

僧帽弁逸脱症候群の左房内
逆流血流の検出と弁動態：
パルスドプラー法・リアル
タイム心断層法の複合シス
テムによる研究

Intra-atrial distribution
of mitral regurgitation
in mitral valve prolapse
visualized by pulsed
Doppler technique com-
bined with electronic
beam sector scanning
echocardiography

北畠 颯
松尾 裕英
浅生 雅人
田内 潤
三嶋 正芳
林 亨
阿部 裕

Akira KITABATAKE
Hirohide MATSUO
Masato ASAO
Jun TANOUCHI
Masayoshi MISHIMA
Tohru HAYASHI
Hiroshi ABE

Summary

Flow dynamics of mitral regurgitation (MR) in mitral valve prolapse (MVP) was correlated with the anatomical and functional extent of prolapsed leaflets and the auscultatory findings.

Study population consisted of 11 patients with MVP accompanying MR who were echocardiographically documented: 7 patients had prolapse of the anterior leaflet (group A); 3 had prolapse of the posterior leaflet (group B); one had prolapse of both leaflets (group C).

Intra-atrial blood flow was sensed by a pulsed Doppler flowmeter (sample volume = $1 \times 3 \times 3$ mm³), combined with an electronic sector scanning echocardiograph, which allows to locate the sample site by monitoring the real-time two-dimensional echocardiogram. Doppler signal was analyzed by a soundspectrograph, so that MR was recognized as a wide frequency-band pattern on the soundspectrogram. The distribution of MR at a certain cardiac phase was mapped on the two-dimensional echocardiogram taken at the same phase after extensively searching in the left atrium.

The results obtained were as follows:

1. Relationship between the distribution of MR and the prolapsed leaflet: All patients in group

大阪大学医学部 第一内科
大阪市福島区福島 1-1-50 (〒553)

The First Department of Medicine, Osaka University
Medical School, Fukushima 1-1-50, Fukushima-ku,
Osaka 553

Presented at the 18th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Tokyo, April 2-3, 1979
Received for publication December 24, 1979

A had MR originating at coaptation of leaflets and posteriorly directing throughout systole. In group B, however, 2 out of 3 patients exhibited MR which initially directed cranially in early systole and eventually shifted toward the anterior chest wall in mid to late systole, according to the progress of prolapsing of the posterior leaflet. The remaining one patient was suspected to have prolapse of anterolateral commissural scallop of the posterior leaflet by echocardiography and he exhibited MR directing posteriorly throughout systole. A patient of group C had MR directing toward the anterior chest wall throughout systole. In this patient, the posterior leaflet was echocardiographically found to prolapse more profoundly than the anterior leaflet.

2. Relationship between auscultatory findings and the distribution of MR: In patients who exhibited MR directing anteriorly, the holosystolic murmur was transmitted to the cardiac base, whereas it was louder at the left axilla than the cardiac base in patients having MR directing posteriorly.

These results indicate that the anatomical dislocation of mitral leaflets in MVP appears to determine the direction of MR distribution as well as the direction of the transmission of the systolic murmur, in that prolapsing of the anterior leaflet results in posteriorly directing MR flow, while prolapsing of the posterior leaflet except for prolapse of the anterolateral commissural scallop results in anteriorly directing MR flow. Current technique thus allows functional evaluation of the prolapsed leaflets in MVP.

Key words

Mitral valve prolapse technique Mitral regurgitation Two-dimensional echocardiography Regurgitant flow mapping Pulsed Doppler

はじめに

僧帽弁逸脱症候群における心音・心雑音¹⁻⁴⁾ならびに僧帽弁構造物を主とした形態の異常³⁻⁹⁾に関する知見は多いが、心臓内の血流に関する報告¹⁰⁾は少ない。心臓内の血流は構造の異常を直接的に反映すると考えられ、また血流の異常は心音の変化・心雑音の成因と密接な関係をもつ¹¹⁾。このような観点から、僧帽弁逸脱症候群で観察される特徴的な僧帽弁動態や心音・心雑音と心臓内血流動態との関連は臨床に興味ある課題をなすが、計測技術上の制約から報告をみない。

本研究では、パルス変調ドプラー血流計とリアルタイム超音波装置の複合システムを用い、新たに考案したフローマッピング法により僧帽弁逆流の左房内分布を無侵襲的に可視化し、逆流動態と逸脱弁尖の部位ならびに心雑音の伝播との関連につき検討した。

対 象

対象は収縮期雑音を有した僧帽弁逸脱症候群 11 例(年齢 38~72 歳, 男性 6 例, 女性 5 例)で、

リアルタイム心断層図で観察された逸脱弁尖部位により前尖逸脱 7 例, 後尖逸脱 3 例, 両弁尖逸脱 1 例に分けた (Table 1)。なお僧帽弁逸脱症候群の診断はリアルタイム心断層法を用い、Gilbert ら⁹⁾の報告に準じた。

方 法

1. 装 置

血流計測装置は、超音波パルス変調ドプラー血流計(日立メディコ製 EUD-5, 発信周波数 2.5 MHz, 繰り返し周波数 5 kHz, パルス幅 1.3 μ sec)と扇形電子走査型超音波断層装置(日立メディコ製 EUB-10)とを複合化したシステム¹²⁾を用いた。本システムでは、リアルタイム断層図上で血流計測部位の正確な解剖学的位置の同定をなしつつ、最大検出ドプラー周波数 2.5 kHz, 最大計測深度 15 cm の範囲内で血流計測をなしうる (Fig. 1)。血流計測には音響レンズ付 PZT 製探触子(径 14 mm)を用いた。その方位分解能および血流計の距離分解能から血流サンプルボリュームは $1 \times 3 \times 3$ mm³ である。

血流ドプラー信号はソナグラフ(リオン製

Table 1. List of materials, flow mapping and phonocardiographic findings

Patient	Age	Sex	Prolapsed lesions	Transmission of murmur	Distribution of regurgitant flow in left atrial cavity
1. S. T	70	F	Anterior leaflet	Left axilla	Posterior region
2. Y. T.	45	F	Anterior leaflet	Left axilla	Posterior region
3. S. T.	57	F	Anterior leaflet	Left axilla	Posterior region
4. Y. N.	38	M	Anterior leaflet	Left axilla	Posterior region
5. T. N.	65	M	Anterior leaflet	Left axilla	Posterior region
6. S. E.	45	M	Anterior leaflet	Left axilla	Posterior region
7. K. A.	38	M	Anterior leaflet	Left axilla	Posterior region
8. H. N.	41	F	Posterior leaflet	Cardiac base	Anterior region
9. K. T.	53	M	Posterior leaflet	Cardiac base	Anterior region
10. T.T.	65	F	Posterior leaflet	Left axilla	Posterior region
11. I. K.	59	M	Both leaflets	Cardiac base	Anterior region

F=female ; M=male

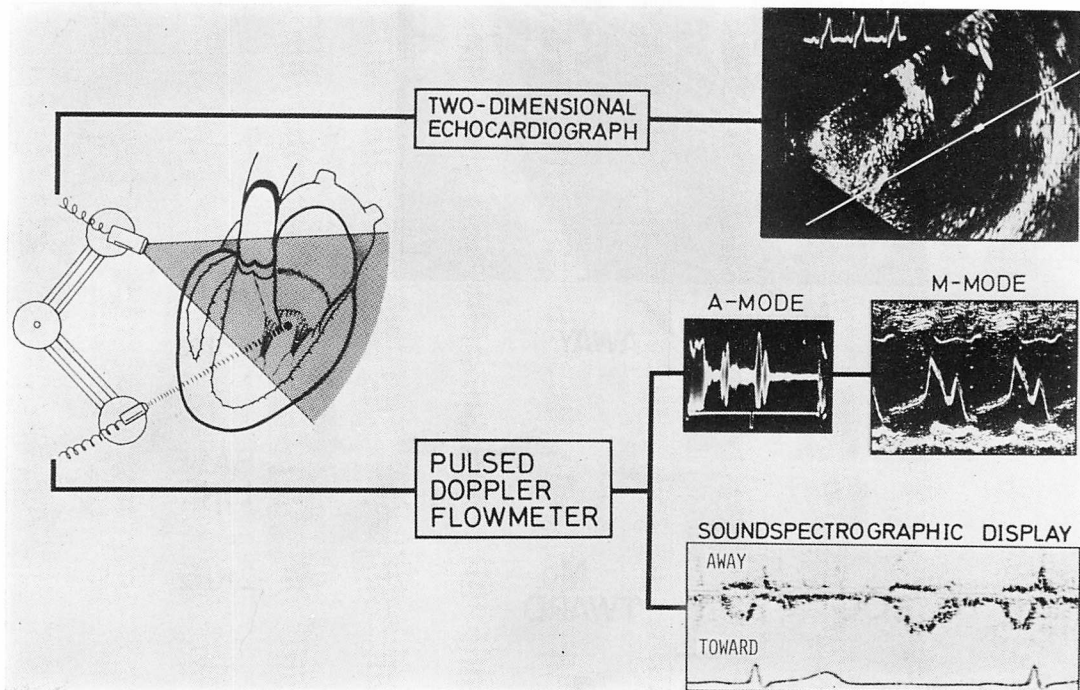


Fig. 1. Schematic representation of the system.

The location of sample site is simultaneously defined with real-time two-dimensional echocardiography. Doppler signal is analyzed by soundspectrograph.

SG-07) を用いて分析し, サウンドスペクトログラム表示とした. 本表示法では, 縦軸はドプラー周波数を表わし, 基線の上に探触子から遠ざかる流れ, 基線の下に近づく流れを表示した. 横軸は時間を示す. 表示の濃淡はその周波数の血球数に比例したドプラー出力を表わす.

心音・心雑音はフクダ電子製 MCM-8000 心音計および加速度型マイクロホン MCA-250 を用い, 紙送り速度 10 cm/sec で感光紙に記録した.

2. フローマッピング法

パルス変調ドプラー法により計測される僧帽弁逆流は, 僧帽弁口から左房において, 収縮期にサウンドスペクトログラム表示上順逆両方向性または

一方向性で低周波数から高周波数にわたる広帯域スペクトルの血流速パターンとして検出される¹³⁾ (Fig. 2). これは計測サンプルボリューム内の血球の流れがドプラービーム方向に対してさまざまな方向および速度成分からなる乱れた流れであることを意味する.

一方, 健常例で観察される生理的な心臓内血流は狭帯域スペクトルを呈するところから, 逆流血流の同定は容易であるが, さまざまな方向にむかう血球運動からなる逆流の全体としての流れの方向や左房内での逆流の拡がりに関しては, 従来の微小領域の観測からは知り得なかった. そこで我々は心腔内局所の血流計測を左房内全体にわたる

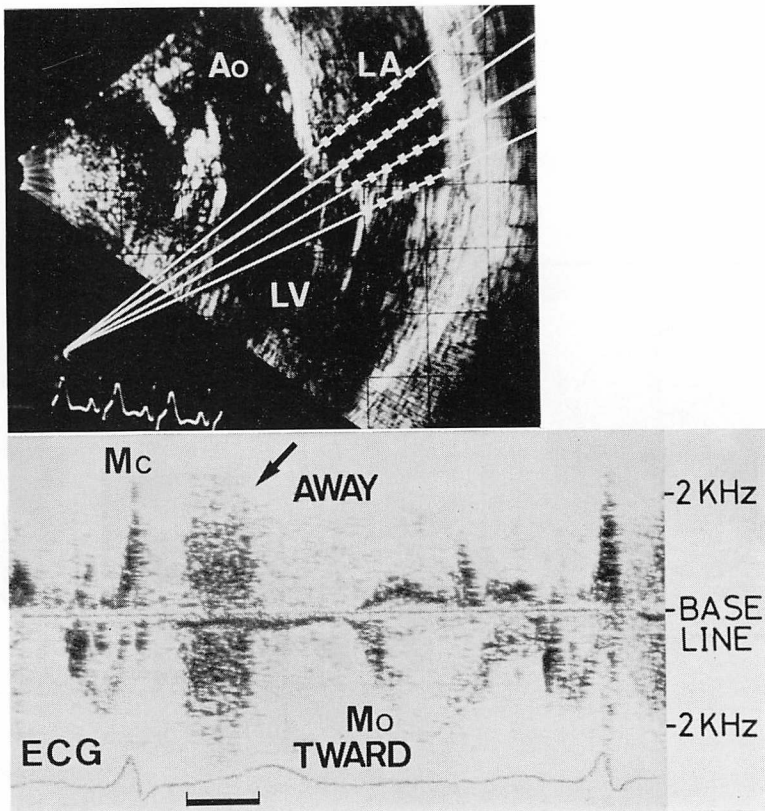


Fig. 2. The flow mapping method.

Mitral regurgitant flow (arrow in bottom) is extensively searched in the left atrium (top). Ao = aorta; LA = left atrium; LV = left ventricle; Mc = signal of mitral valve closure; Mo = signal of mitral valve opening.

ように多数点で行うことにより、逆流の左房内分布を可視化した(フローマッピング法)。すなわち、血流計測と同時計測される心臓断面を固定しておき、その断面上の多数点で漸次血流計測を行い、各サンプル部位における逆流ドプラー信号の任意の心時相における有無を、同じ時相の心断層図上に+、-の記号でマッピングし、逆流の左房内の拡がりを描記した。さらに、この逆流フローマッピングを経時的に描記して、逆流の左房内分布の心収縮に伴う経時的推移を求めた。

計測にさいしては、患者は安静仰臥位または左側半横臥位で、通常、血流計探触子および断層装

置探触子はそれぞれ傍胸骨線第4~5肋間および胸骨左縁第3肋間、またはその逆の位置とした。このような探触子の位置において、まず心長軸断面で最も明瞭に僧帽弁逆流が捉えられた断面を選び、3~5本のドプラービーム上で4~2mmごとにサンプル部位を順次移動させ、左房内の15~30点で探索し、軽度呼吸時に血流計測を行った。

結果

1. 僧帽弁逆流の分布

フローマッピング法による僧帽弁逆流の左房内分布の検討の結果、逆流血流信号は左房内に一樣

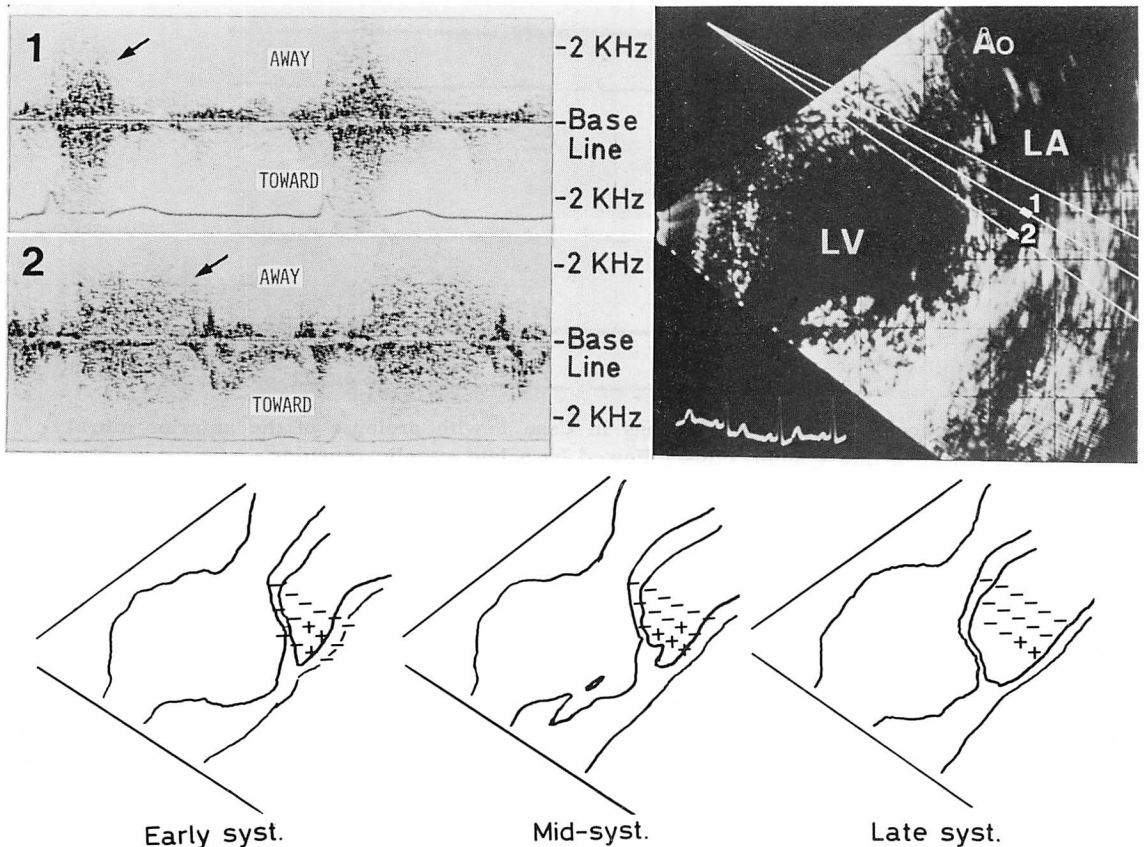


Fig. 3. Regurgitant flow mapping in Case 3 with prolapse of the anterior mitral leaflet.

Left upper two panels show examples of mitral regurgitant flow obtained at the sampling site 1 and 2 as indicated on the two-dimensional echocardiogram (right panel). Regurgitant flow, represented by symbol (+), is distributed at posterior region of the left atrial cavity throughout systole.

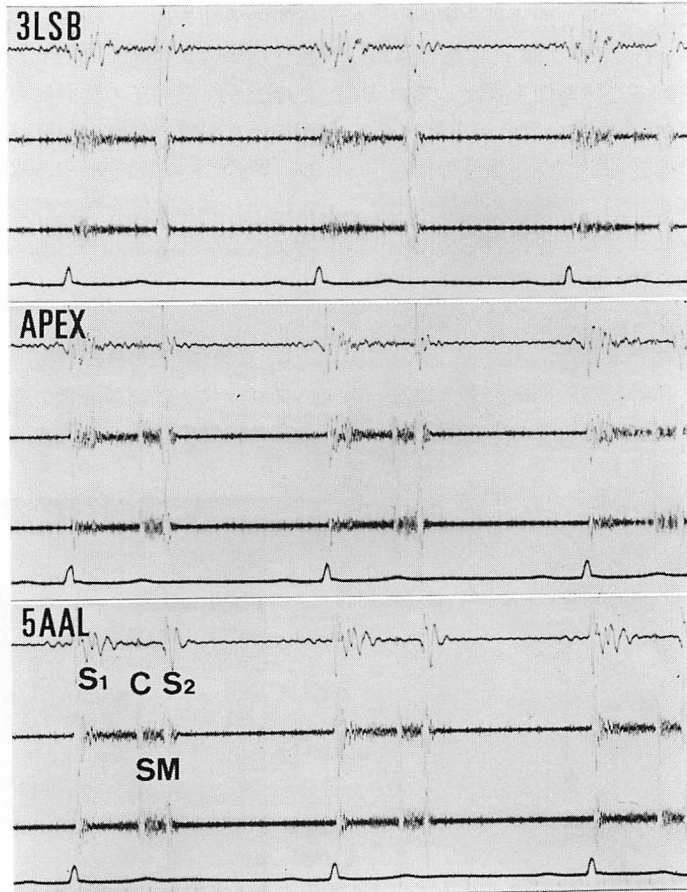


Fig. 4. Phonocardiographic recordings in Case 1 with prolapse of the anterior mitral leaflet reveal a late systolic click followed by a late systolic murmur.

The murmur is louder at the left axilla than the cardiac base. S_1 =the first heart sound; S_2 =the second heart sound; C=click; SM=systolic murmur; LSB=left sternal border; Apex=region of apex beat; AAL=anterior axillar line.

に検出されるのではなく、おおむね逸脱弁尖の対側領域の左房内に分布した (Table 1).

前尖逸脱群では7例全例で、逆流は主として僧帽弁後尖左房面から左房後壁側に分布し、左房前胸壁側では認められなかった。さらにこの逆流の分布の経時的な変化を検討すると、心臓断層図上収縮早期から明瞭な僧帽弁前尖逸脱が観察された6例では、収縮早期から認められた逆流の分布領域は経時的にほとんど変化しなかった (Fig. 3)。しかし収縮後期クリックを認めた1例 (症例 1;

Fig. 4) では、心臓断層図上心収縮に伴い前尖の逸脱が進展し、収縮後期に至って著明に左房側へ逸脱するのが観察された。この例の僧帽弁逆流は、収縮初期においては明瞭に検出しえず、収縮中期に僧帽弁後尖左房側のごく限られた領域で比較的弱い逆流信号として捉えられ、収縮後期になるとやや頭側の領域に分布し、しかも一方向性の強い逆流信号を呈した (Fig. 5)。すなわち、この例では僧帽弁逸脱が心収縮とともに進展し、同時に僧帽弁逆流が増強することが示された。

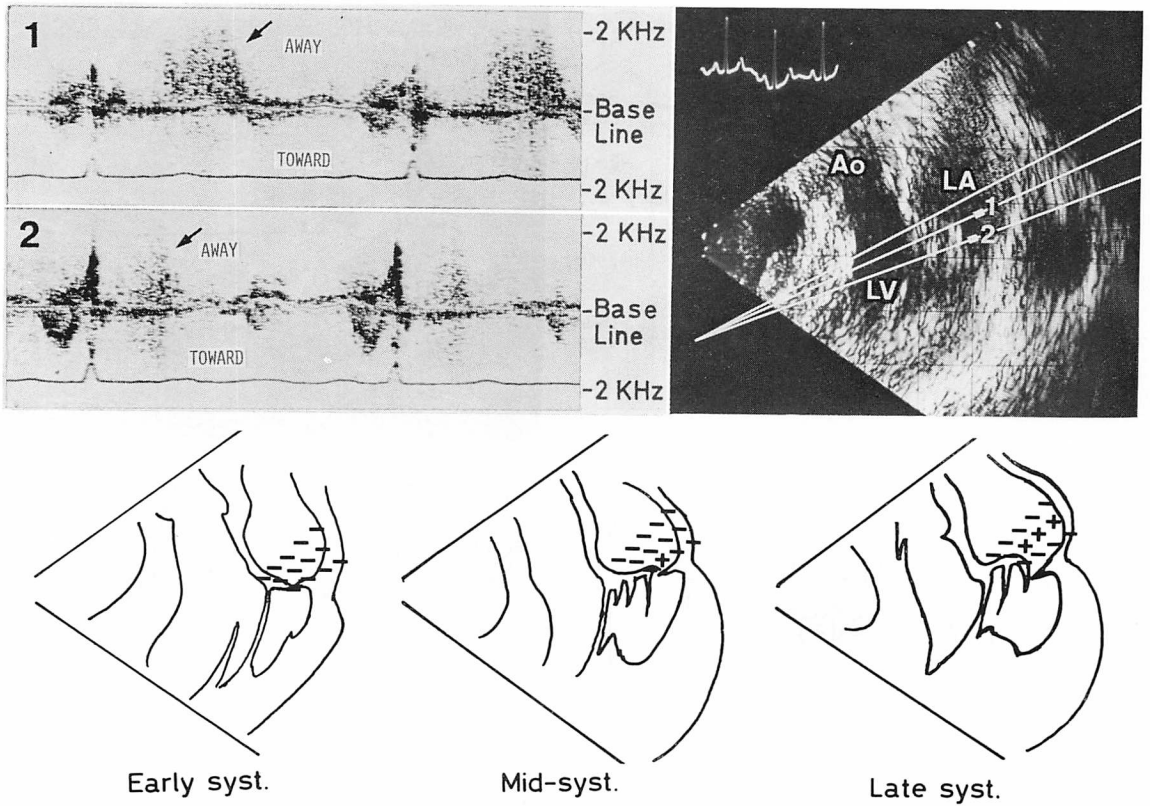


Fig. 5. Regurgitant flow mapping in Case 1 with prolapse of the anterior mitral leaflet, having a late systolic click and holosystolic murmur accentuated in late systole.

Regurgitant flow is distributed in posterior region of the left atrial cavity during mid to late systole.

後尖逸脱群では3例中2例(症例8, 9)において、僧帽弁逆流は逸脱弁尖の対側、すなわち僧帽弁前尖左房面から左房前胸壁側に分布した。これらの症例では弁中央部を横断する心臓断層図上で逸脱所見の得られたことから、後尖を形成する3つのscallopのうちmiddle scallopの逸脱と考えられた。しかし、1例(症例10)では逆に僧帽弁逆流は左房後壁側で検出された。この例では、後尖の逸脱は前2例に比して外側寄りの心臓断層図上で観察され、anterolateral commissural scallopの逸脱と考えられた。

逆流分布の経時的推移に関して、2例(症例9, 10)では、逆流は収縮期を通じて分布領域が移動

することなく、ほぼ同じ領域にとどまった。しかし心臓断層図上、心収縮につれ僧帽弁後尖が前尖左房面上に騎乗するごとく逸脱が進展した例(症例8)では、逆流は収縮早期には僧帽弁接合部を中心にしてその頭側に分布し、収縮とともに逆流は前胸壁側へ偏移した(Fig. 6)。

両弁尖逸脱例(症例11)では、それぞれの弁尖の逸脱はそれぞれ異なった断層面で観察されたが、逸脱の程度は後尖においてより著しかった。本例における僧帽弁逆流は後尖逸脱を認めた断面で検出され、その逆流分布は僧帽弁前尖左房側に認められたが、経時的な分布の推移を認めなかった。

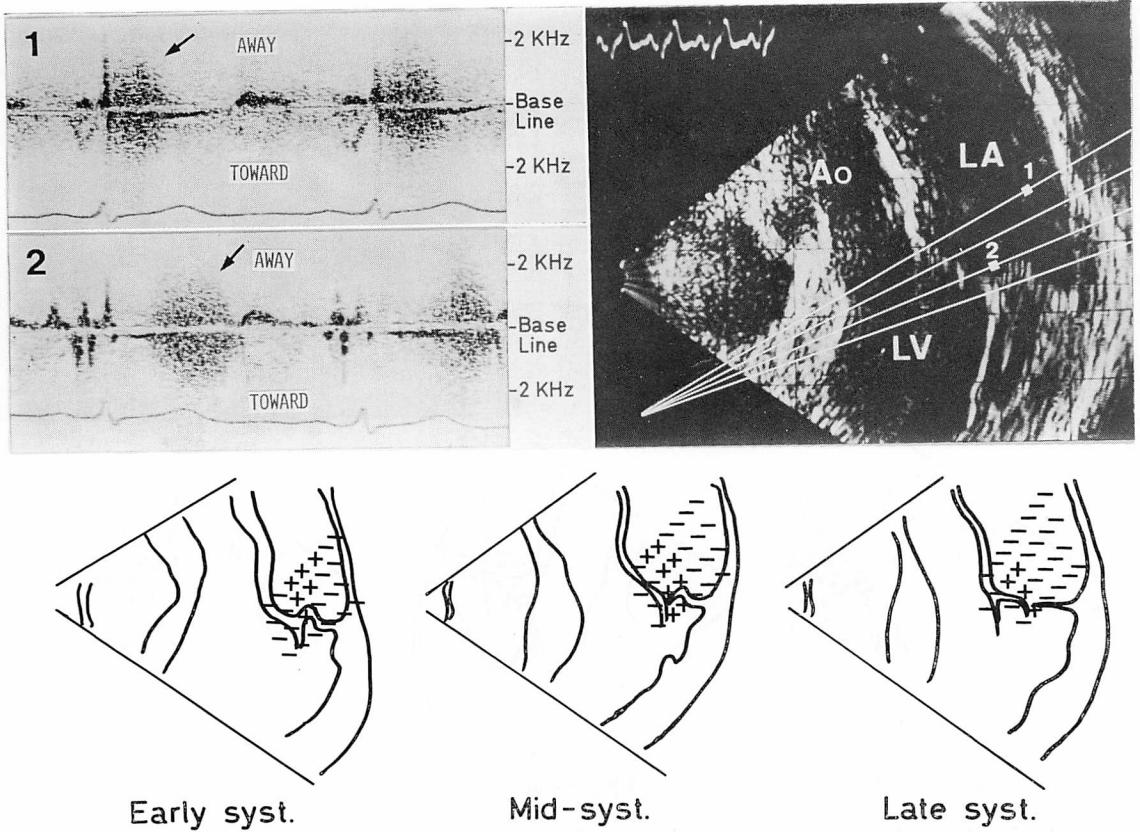


Fig. 6. Regurgitant flow mapping in Case 8 with prolapse of the posterior mitral leaflet.

Regurgitant flow is distributed cranially in the left atrium in early systole and eventually toward the anterior chest wall in mid to late systole.

2. 心雑音と僧帽弁逆流の分布との関係

今回の対象における心雑音は、全例で全収縮期吹鳴様雑音であった。そのうち1例(症例1)に収縮後期クリックとクリック後の雑音の増強を認めたが(Fig. 4)、他の例ではクリックを認めなかった。

心雑音の伝播方向に関しては、おもに左腋窩から背部方向に伝播するものと、逆に心基部方向に伝播するものに大別できた。すなわち、11例中8例では雑音は心尖部で最強で、左腋窩から背部に伝播しており心基部では弱い雑音として記録された(Fig. 4)。他の3例では逆に心基部方向に伝播し、左腋窩部では雑音をほとんど聴取できなかつ

た(Fig. 7)。

各症例におけるこのような雑音の伝播方向とフローマッピング法により求めた逆流の左房内分布領域および逸脱弁尖の部位との関係をTable 1に一括して示した。逆流性雑音の主たる伝播方向は、全例において逆流の左房内分布領域とよい対応を認めた。すなわち、逆流が左房前胸壁側に分布した例では、雑音は心基部に伝播し、逆に逆流が左房後壁側に分布した例では、左腋窩から背部に雑音の伝播を認め、僧帽弁逸脱に伴う僧帽弁逆流性雑音の伝播には逆流の左房内における分布が重要な因子であることが示唆された。

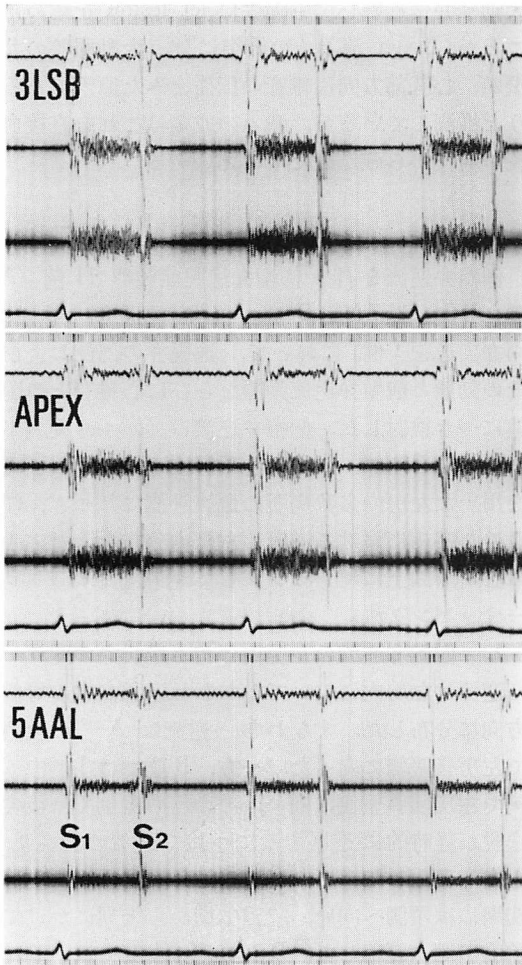


Fig. 7. Phonocardiographic recordings in Case 8 with prolapse of the posterior mitral leaflet.

A holosystolic murmur is transmitted toward the cardiac base.

考 案

僧帽弁閉鎖不全は僧帽弁前・後尖の接合不全により生ずる。僧帽弁逸脱症候群では、弁構造物の変性のため僧帽弁前尖または後尖を形成する scallop が変形し^{3,5)}、収縮期に左房側へ ballooning することが明らかにされてきた^{1,3-9)}。僧帽弁逸脱症候群に伴う僧帽弁閉鎖不全では、僧帽弁逆流の様式は当然このような特異的な僧帽弁形態の動態

に影響されることが予測されるが、適切な計測方法を欠きこれまで報告をみなかった。

パルス変調ドプラー法は無侵襲的に心腔内局所の流れ状況が観察可能であるため、近年急速に臨床応用がなされ始めている。Johnson ら¹⁴⁾は心雑音を有する心疾患例に適用し、その心腔内に健常ではみられない乱れた流れが存在することを報告した。また、血流計測と同時に得られる A モード心エコー図から血流サンプル部位の同定を行い、乱れた流れの検出部位から心雑音の成因を推定した。Baker ら¹⁵⁾はさらに同時に得られるエコー信号を M モード心エコー図として展開し、血流サンプル部位に関するより詳細な情報を得んと試みている。しかし良好な心エコー図を得るビーム方向と血流計測に適したビーム方向は基本的に異なるため、十分な解剖学的部位同定は困難であり、また彼らの方法では異常血流の存在は知り得ても左房内における逆流の方向、拡がりに関しては知り得なかった。本研究では、パルス変調ドプラー血流計と電子走査型超音波断層装置の両探触子を位置検出器で結合し、セレクターにより時分割制御で両装置を複合化したシステム¹²⁾を用いた。これにより良好な心臓断層図と血流情報を同時に得ることが可能となり、同一断層面の多数点で血流計測を行って求めたフローマッピング法により、異常血流の心腔内分布を可視化した。

このようにして求めた僧帽弁逸脱に伴う僧帽弁逆流は、左房内において逸脱弁尖の対側方向に向うことが示された。これは症例 1, 8 (Fig. 5, 6) のリアルタイム断層図で観察されたように、逸脱弁尖が鉤状になり、その弁尖が対側弁尖の左房面へ乗りかかるごとく逸脱して接合不全を生ずるとともに、逆流の方向を規定するものと考えられた。僧帽弁両弁尖逸脱の 1 例では、逸脱の程度は後尖に強く、また異なった断層レベルで観察された。例では逆流は左房前胸壁側に分布しており、血流このの検討からも僧帽弁後尖逸脱が逆流を生じた主たる原因であることが示唆された。このような僧帽弁の障害部位と僧帽弁逆流の方向との関係に

ついては、病理学的検討からある程度推察されてきた。Osmandson ら¹⁶⁾は、僧帽弁腱索断裂による僧帽弁逆流を有した剖検例において、左房壁に僧帽弁逆流 jet の衝突によって生じたと考えられる組織の変性“jet lesion”を示し、その部位は一般に障害弁尖の対側に認めたとしている。すなわち、“jet lesion”は、前尖障害9例中6例で左房後壁に、後尖障害10例中9例で左房中隔側に認められたとしているが、その所見は我々のフローマッピング法による逆流分布の観察の結果と軌を一にしている。なお残る4例では“jet lesion”は認められなかったとし、その原因として、逆流が左房高位方向に向う場合を想定している。今回の検討において、心時相とともに僧帽弁逆流の分布領域が移動する例が観察されたが、この現象がOsmandson らの jet lesion を生じさせなかった一因であるかもしれない。後尖逸脱の1例(症例10)では、逆流はむしろ左房後壁側に分布した。僧帽弁後尖は通常3つの scallop から構成されるが、この例ではやや外側寄りの断層面で逸脱が認められたところから anterolateral commissural scallop の逸脱と推定されたが、このような場合必ずしも今回の検討のような、長軸心断面上における対側弁尖方向に逆流が向うとは限らないことを示すのかもしれない。このような例において、弁障害の機能的評価には超音波断層法などによる形態的な観察では不十分で血流動態からの判定がより詳細な情報を与えるものと考えられる。

僧帽弁逆流性雑音の伝播には、僧帽弁逆流の方向が重要な因子をなすことは経験的¹⁸⁾にもまた流体力学的実験¹⁹⁾においても推察されてきたが、今回の検討において逆流の方向と雑音の伝播方向とは全例において一致し、これを裏付けた。すなわち、逆流が左房後壁側に分布した例では、その雑音は左腋窩から背部方向に伝播し、逆に逆流が左房前胸壁側へ向った例では、雑音は心基部方向に伝播した。このような心基部方向に雑音が伝播する僧帽弁逆流についてはいくつかの報告²⁰⁻²²⁾がみられるが、その成因に関して Edwards ら²⁰⁾は、

大動脈弁付近の心房中隔壁に jet lesion を認めたことから、jet 流とその衝突に伴う大動脈壁の共振が、心基部方向に雑音の伝播をみた原因であろうと推測しているが、我々の成績はこれを直接血流の観察から確かめたものといえる。

要 約

僧帽弁逆流を伴う僧帽弁逸脱症候群 11 例 (A 群: 前尖逸脱 7 例, B 群: 後尖逸脱 3 例, C 群: 両弁尖逸脱 1 例) において、逸脱弁の部位およびその動態と僧帽弁逆流動態ならびに心雑音との関連につき検討した。僧帽弁逆流は、パルス変調ドプラー法とリアルタイム心断層法の複合システムを用いた左房内多数局所の血流計測に基づき、任意の心時相における逆流の左房内分布を、対応する心断層図上にマッピングして可視化した(フローマッピング法)。

1. 僧帽弁逆流の左房内分布と逸脱弁の関係

逆流は左房内においておおむね逸脱弁尖の対側方向に分布した。すなわち、逆流は A 群の全例で左房後壁側に向った。一方、B 群では 3 例中 2 例で左房前胸壁側に向い、そのうち 1 例では後尖逸脱が経時的に進展するにつれて逆流の拡がり、方向が変化した。この症例では左房内逆流は収縮初期には頭側へ向い、収縮中期から後期にかけて前胸壁側へ偏移した。B 群の残る 1 例では逆流は逸脱弁尖側の左房後壁側へ向ったが、この例の後尖逸脱は他の 2 例と異なり anterolateral commissural scallop の逸脱と考えられた。C 群の 1 例では逆流は左房前胸壁側に分布した。本例における両弁尖の逸脱の程度は後尖に著明であった。

2. 僧帽弁逆流の左房内分布と心雑音の関係

逆流の左房内における方向と逆流性雑音の伝播とは全例で良い対応を示した。すなわち、逆流が左房前胸壁側に分布した例では雑音は心基部で強く、逆に左房後壁側に向った例では雑音は左腋窩方向に伝播した。

以上の結果、僧帽弁逸脱症候群における僧帽弁逆流は、逸脱弁により左房内の拡がりや方向が規

制されるとともに、心雑音の伝播には逆流の方向が重要な因子をなすことが示唆された。フローマップング法による無侵襲的な血流動態の観察は、超音波断層法による形態学的検索だけでは求めえない障害弁機能の詳細な評価を可能とすると考えられた。

本研究の一部は文部省「昭和45年度科学研究費補助金」一般(B)(No. 448216)および昭和54年度「財団法人日本心臓財団の奨励」によった。

文 献

- 1) Segal BL, Likoff W: Late systolic murmur of mitral regurgitation. *Amer Heart J* **67**: 757-763, 1964
- 2) Barlow JB, Bosman CK: Aneurysmal protrusion of the posterior leaflet of the mitral valve. An auscultatory-electrocardiographic syndrome. *Amer Heart J* **71**: 166-178, 1966
- 3) Jeresaty RM: Mitral valve prolapse—click syndrome. *Progr Cardiovasc Dis* **15**: 623-652, 1973
- 4) Devereux RB, Perloff JK, Reichek N, Josephson ME: Mitral valve prolapse. *Circulation* **54**: 3-14, 1976
- 5) Read RC, Thal AP, Wendt VE: Symptomatic valvular myxomatous transformation (the floppy valve syndrome): A possible forme fruste of the Marfan syndrome. *Circulation* **32**: 897-910, 1965
- 6) Criley JM, Lewis KB, Humphries JO, Ross RS: Prolapse of the mitral valve: Clinical and cine-angiographic findings. *Brit Heart J* **28**: 488-496, 1966
- 7) Ranganathan N, Silver MD, Robinson TI, Kostuk WJ, Felderhof CH, Patt NL, Wilson JK, Wigle ED: Angiographic-morphologic correlation in patients with severe mitral regurgitation due to prolapse of the posterior mitral valve leaflet. *Circulation* **48**: 514-518, 1973
- 8) Cohen MV, Shah PK, Spindola-Franco H: Angiographic-echocardiographic correlation in mitral valve prolapse. *Amer Heart J* **97**: 43-52, 1979
- 9) Gilbert BW, Schatz RA, von Ramm OT, Behar VS, Kisslo JA: Mitral valve prolapse. Two-dimensional echocardiographic and angigraphic correlation. *Circulation* **54**: 716-723, 1976
- 10) Lorch G, Rubenstein S, Baker D, Dooley T, Dodge H: Doppler echocardiography. Use of a graphical display system. *Circulation* **56**: 576-585, 1977
- 11) McKusick VA: The generation of the sound in the cardiovascular system. *In Cardiovascular Sound in Health and Disease*, Williams and Wilkins Co., Baltimore, 1958, pp 123-146
- 12) 松尾裕英, 井上通敏, 北島 颯, 浜中康彦, 林 亨, 浅生雅人, 大森龍彦, 寺尾祐輔, 三嶋正芳, 千田彰一, 島津 敬, 田内 潤, 森田久樹, 阿部 裕, 中川健治, 佐藤 裕, 田辺浩二: リアルタイム心腔内局所血流計測のための総合超音波システムの開発. 扇形電子走査型超音波心臓断層法とパルス変調ドプラー法の複合化. *日超医講演論文集* **34**: 7-8, 1978
- 13) Matsuo H, Kitabatake A, Hayashi T, Asao M, Terao Y, Senda S, Hamanaka Y, Matsumoto M, Nimura Y, Abe H: Intracardiac flow dynamics with bi-directional ultrasonic pulsed Doppler technique. *Jap Circulat J* **41**: 515-528, 1977
- 14) Johnson SL, Baker DW, Lute RA, Dodge HT: Doppler echocardiography. The localization of cardiac murmurs. *Circulation* **48**: 810-822, 1973
- 15) Baker DW, Rubenstein SA, Lorch GS: Pulsed Doppler echocardiography: Principles and applications. *Amer J Med* **63**: 69-80, 1977
- 16) Osmundson PJ, Callahan JA, Edwards JE: Ruptured mitral chordae tendineae. *Circulation* **23**: 42-54, 1961
- 17) Ranganathan N, Lam JHC, Wigle ED, Silver MD: Morphology of the human mitral valve. II. The valve leaflets. *Circulation* **41**: 459-467, 1970
- 18) Perloff JK, Harvey WP: Auscultatory and phonocardiographic manifestations of pure mitral regurgitation. *Progr Cardiovasc Dis* **5**: 172-194, 1962
- 19) Yellin EL: Sound production in bounded jets. *Proc Ann Conf Engineering Med Biol* **7**: 167, 1965
- 20) Edwards JE, Burchell HB: Endocardial and intimal lesions (jet impact) as possible sites of origin of murmurs. *Circulation* **18**: 946-960, 1958
- 21) Shapiro HA, Weiss DR: Mitral insufficiency due to ruptured chordae tendineae simulating aortic stenosis. *New Engl J Med* **261**: 272-276, 1959
- 22) Sleeper JC, Orgain ES, McIntosh HD: Mitral insufficiency simulating aortic stenosis. *Circulation* **26**: 428-433, 1962