

僧帽弁閉鎖不全症における
逆流の超音波パルス・ドプ
ラー法・断層法併用による
検討

Intracardiac flow pat-
tern in mitral regurgi-
tation studied with a
combined use of the
ultrasonic pulsed Dop-
pler technique and
cross-sectional echocar-
diography

宮武 邦夫
木下 直和
永田 正毅
榊原 博
仁村 泰治*

Kunio MIYATAKE
Naokazu KINOSHITA
Seiki NAGATA
Hiroshi SAKAKIBARA
Yasuharu NIMURA*

Summary

Thirty cases with mitral regurgitation confirmed by left ventricular angiography were studied with a combined use of the ultrasonic pulsed Doppler technique and cross-sectional echocardiography from a transcatheter approach.

At the mitral area and in the left atrial cavity, abnormal Doppler signals were recorded during systole in the patients with mitral regurgitation, but not in healthy subjects. The locations of the abnormal Doppler signals were identified with the cross-sectional echocardiography, being displayed in the two-dimensional images.

1) The abnormal Doppler signals at the mitral area, which were detected in 28 cases of the patients studied, were harsh, showing bi-directional wide velocity spectra. These Doppler signals might indicate not only the mitral regurgitant flow but also the vibration of the mitral valve.

2) In the left atrial cavity, uni-directional or bi-directional abnormal Doppler signals of wide velocity spectra were detected. These abnormal Doppler signals were detected in 11 cases of the patients studied. The localization and direction of the mitral regurgitant flow in the left atrium could be identified as an area where the above abnormal Doppler signals were detected. The direction of the regurgitant flow revealed by this method nearly coincided with that revealed by angiocardiography.

Thus, the combined use of the ultrasonic pulsed Doppler technique and cross-sectional echo-

国立循環器病センター病院 内科
*同 研究所
吹田市藤白台 5-125 (〒565)

National Cardiovascular Center, Hospital and *Re-
search Institute, Fujishiro-dai 5-125, Suita 565

Presented at the 17th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Sendai, October 20-21, 1978
Received for publication December 18, 1978

cardiography is useful for the transcutaneous detection and analysis of regurgitant flow in mitral regurgitation.

Key words

Pulsed Doppler technique Cross-sectional echocardiography Mitral regurgitation Mitral regurgitant flow Mitral valve vibration

はじめに

超音波パルス・ドプラー法^{1,2)}の進歩により、心臓内血流動態の非侵襲的解析が可能となり、その生理学的、病態生理学的意義が明らかにされつつある。この研究では、超音波パルス・ドプラー法と超音波心断層法³⁾とを組み合わせて使用し、後者によりドプラー採取部位の心臓内における位置を同定しながら、僧帽弁閉鎖不全の逆流について分析を行った。

対象および方法

対象は 25~66 歳の僧帽弁閉鎖不全および僧帽弁狭窄兼閉鎖不全の 30 例である(他弁閉鎖症合併例を含む)。基礎疾患はリウマチ性と考えられるもの 15 例、僧帽弁腱索断裂 5 例、僧帽弁逸脱症候群 3 例、亜急性細菌性心内膜炎 2 例、冠動脈疾患 2 例、その他の原因による僧帽弁閉鎖不全 3 例である。全例について心臓カテーテル、左室造影を行い、僧帽弁閉鎖不全を確認した。逆流の程度は Sellers の分類にて、I 度 3 例、II 度 6 例、III 度 8 例、IV 度 13 例であった。

使用装置には日立メディコ製方向指示型超音波パルス・ドプラー血流計 (EUD-4Z) と、Aloka 製超音波断層装置 (SSD-120) を組み合わせて用いた。前者では M モード心エコー図とドプラー信号が同時記録される。パルス・ドプラー血流計の搬送周波数は 2.5 MHz、パルス繰り返し数は 4.5 KHz である。サンプリング部位は深さ 0.5~15 cm までの間で可変であり、同時記録の M モード心エコー図上に表示される。また、サンプルボリュームの深さ方向の大きさは 2 mm, 5 mm, 10 mm の三種選択可能である。ドプラー信号の

表示はリアルタイム、オンラインのサウンド・スペクトログラムによって、探触子に近づく流れは基線より下に、遠ざかる流れは基線より上に示される (Fig. 1)。

記録にさいしては、サンプリング位置を M モード心エコー図上でモニターしつつ、サンプリング位置を連続的に動かして、僧帽弁口部および左房内を広く探索し、異常ドプラーシグナル検出領域の大まかな見当づけを行った。その後、心電図 R 波より 100 msec 遅れた時相(収縮期)にて、この異常ドプラーシグナル検出領域を含む心長軸断層図を作成し、シグナル検出のビーム方向と、ビーム上のサンプル位置を心断層図上に表示した上で、その部位でのドプラーシグナルを記録した。

成 績

僧帽弁閉鎖不全における成績を述べる前に、比較のため健康人での同一検索領域における一般的所見を述べる。

① 左房腔内ドプラーシグナル: ビーム方向が第 3~4 肋間からやや見上げるような方向の時、左房中央部では、拡張期には基線より下方の比較的周波数の低いシグナル、すなわち探触子に向う比較的ゆるやかな成分を有する流れが検出される。収縮期には同方向の成分がわずかに記録されるにすぎない (Fig. 2, Beam 1)。

② 僧帽弁口部ドプラーシグナル: ほぼ同じようなビーム方向で、拡張期には明瞭な、二峰性の僧帽弁口血流を現すドプラーシグナルが記録される。収縮期には、心運動に伴う僧帽弁の動きによると考えられるドプラーシグナルのみが、わずかに検出されるにすぎない (Fig. 2, Beam 2)。

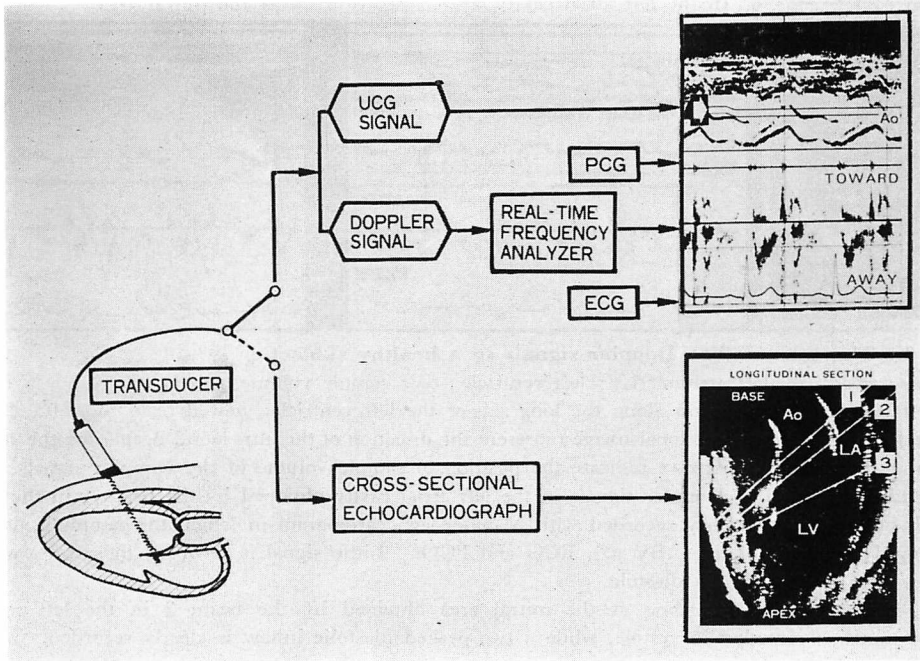


Fig. 1. Schematic diagram of the system for detecting the intracardiac blood flow.

本研究主題の僧帽弁閉鎖不全における成績は以下のごとくである。

1. 左房腔内ドプラーシグナル

第 3~4 肋間からのビーム投入により、左房腔内で異常ドプラーシグナルが記録された (Fig. 3). このドプラーシグナルは僧帽弁閉鎖ドプラーシグナルの時期から始まり、II 音を超え、僧帽弁開放ドプラーシグナルの時期まで持続していた。その性状は症例により、探触子に近づく一方向性成分の場合と、探触子に近づく流れと遠ざかる流れの成分の同時混在を示す両方向性のシグナルとの場合があり、かつ広い周波数帯域に広がっていて、種々の流速成分の混在を示した (Fig. 3).

このような左房腔内での異常ドプラーシグナルは、30 例中 11 例で検出された。検出された例はすべて II 度以上の逆流例であったが、高度逆流例で検出されないものもあった。基礎疾患別による検出率の差は、今回の検討の範囲ではまだ明らかにしうる段階ではない。

以上のような操作によって、左房腔内の可及的広い範囲にわたって多数のビームを投入し、かつ各ビーム方向でサンプル部位を左房前壁より後壁まで、逐時移動させることにより、左房腔内における異常ドプラーシグナルの検出領域を検討した (Fig. 4). このようにして左房腔内における逆流の存在範囲を、心断層図上に記録した。以下にその 1, 2 例をあげて説明する。

症例 1: M. M., 47 歳, 女, リウマチ性僧帽弁狭窄兼閉鎖不全症

この例では左室アングリオグラムにて、III 度の逆流が左房中央部を中心に認められた。ドプラー所見では、サンプル部位が左房前壁より背面に向うにつれ、異常ドプラーシグナルは次第に強大となり、再び減衰するのが認められた。これはサンプル部位が逆流の周辺部から、中央部をとおり、再び周辺部へと横切ったことによるものと考えられた (Fig. 4). 断層図上の異常ドプラーシグナル検出範囲は、僧帽弁口部から左房中央部にかけて

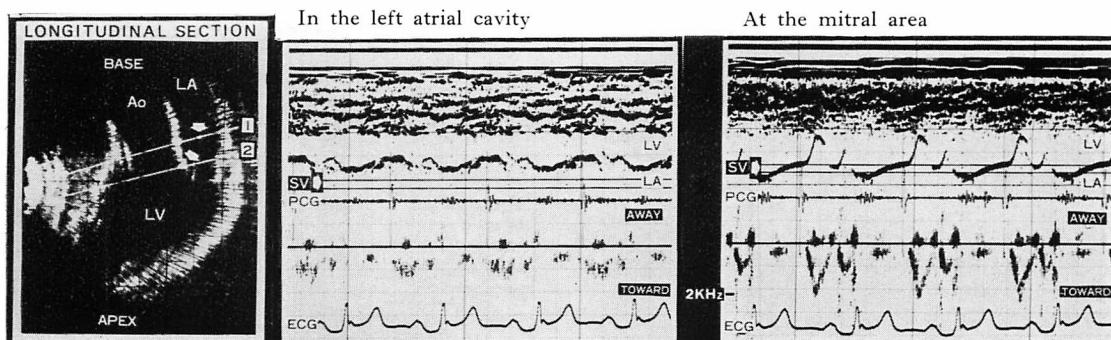


Fig. 2. The intracardiac Doppler signals in a healthy subject.

Ao=aorta; LA=left atrium; LV=left ventricle; SV=sample volume.

Left panel: Cross-section along the long axis of the left ventricle, viewed from the left. Two white lines in the cross-sectional image represent the direction of the ultrasound beams for the middle and right panels. Arrows indicate the position of sample volume of the Doppler signals.

Middle panel: The Doppler signals in the left atrial cavity obtained by the beam 1 in the left panel, being simultaneously recorded with M-mode echocardiogram in which the sampling site is displayed by a pair of lines (SV ⇔), ECG and PCG. Little signal is recorded in systole, while a slow flow is observed in diastole.

Right panel: The recording at the mitral area obtained by the beam 2 in the left panel. Little signal is recorded in systole, while a two-peaked diastolic inflow is clearly recorded.

認められた。

症例 2: S. U., 44 歳, 女, 僧帽弁後尖腱索断裂による僧帽弁閉鎖不全症

この例の左室アンギオグラムでは, 僧帽弁後尖が左房へ翻転し, IV 度の逆流が僧帽弁前尖の左房側, ついで左房前壁にそった流れとして認められた。ドプラー所見では, 左房前壁付近で両方向性ドプラーシグナルが記録され, 左房腔内へサンプル部位を移動させるとともに, 一方向性シグナルへと変化した。断層図上の異常ドプラーシグナル検出範囲は, 左房前半部に局限していた (Fig. 5)。これはアンギオグラムによる逆流の方向と, ほぼ一致した部位であった。

このような左房腔内で, 広範囲に明瞭な異常ドプラーシグナルが検出できたものは, 11 例中 4 例であった。

2. 僧帽弁口部ドプラーシグナル

従来の報告は単に M モード心エコー図のみをモニターとして用いているため, 検出部位の空間的位置決めには限度があった。今回の研究では,

断層法による位置同定を行い, 断層図上, 僧帽弁尖接合部とみられる部位で両方向性の強い広周波数帯域シグナルが検出された (Fig. 6)。

このような僧帽弁口部における両方向性の異常ドプラーシグナルは, 30 例中 28 例で検出された。

考 察

Baker¹⁾, Peronneau ら²⁾により, 超音波パルスドプラー法が開発され, 同じ目的をもった M 系列変調ドプラー法⁴⁾も開発された。その後, 装置の改良とともに, 次第に臨床⁵⁻¹³⁾への応用が企てられるに至った。僧帽弁閉鎖不全に関しては, 逆流に基づくドプラーシグナルが記録され, その性状から, これは逆流による乱流ジェットをとらえたものと理解されている³⁾。今回の研究では従来の検討をさらに進めて, 超音波パルスドプラー法と断層法を組み合わせ使用することにより, ドプラーシグナル検出部位の同定を二次元で行いつつ, 逆流のドプラー信号の記録, 分析を行った。このさい, 超音波ビームを多方向に投入して検索する

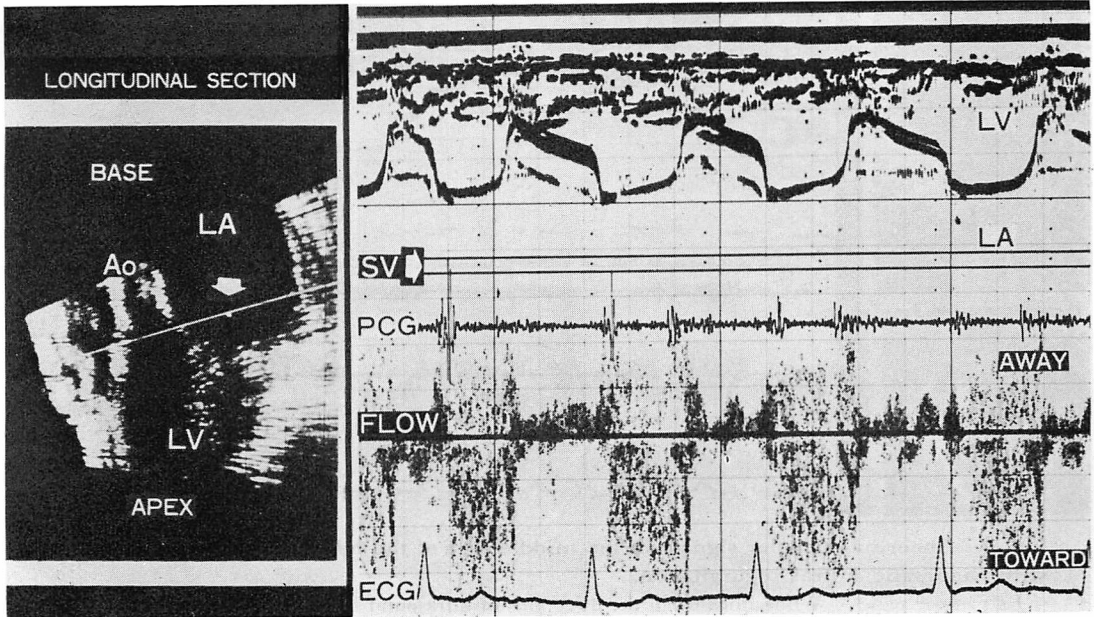


Fig. 3. Abnormal Doppler signals in the left atrial cavity in a patient with rheumatic mitral regurgitation.

Left panel: A white line shows the beam direction and the position of sample volume.

Right panel: Abnormal Doppler signals detected at the above sampling position. It is harsh and reveals a bi-directional wide velocity spectrum.

ことにより、逆流の分布範囲を明示するとともに、これに基づき、逆流がいずれの方向に向うかまでも明らかにすることが可能となった。

1. 左房腔内ドプラーシグナル

左房腔内で、一方向性ないし両方向性の異常ドプラーシグナルが検出された。このような異常シグナルは健常者では検出されないこと、またその出現時相、検出場所より考えて、僧帽弁閉鎖不全による左房内逆流に直接関係したものと考えられる。Johnsonら^{5,9)}も、Mモード法のみモニターのもとではあるが、左房内に異常ドプラーシグナルを検出し、逆流ジェットを捉えたものと考えている。

さて今回検出された異常ドプラーシグナルには、一方向性の場合と両方向性の場合とがあった。一方向性の場合は、流れの主流を捕えたものと考えることができる。両方向性のシグナルは、1つに

は超音波ビームが流れに直角に当たっていた場合も考えられるが、また流れが渦流などを含む著しく乱れた流れの場合もありうる。このさい、前者であれば、その強度は余り強くないのが普通であるのに対し、今回検出される両方向性のシグナルは強く、またいずれのビーム方向でも両方向性のことが多いので、両方向性の解釈は後者のほうがあたっていると考えられる。なお今回の一方向性の場合、たとえ他方向の成分を有していても、それが弱い時には装置感度などの関係から、記録の上に十分表現されなかった可能性もあるので、なお今後検討すべき余地を残している。

いずれにせよ、今回左房内に検出された異常ドプラーシグナルは、両方向性のことが多く、Johnsonらの報告も両方向性であるので、僧帽弁閉鎖不全の逆流ジェットは一般に著しい乱流と考えられる。Kalmansonら¹⁰⁾は一方向性の逆流を報告

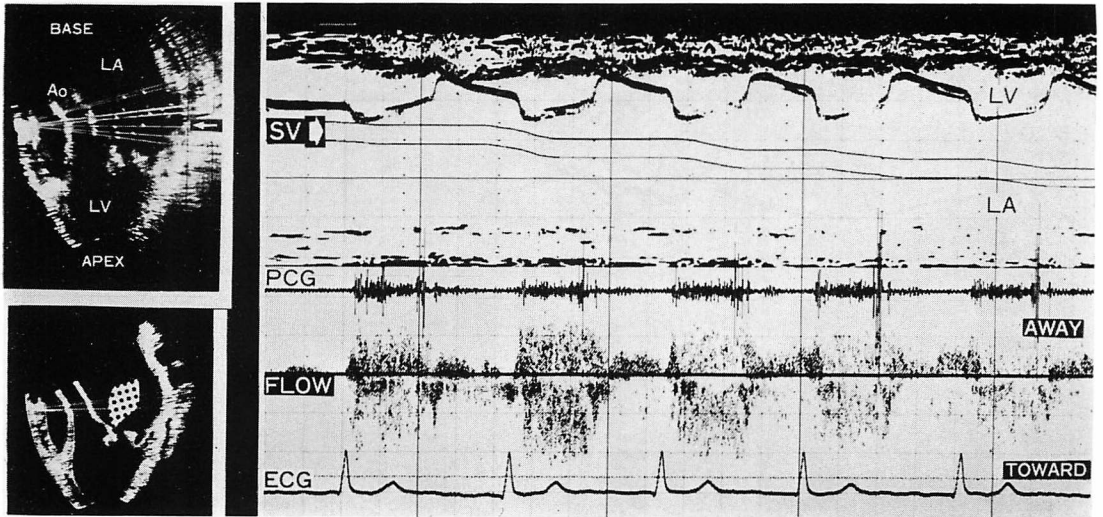


Fig. 4. Abnormal Doppler signals in the middle area of the left atrial cavity in a patient with rheumatic mitral regurgitation.

Left upper panel: White lines mean the directions of ultrasound beam. The abnormal Doppler signals are recorded in ranges between two white points on each line. An area encircled by these white points is interpreted to be the extent of regurgitant flow.

Left lower panel: Schematic illustration of the extent of regurgitant flow in the left atrial cavity.

Right panel: The abnormal Doppler signals recorded with changing the depth of sample volume along the beam direction indicated by an arrow (\leftarrow) in the left upper panel.

しているが、この場合の表示には零交叉数計が用いられており、零交叉数計は両方向成分の和のみしか表示できないこと、かつビームの投入が心尖部近くから行われているため、逆流の全体としての方向が主となって、一方向性というような所見になったものと考えられる。一方、Kalmansonらの場合に比べると、今回の場合やJohnsonらの場合、両方向性の傾向が強いの、ビーム方向が流れに直角に近いと考えられるという因子も多少は含まれているかも知れない。

なお、左房前壁に向って逆流が認められた僧帽弁後尖腱索断裂例(症例2)では、異常ドプラーシグナルは左房腔内では一方向性であったが、サンプル部位が一部大動脈後壁ないし左房前壁にかけると、両方向性へと変化した。この例では大動脈弁疾患などはなく、大動脈壁において、異常ドプラーシグナルを生ずる原因は他に見出しえな

った。このことから考えて、同例の両方向性の異常ドプラーシグナルは逆流血流が左房前壁に当たるため引き起こされた渦流そのものを検出したものか、または逆流血流により惹起された左房前壁ないし大動脈後壁の振動による可能性が高い。

ビームを多方向に投入して得た左房腔内での異常ドプラーの検出範囲には、左房前壁に沿うものとか、左房中央を上方にのびるものなどがあった。この範囲の弁口を起点としての拡がり、逆流の全体としての向きを示すものと解され、左室造影に見られた逆流の方向ともよく対応した。このことからパルスドプラー法により、逆流の全体としての向きを非侵襲的に検出しようものと考えられる。

しかし、左房腔内での異常ドプラーシグナルは、30例中11例で検出されたにすぎなかった。これは1つには左房が胸壁より深く、このため超音波

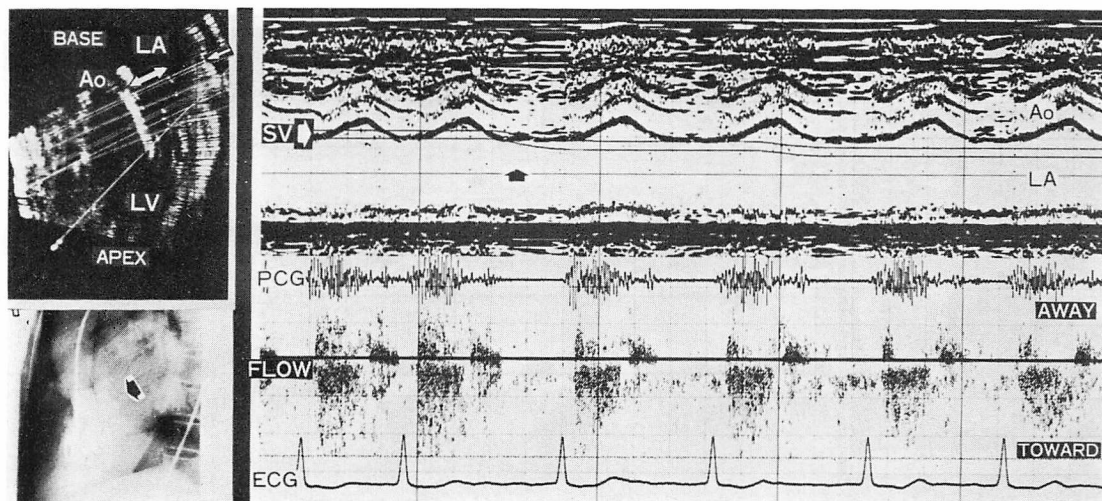


Fig. 5. Abnormal Doppler signals in a patient with torn chordae of the posterior mitral leaflet.

Right panel: The abnormal Doppler signals recorded with changing the depth of sample volume along the beam direction indicated by an arrow (\leftarrow) in the left upper panel.

Left upper panel: White lines mean the directions of ultrasound beam. The abnormal Doppler signals are recorded in ranges between two white points on each line. The area in which the abnormal Doppler signals are detected, is localized in the anterior half of the left atrial cavity.

Left lower panel: The lateral view of the angiogram of the left ventricle and the left atrium. A black arrow indicates the regurgitant flow.

の減衰が大で、また S/N 比も低下することが一因と考えられる。しかし逆流方向への十分なビームの投入など、検索が不十分であった可能性も残されている。今後、装置操作の難易度や感度の向上とともに、投入ビーム方向の検討により検出率は向上するものと思われる。

2. 僧帽弁口部ドプラーシグナル

僧帽弁口部では高率に異常ドプラーシグナルが検出された。この異常ドプラーシグナルは弁口部に限局しており、全例、両方向性の強いシグナルであった。また広周波数帯域に広がるものの、比較的 low frequency 成分に富んでいた。この性状は上述の大動脈後壁または左房前壁の振動と思われるものに似ている。また一般的に大動脈弁閉鎖不全の逆流による僧帽弁振動¹⁴⁾についても、ドプラーシグナル¹⁵⁾が得られるが、上述のシグナルはこれにも似ていた。また僧帽弁閉鎖不全症の少数例で、

心エコー図上収縮期僧帽弁振動¹⁶⁾が記録された報告もある。したがって、この異常ドプラーシグナルは必ずしも弁口部での逆流ジェットそのもののみではなく、逆流に起因する僧帽弁口周辺組織の振動の影響も加味されたものである可能性がある。これらの点を解明するためには、モデル実験など今後の検討が必要である。

要 約

左室造影法にて逆流を確認した、僧帽弁閉鎖不全症 30 例を対象とし、超音波パルスドプラー法、断層法の組み合わせによりその逆流について検討した。

僧帽弁閉鎖不全症において、全収縮期、僧帽弁口部、左房腔内にて異常ドプラーシグナルが検出され、断層図上にその検出範囲が表示された。

僧帽弁口部における異常ドプラーシグナルは

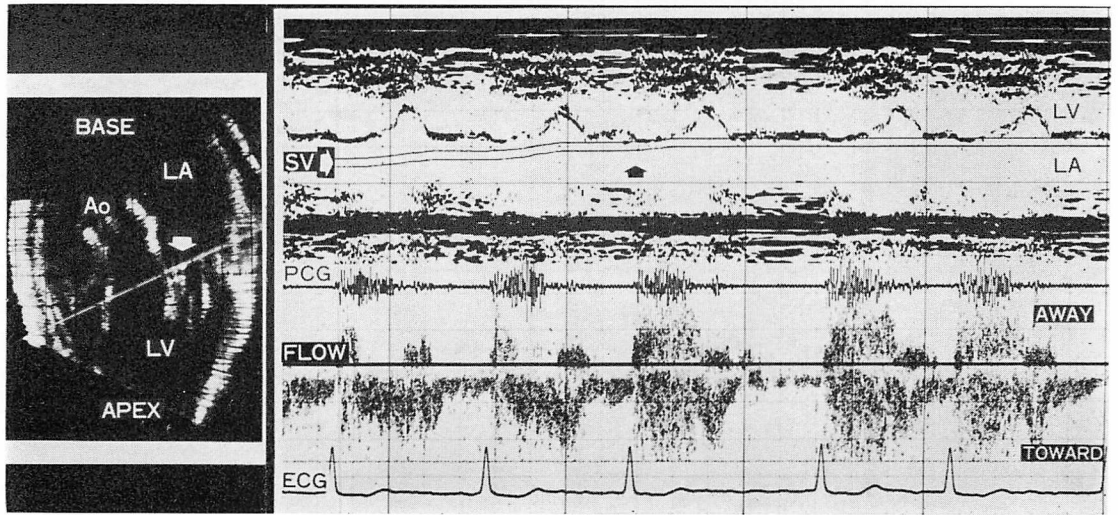


Fig. 6. Abnormal Doppler signals at the mitral ostium in a patient with torn chordae of the posterior mitral leaflet.

Left panel: An arrow indicates the position of sample volume.

Right panel: Change of the abnormal Doppler signal with changing the sampling site from the left atrium to the mitral area.

30 例中 28 例に検出され、その性状は両方向性の強大な、広周波数帯域のものであった。このシグナルは弁口部逆流ジェットと考えられるが、なお僧帽弁振動の影響している可能性もある。

左房腔内における異常ドプラーシグナルは 30 例中 11 例に検出された。その性状は一方向性のこともあるが、一般的に両方向性のことが多く、広周波数帯域の乱れた逆流と考えられた。また断層図上に異常ドプラーシグナル検出範囲を表示したところ、そのうちの 4 例において、とくに検出範囲を明瞭に記録できた。この弁口を起点とする検出範囲の拡がりは逆流全体としての向きと範囲を示すものと考えられた。この結果は左室造影法による逆流とよく対応した。

文 献

- 1) Baker DW: Pulsed ultrasonic Doppler blood flow sensing. *IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonic* (Vol. SU-17) 3: 170-185, 1970
- 2) Peronneau P, Xhaard M, Nowicki A, Pellet M, Delouche PH, Hinglais J: Pulsed Doppler ultra-

sonic flowmeter and flow patterns analysis. *in* Blood Flow Measurements (Roberts C ed). Sector Publishing Ltd, London, 1972, p 24

- 3) Nimura Y, Matsuo H, Kitabatake A, Hayashi T, Asao M, Terao Y, Senda S, Sakakibara H, Abe H: Studies on the intracardiac blood flow with a combined use of the ultrasonic pulsed Doppler technique and two-dimensional echocardiography from a transcutaneous approach. *in* *Ultrasound in Medicine* (White D, Brown RE, ed). Plenum Publishing Co., New York, 1977, p 1279-1289
- 4) Tanaka M, Okujima M, Ohtsuki S, Terasawa Y, Konno K, Ebina T: Non-invasive measurement of the blood flow velocity and of velocity distribution in cardiac chambers and great vessels by a new Doppler flowmeter system. *in* *Ultrasound in Medicine* (White D, Brown RE ed). Plenum Publishing Co., New York, 1977, p 1263-1277
- 5) Johnson SL, Baker DW, Lute RA, Dodge HT: Doppler echocardiography: The localization of cardiac murmurs. *Circulation* 48: 810-822, 1973
- 6) Baker DW, Rubenstein SA, Lorch GS: Pulsed Doppler echocardiography: Principles and applications. *Amer J Cardiol* 63: 69-80, 1977
- 7) Lorch GS, Rubenstein SA, Baker DW, Dooley T, Dodge H: Doppler echocardiography. Use of

- a graphical display system. *Circulation* **56**: 576-585, 1977
- 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) Johnson SL: Pulse-Doppler echocardiography: Localization of murmurs and spectrum of clinical applications. *in Advances in Heart Disease* (Mason DT ed). Grune & Stratton, New York, 1977, p 389-418
 - 10) 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. *Brit Heart J* **39**: 517-528, 1977
 - 11) 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**: 515-527, 1977
 - 12) 仁村泰治, 松尾裕英, 北畠 顕, 林 亨, 浅尾雅人, 寺尾祐輔, 千田彰一, 榑原 博, 阿部 裕: 方向指示型パルスドプラー血流計による心臓内血流の検討. *日超医講演論文集* **29**: 47-48, 1976
 - 13) 中塚喬之, 小池真弓, 中山信彦, 久能 晃, 古幡博, 吉村正蔵: 超音波パルスドプラー血流計の臨床応用. *電子医学* **11**: 255-259, 1976
 - 14) Winsberg F, Gabor GE, Hernberg JG, Weiss B: Fluttering of the mitral valve in aortic insufficiency. *Circulation* **41**: 225-229, 1970
 - 15) 宮武邦夫, 木下直和, 榑原 博, 仁村泰治: 大動脈弁閉鎖不全症における心臓内血流パターンについて. *日超医講演論文集* **34**: 13-14, 1978
 - 16) Sze KC, Nanda NC, Gramiak R: Systolic flutter of the mitral valve. *Amer Heart J* **96**: 157-162, 1978