneous phonocardiogram obtained from the apex.

Lower: Inhalation of amyl nitrite decreases turbulent flow and increases the intensity of S1.

These facts suggest that the disturbed flow with wide spectral velocity pattern reflects the mitral regurgitant flow.

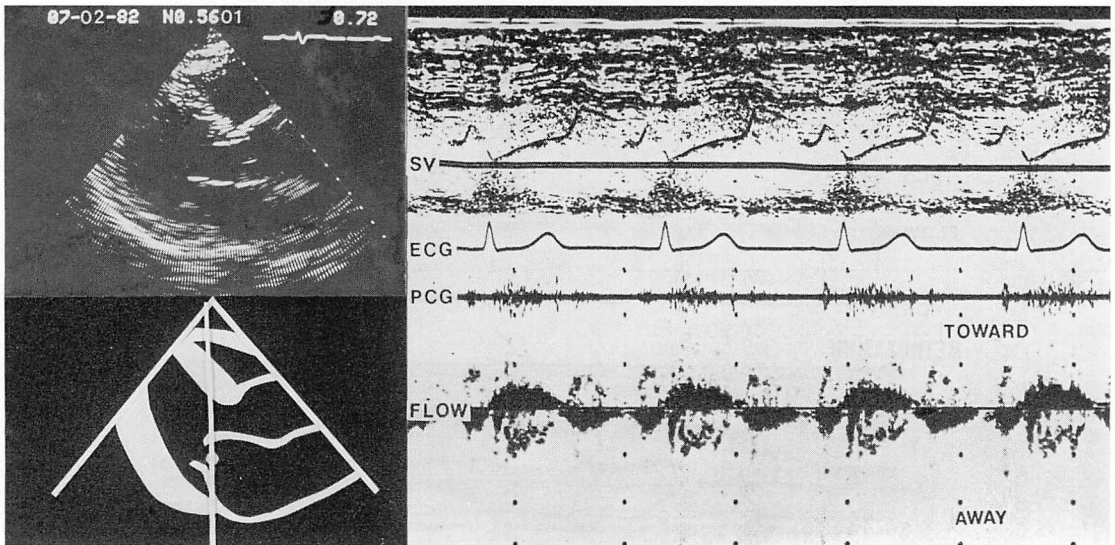


Fig. 13. The mitral flow pattern in a patient with primary biliary cirrhosis.

This 48-year-old woman has no clinical evidence of mitral regurgitation, however, an abnormal bidirectional systolic flow is documented with a relatively narrow range of velocity.

Left: The direction of the Doppler beam (white line) and the sampling site (white dot) on the parasternal long-axis view.

Right: False positive Doppler pattern recorded at the mitral ostium.

るのに対し、虚血性心疾患や拡張型心筋症、肥大型心筋症では各々 75.0%、90.9%、71.4%であった。Abbasi ら¹²⁾は、左室造影で僧帽弁逆流が確認された 23 例中、虚血性心疾患による乳頭筋不全の 2 例は超音波パルス・ドプラー法で逆流が検出できなかったと述べている。虚血性心疾患では良好な B-mode 像を得られない症例が多く、拡張型心筋症では左房が胸壁よりかなり深く、超音波の減衰が大であり、肥大型心筋症では僧帽弁逆流の程度が軽いため、全体として検出率が 100% にならなかったものと考えられる。

False negative 例であった Sellers I° の 7 例中 3 例は左室駆出率が 0.4 以下であった。すなわち、左室機能低下例では本法による僧帽弁逆流の検出率が低く、僧帽弁閉鎖不全の重症度を underestimate しがちであることは注意を要する。低心拍出量患者では、僧帽弁逆流が超音波パルス・ドプラー法で検出されないことがあると報告されてい

る^{12,22)}。

今回の対象例には false positive の症例は含まれていないため、specificity は 100% であったが、我々は少数ながら false positive の症例を経験している。Fig. 13 は原発性胆汁性肝硬変の患者であるが、左房内に収縮期異常ドプラー信号が記録されている。安静時の心拍出量は 11 L/min と高く、肺静脈の左房内流入を捉えたのではないかと推定される。高心拍出量を有する貧血患者でも同様の事実が報告されており¹²⁾、その場合は典型的な乱流にならず、僧帽弁口よりも左房前壁近傍で記録されるという。

3. 超音波パルス・ドプラー法による僧帽弁閉鎖不全の重症度評価

超音波パルス・ドプラー法を用いて僧帽弁閉鎖不全の重症度を判定しようとする試みが 2, 3 発表されている。前述の Kalmanson ら⁹⁾は、僧帽弁口部における negative systolic wave が僧帽弁

逆流の強い程, amplitude が大きく, かつ広くなると述べている. しかし, サンプリング部位の設定が M-mode に基づいていること, 周波数分析に zero-crossing detector を用いていることなどから, 定量化には問題がある. Patel ら²²⁾は, time interval histogram の性状 (% TIH) から重症度分類を試みているが, 中等度以上の僧帽弁閉鎖不全では overlap が多く, 分類は困難であると報告している. 同様に, time interval histogram を用いた一宮ら¹⁵⁾の報告によると, 僧帽弁逆流の強い症例ほど全収縮期に広周波数帯域の乱流がみられるという.

Abbasi ら¹²⁾や 桜井ら²¹⁾は, M-mode または B-mode でサンプルボリュームを決定し, 左房内で乱流が検出される範囲から重症度判定を試み, 前者は左室造影所見と良好な相関を得たと発表している. 我々も彼らの方法に準じたが, flow pattern の相違から僧帽弁閉鎖不全の重症度を判定するには限界があり, 現時点としては flow mapping⁵⁾かリアルタイム血流映像法²¹⁾が最良の方法と考えられる. 僧帽弁逆流を示すドプラー信号が出現する収縮期時相に関しては, apical long-axis view の左室流入路で検討するのみに留ったが, 僧帽弁閉鎖不全の重症度, 基礎疾患による特異性, 心音との関連については今後の課題と考えられる.

超音波パルス・ドプラー法による僧帽弁閉鎖不全の重症度と, 左室造影法による Sellers 分類とが一致しない症例が多くみられた. この理由として, 両検査の時期が一致していなかったことが最大の原因と思われる. この他, 逆流を示すドプラー周波数を ± 1 KHz 以上と定義したため, ゆるやかな逆流成分を見落した可能性, 高心拍出量例では僧帽弁や左房前壁の振動を誤って記録した可能性が考えられる.

4. 左室流入路における flow pattern

僧帽弁閉鎖不全例の左室流入路において, 血流計測を行った研究はごく少数である. 宮武ら¹⁹⁾は, 僧帽弁逆流を示す異常ドプラー信号は左室内では検出されないと述べている. しかし, 彼らは

apical long-axis view については検討しておらず, parasternal long-axis view の場合, ビーム方向と左室流入路における左室から左房へ向かう逆流方向とが直角に近くなるため, 逆流成分を捕捉できなかったものと推測される.

今回の研究では, apical long-axis view の左室流入路で, 探触子から遠ざかる systolic flow が Sellers I° の 5.0%, II° 8.3%, III° および IV° 各 100% の頻度で検出された. 真田ら²⁰⁾によると, この血流は Sellers III° ならびに IV° の重症例に限って出現するという. この異常血流は, 左室流出路がみえない apical four-chamber view においても記録され, また健常人には出現しないことから, 左室流出路駆出血流ではなく, 僧帽弁逆流であると解釈される. Sellers I°, II° の症例でこの flow の検出率が低い原因としては, 左室流入路における左房への逆流成分が少なく, また逆流部位が狭いため捉えにくいことなどが考えられる.

探触子から遠ざかる方向の systolic flow の maximum velocity が mid-systole に存在する症例(5例)と, late systole に存在する症例(6例)がみられた. 前者においては種々の病因が含まれていたが, 後者のうち3例は僧帽弁腱索断裂例であった. 従って, maximum velocity の出現時相によるこのような相違は, 僧帽弁閉鎖不全の重症度, 基礎疾患に基づいている可能性があり, さらに症例を重ねる必要があると考えられる.

要 約

断層心エコー図法によりサンプリング部位を二次元的に把握しつつ, 超音波パルス・ドプラー法を用いて僧帽弁閉鎖不全例の左房内, 左室流入路の計36点で血流計測を行った. Flow pattern とビーム方向, 基礎疾患, 僧帽弁閉鎖不全の程度との関連について検討するとともに, 左室造影所見と比較することにより, 本法の sensitivity, specificity, 僧帽弁閉鎖不全の重症度評価の可能性について検討した. 対象は左室造影により僧帽弁閉

鎖不全が証明された Sellers I° から IV° の 60 例, 僧帽弁閉鎖不全が証明されない 15 例, 左室造影は未施行であるが臨床的に僧帽弁閉鎖不全が明らかな 10 例の計 85 例である。

1. 僧帽弁閉鎖不全の 70 例中 61 例において, unidirectional flow または bidirectional flow が収縮期に左房内あるいは僧帽弁口部に検出された。この血流は広周波数帯域性で, 時に第 2 音を越え, メトキサミンで増強, 亜硝酸アミルで減弱し, 僧帽弁逆流の存在しない症例には出現しないことから, 僧帽弁逆流による乱流を表現するものと解された。この flow pattern の相違はビーム方向, 基礎疾患, 僧帽弁閉鎖不全の重症度とは無関係であった。

2. 本法の sensitivity は, parasternal long-axis view 80.0%, apical long-axis view 70.0%, parasternal short-axis view 74.2% で, この 3 断面を合わせると sensitivity 87.1%, specificity 100%, accuracy 89.4%, predictive value は positive 100%, negative 62.5% であった。僧帽弁閉鎖不全の重症例ほど sensitivity は高く, Sellers I° 78.1%, II° 89.5%, III° および IV° 100% であった。基礎疾患別では, リウマチ性僧帽弁膜症, 僧帽弁逸脱症, 僧帽弁腱索断裂の sensitivity は 100% と高く, 虚血性心疾患, 拡張型心筋症, 肥大型心筋症, 乳頭筋不全例では sensitivity が低い傾向にあった。

3. Parasternal long-axis view, apical long-axis view, parasternal short-axis view の各心断面層面上に逆流の有無をプロットすることにより, flow mapping を作製すると, 前 2 者では左房内における逆流の拡がり, 後者では逆流部位の局在が的確に表現された。長軸断面で逆流の検出される範囲から, 僧帽弁閉鎖不全の重症度を (1+) から (4+) に分類し, 左室造影の Sellers 分類と比較すると, 一定の相関がみられたが, 左室機能低下例では超音波パルス・ドプラー法の方が underestimate しがちであった。

4. Apical long-axis view により得られる左

室流入路において, 探触子から遠ざかる systolic flow が Sellers I° で 5.0%, II° 8.3%, III° および IV° 100% の頻度で検出され, この血流は左室流入路における僧帽弁逆流を捕捉したものとみなされた。maximum velocity が mid-systole に存在する例は種々な病因を含み, late systole に存在する例は重症の僧帽弁腱索断裂が半数を占めた。Maximum velocity の出現時相と基礎疾患, 僧帽弁閉鎖不全の重症度との関連については, 今後さらに詳細な検討が必要であると考えられた。

文 献

- 1) Johnson SL, Baker DW, Lute RA, Dodge HT: Doppler echocardiography. The localization of cardiac murmurs. *Circulation* 48: 810-822, 1973
- 2) Baker DW: The present role of Doppler techniques in cardiac diagnosis. *Prog Cardiovasc Dis* 21: 79-91, 1978
- 3) Lorch GS, Rubenstein SA, Baker DW, Dooley T, Dodge HT: Doppler echocardiography. Use of a graphical display system. *Circulation* 56: 576-585, 1977
- 3) Schluter M, Langenstein BA, Hanrath P, Kremer P, Bleifeld W: Assessment of transesophageal pulsed Doppler echocardiography in the detection of mitral regurgitation. *Circulation* 66: 784-789, 1982
- 5) Kitabatake A, Matsuo H, Asao M, Tanouchi J, Mishima M, Hayashi T, Abe H: Intra-atrial distribution of mitral regurgitation in mitral valve prolapse visualized by pulsed Doppler technique combined with electronic beam sector scanning echocardiography. *J Cardiography* 10: 111-121, 1980 (in Japanese)
- 6) Sellers RD, Levy MJ, Amplatz K, Lillehei CW: Left retrograde cardioangiography in acquired cardiac disease. Technique, indications and interpretations in 700 cases. *Am J Cardiol* 14: 437-447, 1964
- 7) Johnson SL, Baker DW, Lute RA, Murray JA: Detection of mitral regurgitation by Doppler echocardiography (abstract). *Am J Cardiol* 33: 146, 1974
- 8) Stevenson JG, Kawabori I, Guntheroth WG: Differentiation of ventricular septal defects from mitral regurgitation by pulsed Doppler echocardiography. *Circulation* 56: 14-18, 1977
- 9) Kalmanson D, Veyrat C, Bouchareine F, Degroote

- A: Non-invasive recording of mitral valve flow velocity patterns using pulsed Doppler echocardiography. Application to diagnosis and evaluation of mitral valve disease. *Br Heart J* **39**: 517-528, 1977
- 10) Gehring J, Lindlbauer R, Borst K, Strobel M: Nichtinvasive Diagnostik der Mitralinsuffizienz mit der gepulsten Doppler-Echokardiographie. Sensitivität und Spezifität der Methode. *Dtsch Med Wschr* **104**: 1474-1478, 1979
 - 11) Diebold B, Theroux P, Bourassa MG, Thuillez C, Peronneau P, Guermonprez JL, Xhaard M, Waters DD: Non-invasive pulsed Doppler study of mitral stenosis and mitral regurgitation: Preliminary study. *Br Heart J* **42**: 168-175, 1979
 - 12) Abbasi AS, Allen MW, Decristofaro D, Ungar I: Detection and estimation of the degree of mitral regurgitation by range-gated pulsed Doppler echocardiography. *Circulation* **61**: 143-147, 1980
 - 13) Quinones MA, Young JB, Waggoner AD, Ostojic MC, Ribeiro LGT, Miller RR: Assessment of pulsed Doppler echocardiography in detection and quantification of aortic and mitral regurgitation. *Br Heart J* **44**: 612-620, 1980
 - 14) Blanchard D, Diebold B, Peronneau P, Foulst JM, Nee M, Guermonprez JL, Maurice P: Non-invasive diagnosis of mitral regurgitation by Doppler echocardiography. *Br Heart J* **45**: 589-593, 1981
 - 15) 一宮 恵, 渡口真佐夫, 日比範夫, 福井洋一, 西村欣也, 神戸 忠, 坂本信夫: パルス・ドプラー法による僧帽弁逆流の検討. *Jpn Circ J* **45** (Suppl II): 389, 1981 (abstr)
 - 16) Shah AA, Quinones MA, Waggoner AD, Barndt R, Miller RR: Pulsed Doppler echocardiographic detection of mitral regurgitation in mitral valve prolapse: correlation with cardiac arrhythmias. *Catheter & Cardiovasc Diag* **8**: 437-444, 1982
 - 17) Miyatake K, Kinoshita N, Nagata S, Sakakibara H, Nimura Y: Intracardiac flow pattern in mitral regurgitation studied with a combined use of the ultrasonic pulsed Doppler technique and cross-sectional echocardiography. *J Cardiography* **9**: 241-249, 1979 (in Japanese)
 - 18) Miyatake K, Kinoshita N, Nagata S, Beppu S, Park Y, Sakakibara H, Nimura Y: Intracardiac flow pattern in mitral regurgitation studied with combined use of the ultrasonic pulsed Doppler technique and cross-sectional echocardiography. *Am J Cardiol* **45**: 155-162, 1980
 - 19) Miyatake K, Kinoshita N, Okamoto M, Nagata S, Park Y, Sakakibara H, Beppu S, Nimura Y: Non-invasive assessment of localization and direction of mitral regurgitant flow by the combined use of ultrasonic pulsed Doppler technique and two-dimensional echocardiography. *J Cardiography* **11**: 21-32, 1981 (in Japanese)
 - 20) Sanada J, Nakamura K, Minami Y, Kubo H, Kawahira M, Ohshige T, Hashimoto S: Pulsed Doppler echocardiographic assessment of mitral regurgitation. *Jpn J Med Ultras* **10**: 5-13, 1983 (in Japanese)
 - 21) 桜井信子, 三神大世, 工藤俊彦, 阿久津光之, 坂本三哉, 田辺福德, 安田寿一: リアルタイム超音波血流映像法による僧帽弁閉鎖不全症の左房内血流の検討. *日超医講演論文集* **44**: 87-88, 1984
 - 22) Patel AK, Rowe GG, Thomsen JH, Dhanani SP, Kosolcharoen P, Lyle LEW: Detection and estimation of rheumatic mitral regurgitation in the presence of mitral stenosis by pulsed Doppler echocardiography. *Am J Cardiol* **51**: 986-991, 1983
 - 23) Yamamoto M, Fukuda N, Asai M, Ohshima C, Kusaka Y, Tominaga T, Ishimoto T, Oki T, Niki T, Mori H: Phase analysis of mitral regurgitation in mitral valve prolapse: Comparison of pulsed Doppler echocardiography with phonocardiography. *J Cardiography* **13**: 467-481, 1983 (in Japanese)
 - 24) 堀口 徹, 鈴木 茂, 佐々木達海, 宮沢総介, 森田紀代造, 水野朝敏, 高安英樹, 新井達太: 超音波パルスドプラー法による心内異常血流の方向性に関する検討. *日超医講演論文集* **44**: 83-84, 1984