

超音波パルスドプラー法による大動脈弁閉鎖不全症の検討

A study on aortic insufficiency by means of pulsed Doppler echocardiography

渡口真佐夫
一宮 恵
横井 清
南木 道生
伊藤 健一
松原 達昭
柳沢 潔
日比 範夫
福井 洋一
西村 欣也
神戸 忠

Masao TOGUCHI
Satoshi ICHIMIYA
Kiyoshi YOKOI
Michio NANKI
Kenichi ITOH
Tatsuaki MATSUBARA
Kiyoshi YANAGISAWA
Norio HIBI
Yoichi FUKUI
Kinya NISHIMURA
Tadashi KAMBE

Summary

Pulsed Doppler echocardiography (PDE) was performed on 39 patients with aortic insufficiency (AI), isolated or associated with other cardiac diseases, using a ATL 500A pulsed Doppler system. The diagnosis was confirmed by angiocardiography in 23 cases. The purpose of the present study was to detect the disturbed flow due to AI and to investigate the sensitivity of PDE to this lesion, comparing with the angiographic severity of AI (Sellers).

The transducer was placed over the left sternal border and the flow pattern was recorded at the aortic valve orifice and the proximal and distal left ventricular outflow tract (LVOT), using a strip chart recorder (Honeywell) at a paper speed of 100 mm/sec.

The specific feature of AI was a widely dispersed dot pattern which began at the aortic valve closure and extended to late diastole.

The severity of AI was graded by aortogram in 23 patients. In grade I and II, the abnormal dot pattern due to AI was mostly detected at the aortic valve orifice and the distal LVOT, but it was rather difficult to detect the disturbed flow at the proximal LVOT. In contrast, in grade III and IV, the disturbed flow was recorded at all the sampling sites.

In grade I and II, the abnormal dot dispersion at the proximal LVOT was not so large at its onset in diastole but it tended to increase after mitral valve opening, whereas in the majority of patients of

名古屋大学医学部 第三内科
名古屋市昭和区鶴舞町 65 (〒466)

The Third Department of Internal Medicine, Nagoya
University School of Medicine, Tsurumai-cho 65,
Showa-ku, Nagoya 466

Presented at the 19th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Kyoto, October 20-21, 1979
Received for publication December 12, 1979

grade III and IV, a large dot dispersion was recognized from its onset to late diastole independent from the mitral valve opening.

The typical flow pattern due to AI was detected at the LVOT in 36 out of the 39 patients (92.3%). Moreover, it was detected in all the patients with angiographically proved AI except one case of grade I (95.6%).

Key words

Pulsed Doppler echocardiography Aortic insufficiency Time interval histogram Sensitivity
Aortogram

はじめに

大動脈弁閉鎖不全症 (以下 AI) の臨床的な診断は、今日、心音図法¹⁻³⁾、超音波心エコー図法⁴⁻¹⁰⁾等によってなされている。これらの診断法は病理解剖学的変化およびそれに伴って生ずる音響学的特徴を利用した間接的診断法である。一方、AI の逆流の確定およびその程度の診断法は従来電磁血流計法¹¹⁾、大動脈造影法^{12,13)}、心内心音法¹⁴⁻¹⁶⁾等によって施行されてきたがいずれも侵襲的方法である。近年各種の超音波パルスドプラー装置が実用化され臨床に用いられてきている^{17,18)}。Bakerらは超音波心エコー図法と超音波ドプラー血流計を結合させることによって、非侵襲的に大血管内および心臓腔内の特定部位の血流パターンを検索する装置¹⁹⁾を開発し、臨床に応用している²⁰⁾。今回の研究目的は、超音波パルスドプラー法によって、AI の逆流による異常血流パターンの特徴とその検出率について、とくに大動脈造影によって決定した重症度との対比において検討することにある。また同時に異常血流の検出できる範囲についても検討した。

対象および方法

対象は聴診上明らかな拡張期灌水様雑音が聴取された典型的 AI 16 例、および大動脈造影により AI と診断された 23 例、合計 39 例である。年齢は 6~72 歳、平均年齢 38.8 歳で、男性 29 例、女性 10 例である。純型 AI は 11 例、合併弁膜症例は大動脈弁狭窄合併例 10 例、僧帽弁狭窄合併例

19 例、僧帽弁閉鎖不全合併例 7 例で、うち 10 例は 2 種以上の合併症を有している。また心室中隔欠損合併例が 3 例あり、そのうち 2 例は心室中隔閉鎖術後症例である (Table 1)。23 例において超音波パルスドプラー検査前または後に大動脈造影を施行し、逆流ジェットを確かめ、逆流度を決定した。逆流度は Sellers の分類により、I 度 7 例、II 度 8 例、III 度 6 例、IV 度 2 例であった。

Table 1. Case materials

Aortic Insufficiency	No. of patients	Sex		Age (mean)
		Male	Female	
Pure AI	11	7	4	45.6
Associated with				
AS	10	8	2	46.1
MS	19	13	6	41.4
MI	7	5	2	37.4
VSD	3	3	0	14.0
Total	39	29	10	38.8

AI = aortic insufficiency; AS = aortic stenosis; MS = mitral stenosis; MI = mitral insufficiency; VSD = ventricular septal defect. Ten out of 25 patients of combined valvular disease had another overlapped associated lesion.

装置は ATL 製 500A パルスドプラー装置を使用した。本装置は超音波心エコー図法とドプラー血流計を結合させた装置で、発振周波数は 3 MHz、パルス繰り返し周波数は 5.5 KHz である。その場合のサンプルボリューム (SV) は 0.5 cm より 12 cm の深さの間で可変であり、M モード心エコー図上に深度が表示される。サンプルボリュームは 2×4 mm の涙滴形である。サンプルボリ

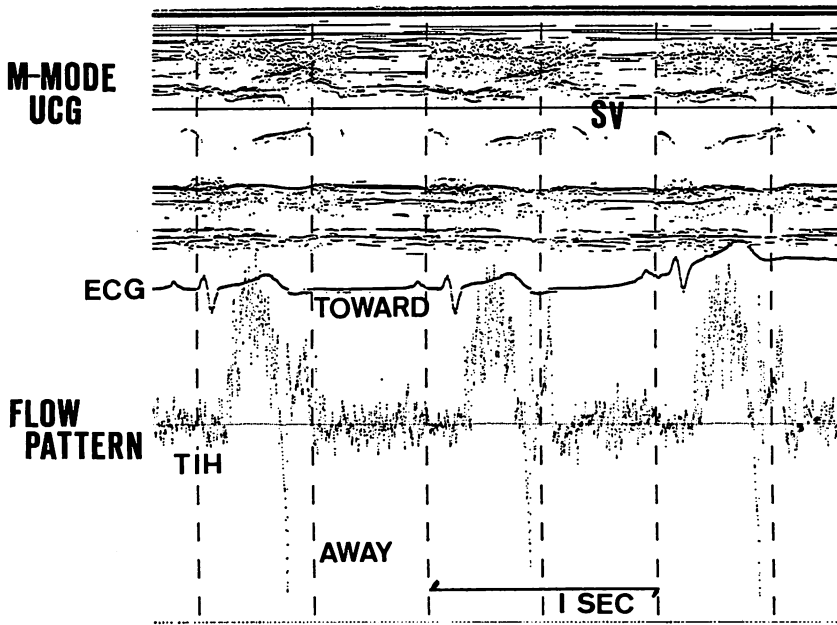


Fig. 1. Pulsed Doppler echocardiogram.

The M-mode echocardiogram is shown in the upper part of the tracing, where a horizontal line indicates the position of the tear drop shaped sample volume with an effective size of 2 by 4 mm. In the middle, the electrocardiogram is displayed. And in the lower part of the tracing, the flow pattern from the sample volume is shown by the time interval histogram. Above the zero base line is the flow toward the transducer and below the line the flow away from the transducer. The distance from the base line is proportional to the blood flow velocity within the sample volume.

SV=sample volume; UCG=ultrasound cardiogram; ECG=electrocardiogram; TIH=time interval histogram.

ウム内の血流パターンは time interval histogram (TIH) として表示される。基線より上方はトランジューサーに近づいてくる血流，下方はそれより遠ざかる血流を表わしている (Fig. 1)。血流速度は基線からの距離に比例して大きくなる。サンプルボリューム内の血流が層流の場合は幅の狭いバンド状のドットパターンとして表示され，乱流の場合は幅の広い分散したドットパターンとして表示される。

被験者は仰臥位にして超音波ビームを胸骨左縁第3，第4肋間および心尖部より挿入し，左室流出路の血流パターンを記録した。サンプルボリュームは Fig. 2 のごとく A 点，M 点，O 点の3点，すなわち大動脈弁口部，M モード心エコー図上

僧帽弁前尖が良く記録できる方向の左室流出路，前2者のほぼ中間にあたる左室流出路の3点に設定し，AI による異常血流を探索した。また対象として健常者の同部位の血流パターンも記録した。記録には Honeywell 製の strip chart recorder を使用し，紙送り速度は 100 mm/sec である。

結 果

1. 健常者における血流パターン

対象として Fig. 2 に示した3点における健常者の血流パターンを示す。

(1) A 点にサンプルボリュームを置いた時の血流パターン (Fig. 3 A)

収縮期はトランジューサーに近づく方向 (to-

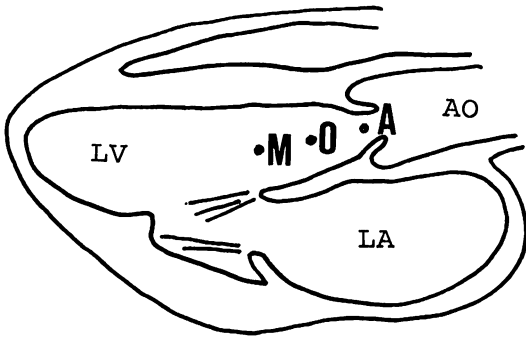


Fig. 2. Schematic illustration of sampling sites.

Point A indicates the sampling site at the aortic valve orifice and point M is located in the left ventricular outflow tract where the anterior mitral leaflet is maximally recorded in the M-mode echocardiogram. Moreover, point O is located between the points A and M.

LV=left ventricle; LA=left atrium; AO=aorta.

ward) のわずかに分散したドットパターンを示し, 大動脈弁クリックで終わっていた. 拡張期はほぼ僧帽弁前尖 D 点に相当する時点での, toward の方向のスパイク状の血流以外ほとんど基線より変動しない, 幅の狭いバンド状のドットパターンを示していた.

(2) O 点にサンプルボリュームを置いた時の血流パターン (Fig. 3 B)

収縮期は A 点と同じく toward の方向の幅の狭いバンド状のドットパターンを示し, 大動脈弁クリックで終わっていた. 拡張期は基線付近をわずかに変動する, 幅の狭いドットパターンを示していた.

(3) M 点にサンプルボリュームを置いた時の血流パターン (Fig. 3 C)

収縮期はトランジューサーから遠ざかる方向 (away) の幅の狭いドットパターンを示し, 拡張期は僧帽弁開放に一致して, 急速流入によると思われる収縮期と逆方向のわずかに分散したドットパターンが見られた. また心電図 P 波の後に両方向性の小さな血流が見られた. 以上のごとく, 健康者における左室流出路の血流パターンは, おお

むね幅の狭いバンド状のドットパターンを示すのが特徴であった.

2. AI における血流パターン

Fig. 4 は 83 歳の男性, 梅毒性大動脈炎によると思われる純型 AI の症例で, M 点よりサンプリングした時の血流パターンである. 収縮期は層流状の away の方向の血流を示している. 一方, 拡張期はほぼ大動脈弁閉鎖時点より始まる, 収縮期の血流方向と逆方向の成分の多い幅広いドットパターンを示し, それは心電図 QRS まで続いていた.

Fig. 5 は 49 歳男性, 拡張期楽音様雑音が聴取された純型 AI の症例で, 大動脈造影で Sellers III 度の逆流度である. O 点にサンプルボリュームを設定した時の血流パターンでは収縮期には幅の狭い基線付近をわずかに変動するドットパターンであった. 一方, 拡張期にはほぼ大動脈弁閉鎖時点より始まる両方向性の幅の広い異常なドットパターンを示し, 心電図 QRS まで続いていた.

Fig. 6 は Fig. 5 と同じ症例の A 点近くよりサンプルした時の血流パターンである. 同じく, ほぼ大動脈弁閉鎖時点より始まる, 両方向性の幅の広い異常なドットパターンが見られた. 拡張中期から後期にかけて見られるパターンは大動脈弁部にサンプルボリュームが置かれた時にのみ記録された.

Fig. 7 は 24 歳男性, 心室中隔欠損症に AI の合併した症例である. 大動脈造影で Sellers III 度の逆流度であった. サンプルボリュームを M 点に近い部位に設定した時の血流パターンでは, 収縮期には toward 方向の層流状血流パターンを示しているが, 拡張期にはほぼ大動脈弁閉鎖時点より始まる両方向性の非常に幅の広い異常なドットパターンを示していた. また拡張期の異常なドットパターンはその開始の時点で非常に幅広く, かつ僧帽弁開放後のドットの広がりとはほぼ同程度であった. このようなドットパターンは M 点よりサンプルした場合, 僧帽弁疾患のない Sellers III 度以上の AI 6 例中 5 例に見られた.

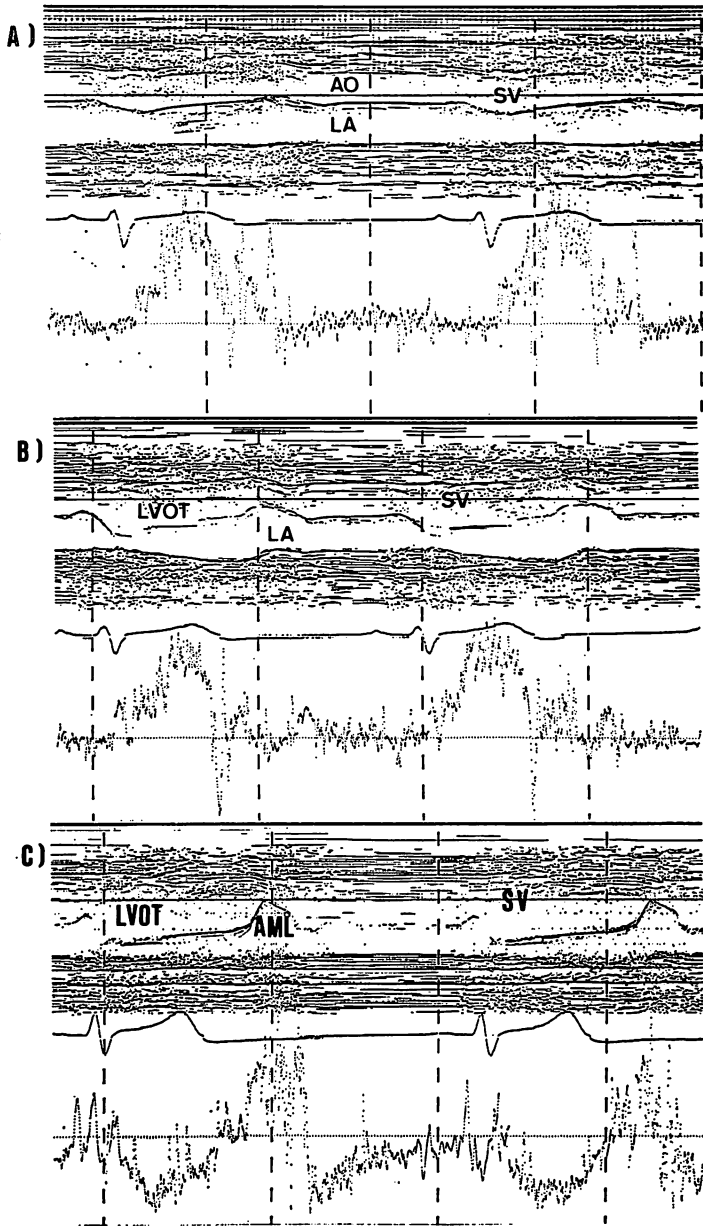


Fig. 3. Flow patterns by PDE in a normal subject.

A) The sample volume is located in the point A. The systolic flow shows a narrow band pattern, indicating a flow toward the transducer and is terminated by the valve click. The diastolic flow also indicates a narrow band pattern near the base line.

B) The flow pattern in the point O is similar to those in the point A.

C) The sample volume is located in the point M. The systolic flow shows a narrow band pattern directing away from the transducer. In early diastole a slightly dispersed dot pattern is observed which begins at the mitral valve opening, compatible with the rapid flow into the left ventricle.

AO=aorta; SV=sample volume; LA=left atrium; LVOT=left ventricular outflow tract; AML=anterior mitral leaflet.

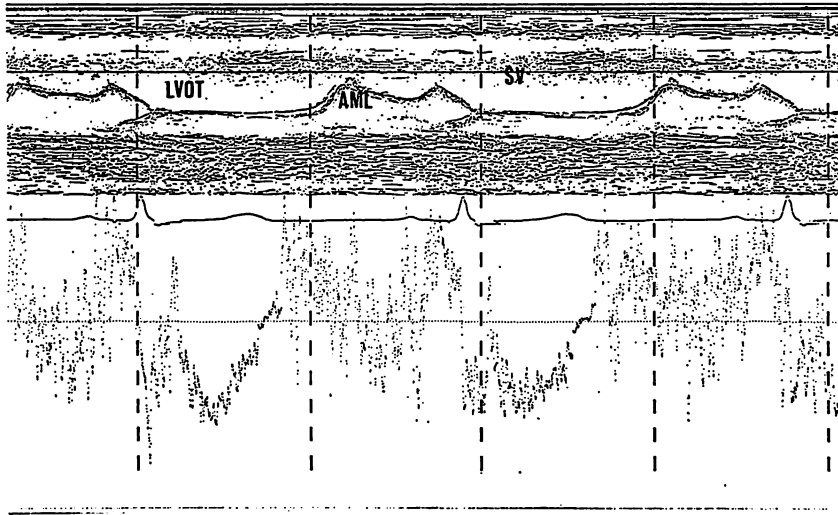


Fig. 4. Flow pattern in the point M from a 83-year-old male with pure aortic insufficiency.

The systolic flow shows a narrow band pattern away from the transducer, whereas the diastolic flow indicates a widely dispersed dot pattern that begins from the aortic valve closure and extends to late diastole.

Abbreviations: see Fig. 3.

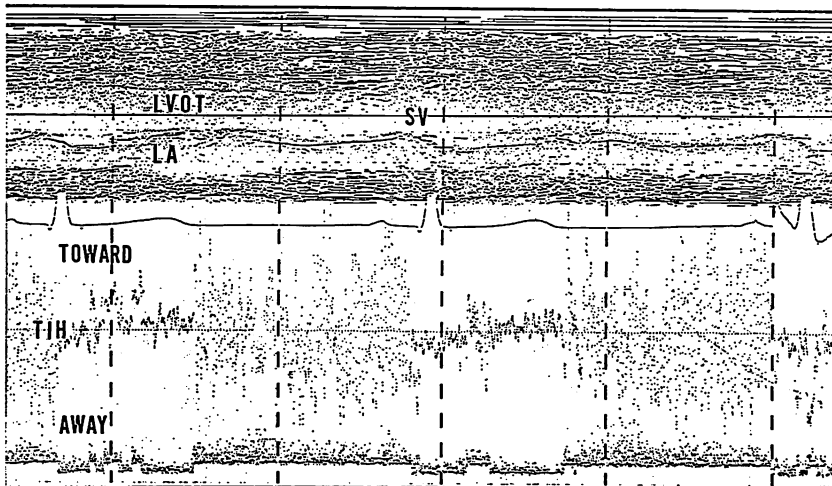


Fig. 5. Flow pattern in the point O from a 49-year-old male with pure aortic insufficiency.

In this case, a musical diastolic murmur is audible and aortic regurgitation of third degree is recognized by angiography (Sellers). A narrow band pattern is recognized near the base line in systole, whereas the diastolic flow is widely dispersed bidirectionally starting from the aortic valve closure. TIH=time interval histogram. Other abbreviations are the same as shown in Fig. 3.

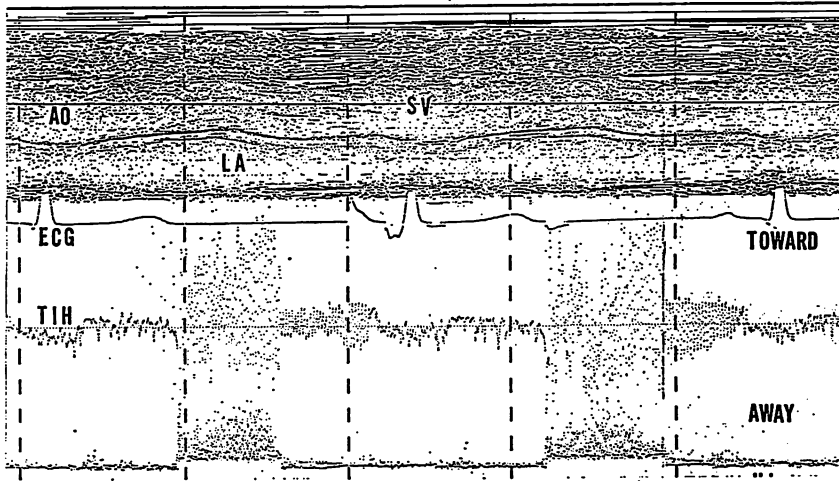


Fig. 6. Flow pattern from the same patient as in Fig. 5.

The sample volume is positioned in the point A. Similarly, the typical diastolic flow pattern of AI is recorded. And the late diastolic dot pattern is thought to be produced by the vibration of the aortic valve.

ECG=electrocardiogram; TIH=time interval histogram. Other abbreviations are the same as shown in Fig. 3.

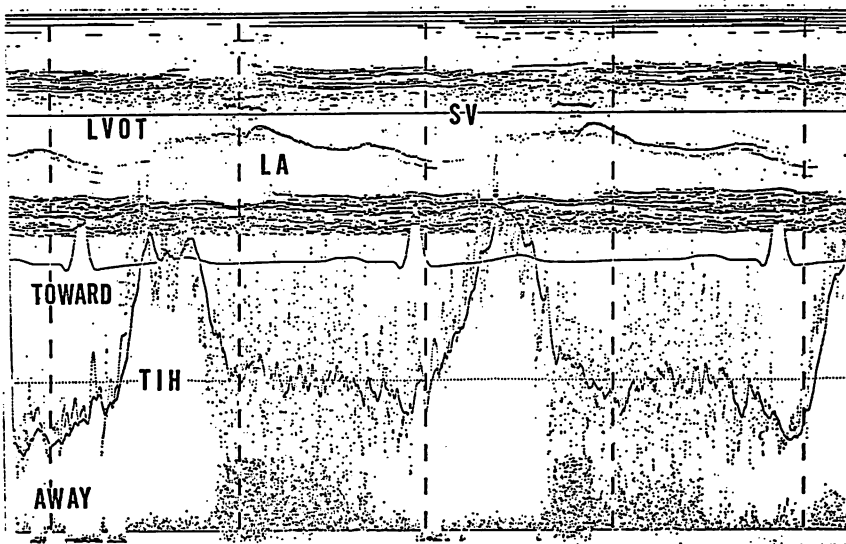


Fig. 7. Flow pattern in a 24-year-old male with aortic insufficiency and ventricular septal defect.

This case has aortic regurgitation of third degree (Sellers). The sample volume is positioned near the point M. And the systolic flow shows a narrow band pattern toward the transducer, whereas the diastolic flow is widely dispersed throughout diastole independent from the mitral valve opening.

TIH=time interval histogram. Other abbreviations are the same as shown in Fig. 3.

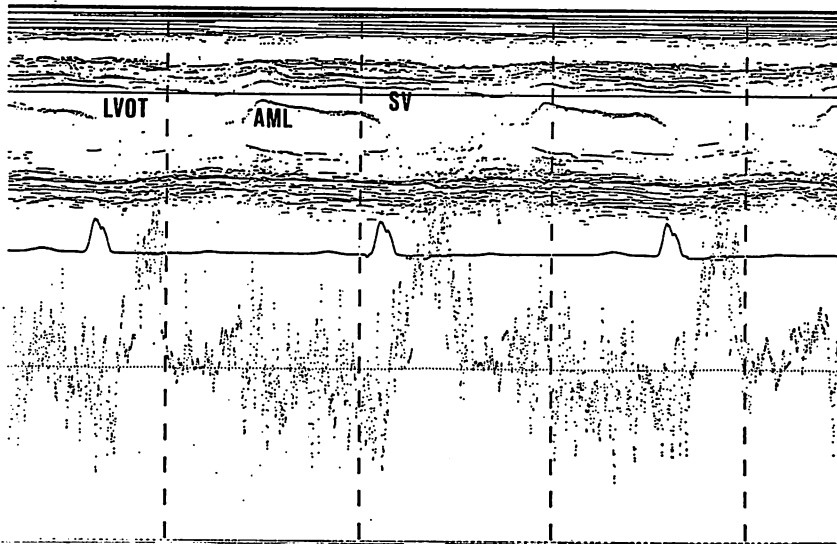


Fig. 8. Flow pattern in a 11-year-old male with aortic insufficiency and stenosis.

The sample volume is located in the point M. In systole, there is a narrowly dispersed dot pattern. In contrast, the diastolic flow shows a mildly dispersed dot pattern before the mitral valve opening. However, a widely dispersed dot pattern is recorded after the mitral valve opening.

Abbreviations: see Fig. 3.

Fig. 8 は 11 歳男性の大動脈弁閉鎖不全症兼狭窄症の、M 点よりサンプリングした時の血流パターンである。逆流度は大動脈造影で Sellers I 度であった。収縮期は toward の方向の層流状の血流パターンを示し、拡張期はおもに away の方向の幅の広いドットパターンを示していた。しかも拡張期のドットの分散はその開始の時点では軽度であるが、僧帽弁開放後は非常に大きい。このようなパターンは M 点よりサンプルした場合、僧帽弁疾患のない Sellers I 度あるいは II 度の逆流度の AI 3 例中 3 例に見られた。

3. AI による異常血流パターンの検出できる部位

Table 2 は A 点、O 点、M 点における AI に特徴的な拡張期異常血流パターンの検出性について、逆流度との対比において検討したものである。A 点と O 点に相当する左室流出路では、軽度の逆流度でも非常に良く AI に特徴的なパターンが検出された。なお M 点では検出率はわずかに減少したが、Sellers III 度以上の AI では上記 3 点

のいずれの部位でも検出可能であった。

4. パルスドプラー法による AI の異常血流パターンの検出率 (Table 3)

大動脈造影を施行した 23 例の、AI の逆流度別のパルスドプラー法による検出率は、Sellers I 度では 7 例中 6 例 (85.7%)、Sellers II 度では 8 例中 8 例 (100%)、Sellers III 度では 6 例中 6 例 (100%)、Sellers IV 度では 2 例中 2 例 (100%) であった。すなわち大動脈造影を施行した 23 例中では、22 例 (95.6%) に検出できた。また臨床的に、あるいは大動脈造影によって診断された全症例 39 例中では、36 例 (92.3%) に検出できた。

考案および結語

近年超音波パルスドプラー法の発展により、非侵襲的に心臓内の特定部位の血流パターンを検索することが可能になっている。特に、短絡性疾患、逆流性疾患の診断にこの方法が非常に有用であることが報告されている²¹⁻³¹⁾。今回我々が使用した

Table 2. Recognition of the abnormal disturbed flow due to aortic insufficiency in the left ventricular outflow tract

Case	Diagnosis	Aortography (Sellers)	PDE (Sampling site)		
			point A.	point O.	point M.
A.W.	AI + VSD	I°	-	-	-
N.I.	AI + MS	I°	+	+	-
M.H.	AI + MS	I°	+	+	+
H.S.	AI _s	I°	+	+	+
R.S.	AI + MS	I°	+	+	+
M.A.	AI _s + MS	I°	+	+	+
S.M.	AI + MSI	I°	+	+	+
T.T.	AI _s + MS	II°	+	-	-
T.O.	AI	II°	-	+	+
N.Y.	AI + MSI	II°	+	+	+
J.H.	AI + MS	II°	+	+	+
S.I.	AI _s + MS	II°	+	+	+
Y.A.	AI _s + MS	II°	+	+	+
S.N.	AI _s + MS	II°	+	+	+
H.Y.	AI + VSD	II°	+	+	+
H.S.	AI + VSD	III°	+	+	+
K.N.	AI	III°	+	*	+
N.Y.	AI + MSI	III°	+	+	+
H.I.	AI	III°	+	+	+
M.O.	AI	III°	+	+	+
K.Y.	AI	IV°	+	+	*
K.T.	AI	IV°	+	+	+

+ means that the abnormal disturbed flow due to AI is detected and - means that it is not detected. Points A, O, and M. are explained in Fig. 2. *=not examined; PDE=pulsed Doppler echocardiography. Other abbreviations are the same as shown in Table 1.

装置は、ゼロクロスパルスをも time interval histogram として表示したものである。

この装置はドプラーゲインを上げすぎたり、閾値を下げすぎたりするとノイズを拾いやすく、層流血を幅の広いドットパターンとして表示する危険性がある。そのため、我々は基線の幅が広がらないように、ドプラーゲインと閾値を適当に調節して記録した。Goldberg ら²⁸⁾は健常者の血流のドットの広がり、本装置では 1 cm をこえないと述べている。しかし現在、本装置による乱流血の明確な判定基準はない。我々の拡張期の異常

血流パターンの判定基準は、収縮期のドットの広がりより明らかに広いものを異常とした。

また本装置は血流の表示法として、time interval histogram のほかに、血流が可聴域の音としても表現される。すなわち、層流血は tonelike な、乱流血は harsh な音として表現される。この点も参考にして、乱流か層流かの判定をした。Kalmanson ら²⁹⁾は電磁血流計による血流波形とパルスドプラー法による血流波形は、健常例でも心疾患例でも、一部をのぞいて非常に類似していると述べている。したがって本装置は定量的に血流

Table 3. Sensitivity of PDE to aortic insufficiency

	No. of patients	Disturbed flow	Sensitivity (%)
1) Angiographically proved AI			
Grade (Sellers)			
I°	7	6	85.7
II°	8	8	100
III°	6	6	100
IV°	2	2	100
Total	23	22	95.6
2) All the patients			
	39	36	92.3

PDE=pulsed Doppler echocardiography; AI=aortic insufficiency.

速度を計測するには限界があるが、臨床的に血流パターンを検討するには非常に有用な装置である。

今回、我々が検討した AI においては、収縮期の血流パターンは健常者と同じくバンド状の幅の狭いドットパターンを示していたが、拡張期はほぼ大動脈弁閉鎖時点より始まる収縮期の血流方向と逆の、あるいは両方向性の幅の広い異常なドットパターンが見られた。これはサンプル部位が左室流出路であること、血流方向が収縮期の方向と逆あるいは両方向性であること、拡張期異常血流パターンの開始の時相がほぼ大動脈弁閉鎖時点であることより、AI の逆流血によるものと思われる。宮武ら³⁰⁾も同様の結果を報告している。

僧帽弁疾患のない AI の M 点における血流パターンは、Sellers I 度あるいは II 度の逆流度では、拡張期の異常血流パターンはその開始がほぼ大動脈弁閉鎖時点であったが、ドットの広がりには漸増性あるいは僧帽弁開放後に大きくなる傾向があった。一方、Sellers III 度および IV 度の逆流度の AI では異常血流の開始時点で、ドットの広がりには非常に大きく、かつそれ以後のドットの広がりと同程度であった。このことは軽症 AI では逆流が小さいため、僧帽弁開放前は乱流も軽度であるが、僧帽弁開放後は心房からの流入血と大動脈からの逆流血とが衝突することによって乱流

が強くなることによると思われる。また重症 AI では逆流が大きく、したがって乱流も強いいため、僧帽弁開放後の流入血による影響が少ないことによると思われる。

以上のごとく、拡張期異常血流パターンの認識によって、僧帽弁疾患のない AI においてはおよそその逆流度の予想が可能であった。しかし、僧帽弁疾患の合併している AI では、重症例でも軽症例でも、僧帽弁開放後にドットの広がりが大きくなる例が多かった。これは拡張期左室流出路の変形、左房より左心室への血液流入様式の異常によると思われる。

A 点においては AI に特徴的な異常ドットの分散は O 点、M 点に比べて小さい傾向があった。これは A 点付近では逆流速度が比較的均一であることによると思われる。また A 点では異常血流パターンの検出できる範囲が狭く、逆流の中心と思われる部位よりもその周辺の部位で良く記録できることが多かった。これは A 点付近では逆流ジェットの影響が狭いため、乱流の生ずる範囲も狭く、また逆流の中心部よりもその周辺部のほうが乱流を生じせしめやすいことによると思われる。

Ward ら³¹⁾は軽症 AI では、大動脈弁直下でのみ異常血流が検出でき、重症 AI になるほど左室心尖部近くまで異常血流が検出できると述べてい

る。我々の成績では軽症 AI でも左室流出路の広い範囲で異常血流パターンが検出された。

パルスドプラー法による AI の検出率は、Ward ら³¹⁾は 86%、Kalmanson ら²⁹⁾は純型 AI では 95%、大動脈弁狭窄症を合併している例では 80% と述べている。我々の検討した AI 39 例の検出率は 92.3% で、ほぼ同様の結果であった。また大動脈造影を施行した Sellers II 度以上の AI では、全例で検出可能であった。さらに Ward ら³¹⁾は AI のパルスドプラー法による特異性は 94% と述べている。我々の経験では AI に特徴的な異常血流パターンは、他の疾患では見られなかった。純型僧帽弁狭窄症で左室流出路において、拡張期に異常血流パターンが見られる例があったが、それは僧帽弁開放後に生ずる異常血流パターンで、AI によるとそれとは明らかに区別することができる。

AI の異常血流パターンの検出できない例が 3 例あった。1 例は大動脈造影で Sellers I 度の逆流度であったが、聴診上は拡張期雑音は聴取されなかった例である。1 例は左室流出路で拡張期の異常ドットパターンが見られたが、その開始が僧帽弁開放時点より始まっていたので検出できない例とした。しかし大動脈弁直下でも異常血流パターンが記録されたので、それは AI の逆流による可能性が強いと思われた。もう 1 例は座位でのみ拡張期の灌水様雑音が聴取された純型 AI 例である。この例は M 点でのみ僧帽弁開放後より生ずる幅広いドットパターンが記録された。左房よりの流入血による乱流を記録したものと思われる。

以上のごとく、超音波パルスドプラー法は AI の異常血流パターンとその検出できる範囲、重症度の判定等の非侵襲的方法として非常に有力な方法であった。

要 約

単独および合併症を有する大動脈弁閉鎖不全症 39 例に、超音波パルスドプラー法を施行した。23 例は心血管造影法によって診断を確定した。装置

は ATL 製 500A パルスドプラー装置を使用し、大動脈弁閉鎖不全症による異常血流パターンの検出とその検出率を、大動脈造影によって決定した重症度との対比において検討した。方法は胸骨左縁より超音波ビームを挿入し、大動脈弁口部、近位左室流出路、遠位左室流出路の 3 点における異常血流パターンを探索した。記録にはハニウェル製のストリップチャートレコーダーを使用し、紙送り速度 100 mm/sec で記録した。

大動脈弁閉鎖時点より始まり、拡張後期まで持続する、幅広く分散した拡張期のドットパターンが、左室流出路で検出されるのが大動脈弁閉鎖不全症の特徴的の血流パターンであった。大動脈造影を施行した 23 例を Sellers の分類により、逆流度を分類した。I 度あるいは II 度の例では、大動脈弁口部と遠位左室流出路において、大動脈弁閉鎖不全症に特徴的な異常血流パターンが大部分の例で検出できた。しかし、近位左室流出路においては、検出率はわずかに減少した。一方、III 度および IV 度の例では、上記 3 点のいずれの部位でも異常血流パターンが検出できた。

I 度あるいは II 度の例では、近位左室流出路の拡張期異常ドットの分散は、その開始の時点ではあまり大きくなく、僧帽弁開放後に大きくなる傾向があった。一方、III 度あるいは IV 度の例では大部分の例で、異常ドットの分散はその開始の時点で非常に大きく、僧帽弁開放によってほとんど影響されなかった。

大動脈弁閉鎖不全症に特徴的な拡張期の異常血流パターンは、39 例中 36 例 (92.3%) に検出できた。また大動脈造影を施行した 23 例中では、Sellers I 度の 1 例を除いて全例で検出可能であった (95.6%)。

文 献

- 1) Luisada AA: The Sound of the Diseased Heart. Warren H Green, Inc, St Louis, 1973, p 143-154
- 2) 上田英雄, 海渡五郎, 坂本二哉: 臨床心音図学, 心臓の聴診と心音図法. 南山堂, 東京, 1963, p 451-

- 3) Watanabe H, Sakamoto T: Clinical and phonocardiographic study of aortic regurgitation. *Jpn Heart J* 2: 7, 1961
- 4) Cope GD, Kisslo JA, Johnson ML, Myers S: Diastolic vibration of the interventricular septum in aortic insufficiency. *Circulation* 51: 589, 1975
- 5) D'Cruz I, Cohen HC, Prabhu R, Ayabe T, Glick G: Flutter of the left ventricular structures in patients with aortic regurgitation, with special reference to patients with associated mitral stenosis. *Amer Heart J* 92: 694, 1976
- 6) Page A, Layton C: Premature opening of aortic valve in severe aortic regurgitation. *Brit Heart J* 37: 1101, 1975
- 7) Botvinic EH, Schiller NB, Wickramasekaran R, Klausner SC, Gertz E: Echocardiographic demonstration of early mitral valve closure in severe aortic insufficiency. Its clinical implication. *Circulation* 51: 836, 1975
- 8) Gray KE, Barritt DW: Echocardiographic assessment of severity of aortic regurgitation. *Brit Heart J* 37: 691, 1975
- 9) Winsberg F, Gabor GE, Hernberg JG, Weiss B: Fluttering of the mitral valve in aortic insufficiency. *Circulation* 41: 225, 1970
- 10) Pridie RB, Benham R, Oakley CM: Echocardiography of the mitral valve in aortic valve disease. *Brit Heart J* 33: 296, 1971
- 11) Nolan SP, Fisher RD, Dixon SH, Morrow AG: Quantification of aortic regurgitation with a catheter tip velocimeter. *Surgery* 65: 876, 1969
- 12) Sellers RD, Levy MJ, Amplatz K, Lillehei CW: Left retrograde cardioangiography in acquired cardiac disease. *Amer J Cardiol* 14: 437, 1964
- 13) Hunt D, Baxley WA, Kennedy JW, Judge TP, Williams JE, Dodge HT: Quantitative evaluation of cineangiography in the assessment of aortic regurgitation. *Amer J Cardiol* 31: 696, 1973
- 14) Wooley CF: Intracardiac phonocardiography: Intracardiac sound and pressure in man. *Circulation* 57: 1039, 1978
- 15) 日比範夫, 伊藤尚雄, 荒川武実, 西村欣也, 石原花子, 三輪新, 河野通明, 多田久夫, 神戸忠: 心内心音法による肺動脈弁閉鎖不全症と大動脈弁閉鎖不全症の鑑別診断. *臨床心音図* 4: 435, 1974
- 16) Segal BL, Novack P, Kasparian H: Intracardiac phonocardiography. *Amer J Cardiol* 14: 188, 1964
- 17) 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*. Vol. 3B, White D, Brown RE ed, Plenum Press, New York, 1977, p 1263-1277
- 18) 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*. Vol 3B, White D, Brown RE ed, Plenum Press, New York, 1977, p. 1279-1289
- 19) Baker DW: Pulsed ultrasonic Doppler blood-flow sensing. *IEEE Trans Sonics and Ultrasonics* Vol SU-17, 3: 170, 1970
- 20) Lorch G, Rubenstein S, Baker D, Dooley T, Dodge H: Doppler echocardiography. Use of a graphical display system. *Circulation* 56: 576, 1977
- 21) 宮武邦夫, 木下直和, 永田正毅, 榎原博, 仁村泰治: 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. *J Cardiology* 9: 241, 1979
- 22) Kalmanson D, Verat 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, 1977
- 23) Stevenson JG, Kawabori I, Dooley T, Guntheroth WG: Diagnosis of ventricular septal defect by pulsed Doppler echocardiography. Sensitivity, specificity and limitation. *Circulation* 58: 322, 1978
- 24) Stevenson JG, Kawabori I, Guntheroth WG: Differentiation of ventricular septal defect from mitral regurgitation by pulsed Doppler echocardiography. *Circulation* 56: 14, 1977
- 25) Areias JG, Goldberg SJ, Spitaels SEC, Villeneuve VH: An evaluation of range gated pulsed Doppler echocardiography for detecting pulmonary outflow obstruction of the great vessel. *Amer Heart J* 96: 467, 1978
- 26) Goldberg SJ, Areias JC, Spitaels SEC, Villeneuve VH: Use of time interval histographic output from echo-Doppler to detect left-to-right atrial shunts. *Circulation* 58: 147, 1978
- 27) Stevenson JG, Kawabori I, Guntheroth WG: Noninvasive detection of pulmonary hypertension in patent ductus arteriosus by pulsed Dop-

- pler echocardiography. *Circulation* **60**: 355, 1979
- 28) Goldberg SJ, Areias JC, Spitaels SEC, Villeneuve VH: Echo Doppler detection of pulmonary stenosis by time-interval histogram analysis. *J Clin Ultrasound* **7**: 183, 1979
- 29) Kalmanson D, Veyrat C: Echo-Doppler velocimetry in cardiology. *in* Quantitative Cardiovascular Studies. Hwang NHC, Gross DR, Patel DJ ed, University Park Press, Baltimore, 1979, p 689-714
- 30) 宮武邦夫, 木下直和, 榊原 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
- 31) Ward JM, Baker DW, Rubenstein SA, Johnson SL: Detection of aortic insufficiency by pulsed Doppler echocardiography. *J Clin Ultrasound* **5**: 5, 1977