

超音波パルス・ドプラー法による大動脈弁閉鎖不全症の重症度評価における問題点：特に逆流様式について

Problems in estimating the severity of aortic regurgitation by pulsed Doppler echocardiography: With special reference to its distribution pattern

宮沢 総介
鈴木 茂
佐々木達海
中村 譲
森田紀代造
水野 朝敏
新井 達太

Sosuke MIYAZAWA
Shigeru SUZUKI
Tatsuumi SASAKI
Yuzuru NAKAMURA
Kiyozo MORITA
Asatoshi MIZUNO
Tatsuta ARAI

Summary

We categorized the findings of aortic regurgitation (AR) by aortography (AOG) into the following four types, and compared them with the corresponding findings obtained by pulsed Doppler echocardiography (PDE) in 30 patients, and assessed the ability of PDE to observe the distribution of an aortic regurgitant flow.

Type 1: A wide regurgitant jet distributed within the entire left ventricle (5 cases).

Type 2: A narrow regurgitant jet passing through the center of the left ventricular outflow tract (9 cases).

Type 3: A regurgitant jet with the shift of its direction to the either side (10 cases).

Type 4: A regurgitant jet which is localized below the aortic valve (6 cases).

AOG findings in 40% of Type 1 cases, 78% of Type 2, 80% of Type 3 and 67% of Type 4 were well consistent with those of PDE (an average of 70%). Therefore, we could predict the distribution of AR by PDE, although a correlation between both methods was not complete. The reasons of the inconsistency of these two methods were discussed.

PDE is an possible method for evaluating the severity of AR.

Key words

Aortic regurgitation

Regurgitant jet

Aortography

Pulsed Doppler echocardiography

東京慈恵会医科大学 心臓外科
東京都港区西新橋 3-25-8 (〒105)

Department of Cardiovascular Surgery, Jikei University School of Medicine, Nishi-Shinbashi 3-25-8, Minato-ku, Tokyo 105

Received for publication August 1, 1983 (Ref. No. 26-62)

はじめに

従来, 大動脈弁閉鎖不全症 (AR) の重症度評価は大動脈造影法 (AOG) で行うのが一般的であったが¹⁾, 超音波パルス・ドプラー法 (PDE) の出現により, 非観血的な評価が行えるようになってきた²⁻¹⁰⁾. われわれも, パルス変調ドプラー心断層複合装置による心内血流マッピング法により, 逆流に起因する左室内乱流の検出範囲の大小から, AR の重症度を評価している. しかし, 時には造影法による重症度との間に齟齬を生じることも否定できない. 造影法で観察すると, AR での逆流ジェット形態はさまざまであり, これが両検査法での齟齬を生じる一つの原因と考えられる. 本研究では, PDE によって逆流ジェット状況をどの程度予想できるかを知るために, 造影所見とドプラー所見を比較し, 重症度評価を行う際の問題点などに検討を加えた.

対 象

対象は AR 30 例で, 男 12 例, 女 18 例で, 年齢は 23 歳から 66 歳, 平均 45 歳である. **Table 1** に示すように, 大動脈弁狭窄症合併例が 2 例, 僧帽弁狭窄症合併 10 例, 僧帽弁狭窄症兼閉鎖不全合併 3 例で, 僧帽弁閉鎖不全, 僧帽弁狭窄兼三尖弁閉鎖不全, 心室中隔欠損症, 動脈管開存症の合併がそれぞれ 1 例である.

装置と方法

使用した装置は凸型トランスデューサーを用いたパルス変調ドプラー心断層複合装置アロカ製 X A 31 で, 発振周波数 2.75 MHz, パルスくりかえし周波数 4.4 KHz, 最大検出ドプラー周波数 ± 2.2 KHz でサンプルボリウムの大きさは深さ方向に約 1.5, 2.3, 3.0 mm の 3 段階可変である. Focus は 2 種類を選択でき, “focus near” で深さ約 3 cm, “focus far” で深さ約 7 cm となる. ドプラー表示は FFT を用いたパワースペクトラム表示で, FFT の周波数分解能 44 Hz, 1 回のデ

Table 1. Case materials

	No. of cases
Pure aortic regurgitation (AR)	11
AR associated with	
aortic stenosis	2
mitral stenosis	10
mitral stenosis and regurgitation	3
mitral regurgitation	1
mitral stenosis and tricuspid regurgitation	1
ventricular septal defect	1
patent ductus arteriosus	1
Total	30

ータとり込み時間は 8 msec である. 記録はアロカ製連続記録装置 SSZ-93 を用いた. パワースペクトラム表示で, 探触子へ向かう流れは上方に表示される.

左室内サンプリングは左室流出路において重点的に行い, 可能であれば最大 9 点においてサンプリングした (**Fig. 1**). 大動脈弁より遠ざかる一方向性, あるいは両方向性にみえる広帯域速度分布を示す血流信号を AR に起因する乱流として, その検出可能部位の広がり方から, 逆流ジェットの分布状況を予想した.

大動脈造影は全例右前斜位 30 度で撮影した. 造影剤は 76% ウログラフィンで, 約 1 ml/kg を約 2 秒間で注入し, 秒間 48 コマでシネフィルムに撮影した.

結 果

大動脈造影による逆流ジェットの形態は, **Fig. 2** に示すごとく, 4 つのタイプに分類できた. すなわち, Type 1 は大動脈弁輪全体から洩れる幅広い逆流ジェット, Type 2 は弁口中央部から細いジェットとして始まり, 徐々に拡がりながら左室中央を通過して心尖部に向かうもの, Type 3 は逆流ジェットの方向性に偏りのあるもの, Type 4 は大動脈弁直下にのみモヤモヤともれる Sellers

分類 I 度に相当する逆流である。

Type 1 に相当するドプラー所見を Fig. 3 に示

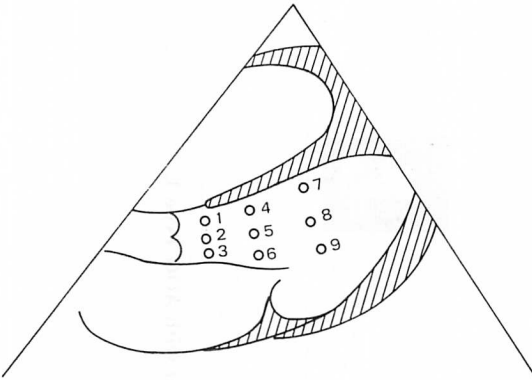


Fig. 1. Sampling sites of Doppler signals in the left ventricle.

As far as possible, sampling of Doppler signals was obtained at 9 points. In cases without enlargement of the left ventricular outflow tract, however, sampling from many sites was not possible.

す。乱流は左室流出路全体に検出され、乱流の速度と持続時間はほぼ等しい。この所見から、高速の幅広い逆流が予想できる。

Type 2 に相当するドプラー所見を Fig. 4 に示す。左室流出路中央部で高速度の乱流を検出できるが、心室中隔側および僧帽弁側ではピーク速度が遅く、かつ持続時間も短い乱流となっている。流出路中央を通る細いジェットが予想できる。

Type 3 に相当するドプラー所見を Fig. 5 に示す。この症例では僧帽弁前尖寄りに強い乱流を認めるが、心室中隔側ではほぼ正常の血流信号を検出した。逆流ジェットが僧帽弁側、すなわち後方に偏っていることが予想できる。

Fig. 6 は Type 4 に相当するドプラー所見である。拡張期の乱流は大動脈弁直下のみ認められ、高速乱流の持続時間も短い。大動脈弁からわずかにもれる軽い AR が予想できる。

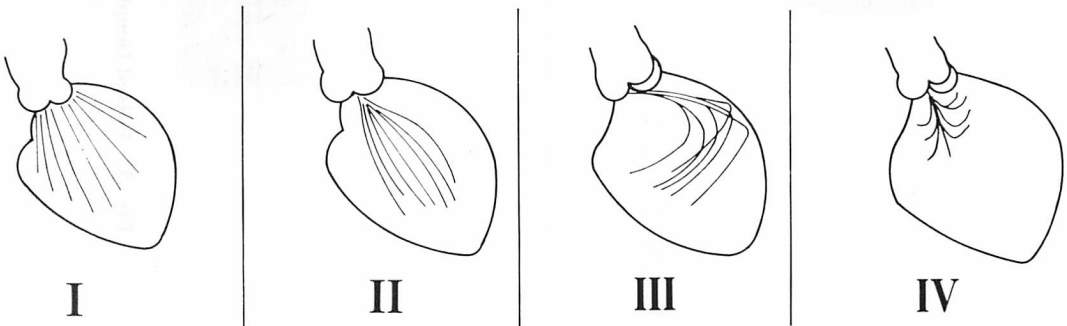
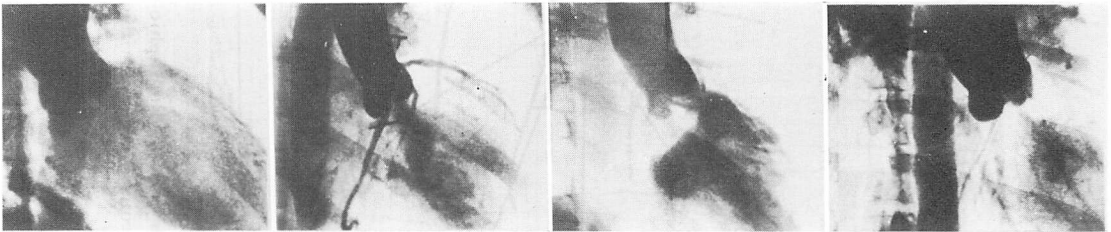


Fig. 2. Aortograms (AOG) and the schematic representation showing regurgitant jets.

Type I, wide regurgitant jets; Type 2, narrow regurgitant jets through the center of the left ventricular outflow tract; Type 3, regurgitant jets with its eccentric direction; and Type 4, regurgitation localized just beneath the aortic valve.

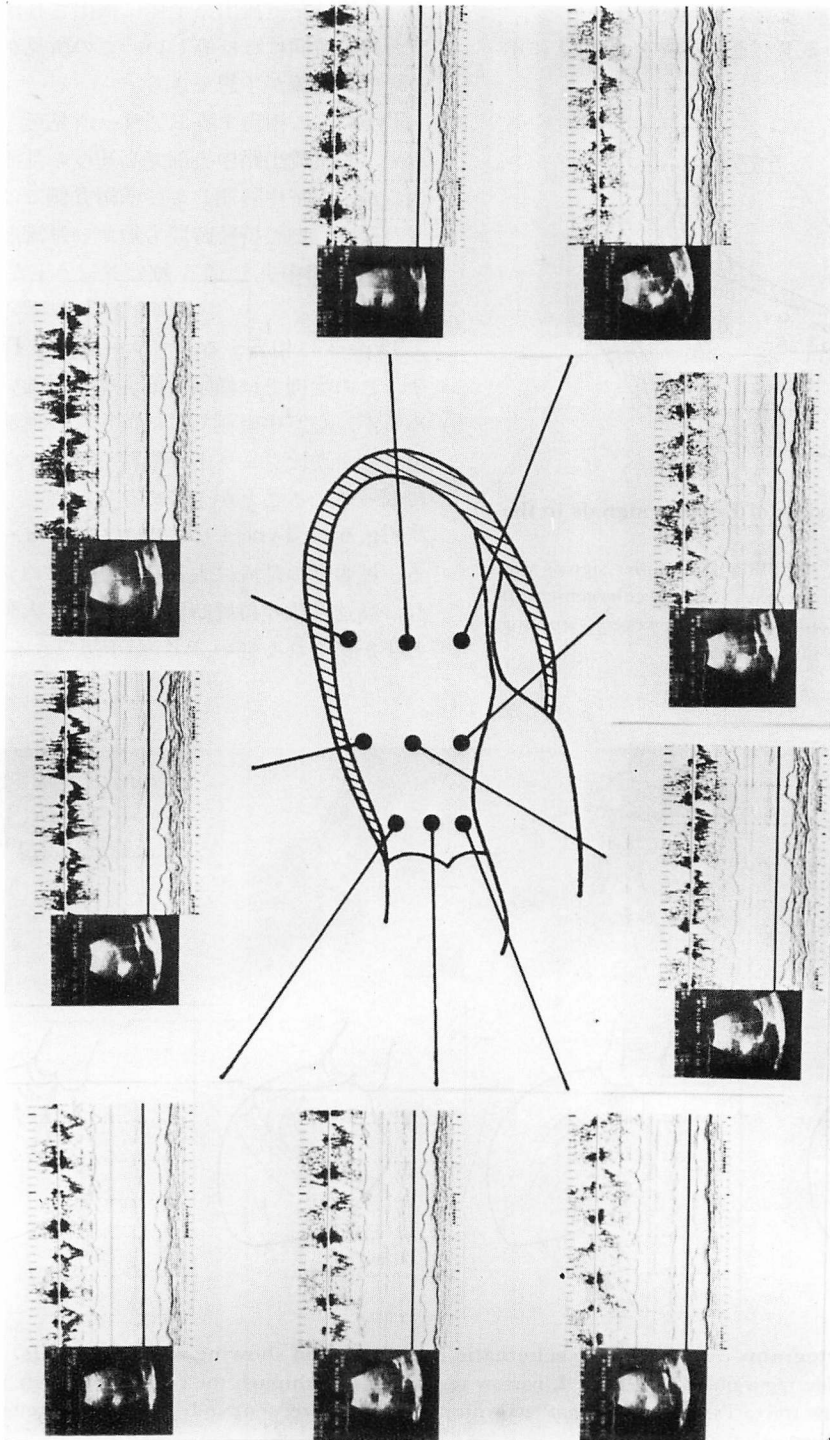


Fig. 3. Pulsed Doppler echocardiographic (PDE) findings consistent with AOG Type 1.
Turbulent signals are equally detected within the entire LV cavity.

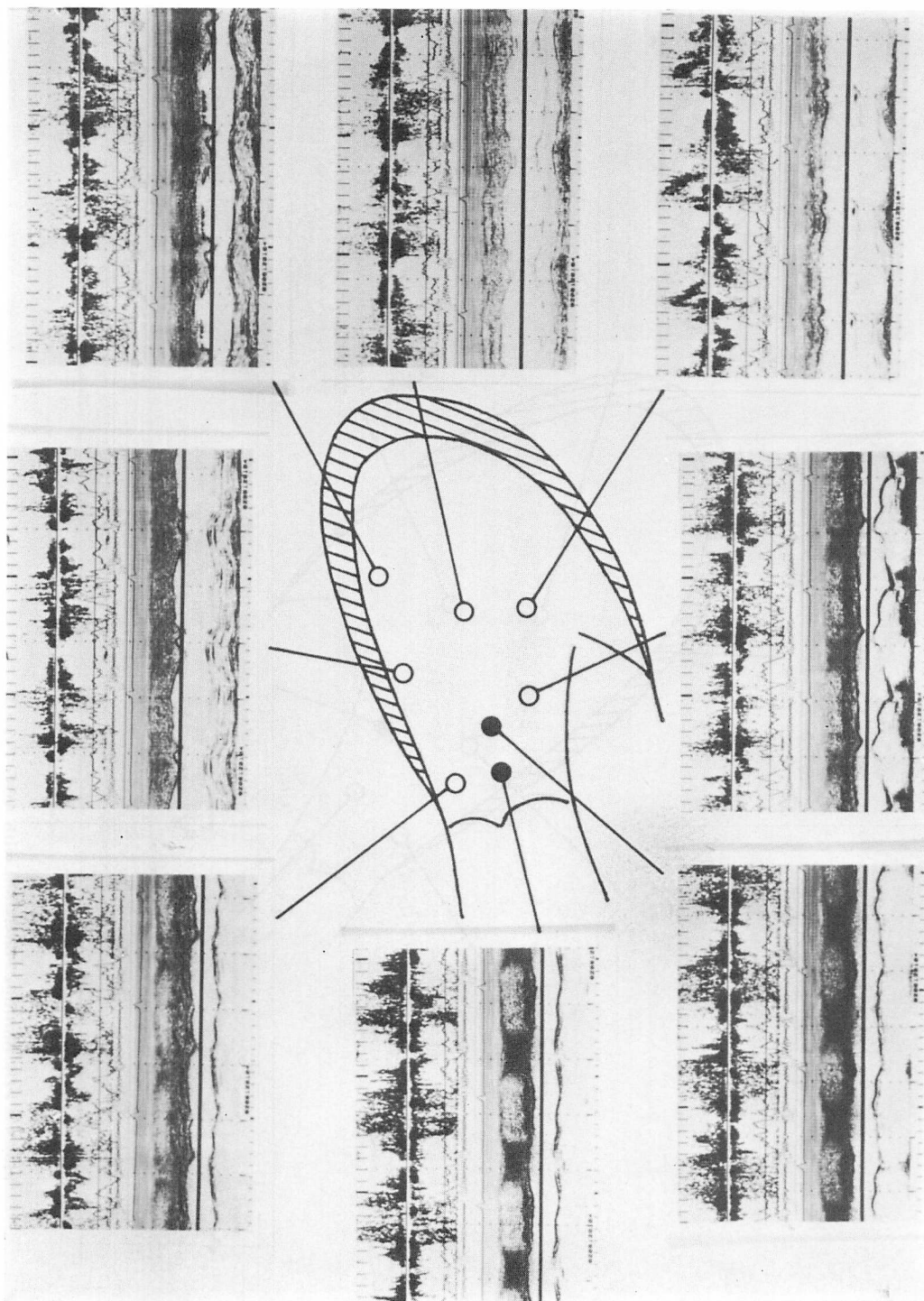


Fig. 4. PDE findings consistent with AOG Type 2.

Turbulence is detected in the central region of the LV outflow tract. The velocity of the regurgitant flow is decreased in either side of the mitral valve or the interventricular septum, and the duration of regurgitation is short.

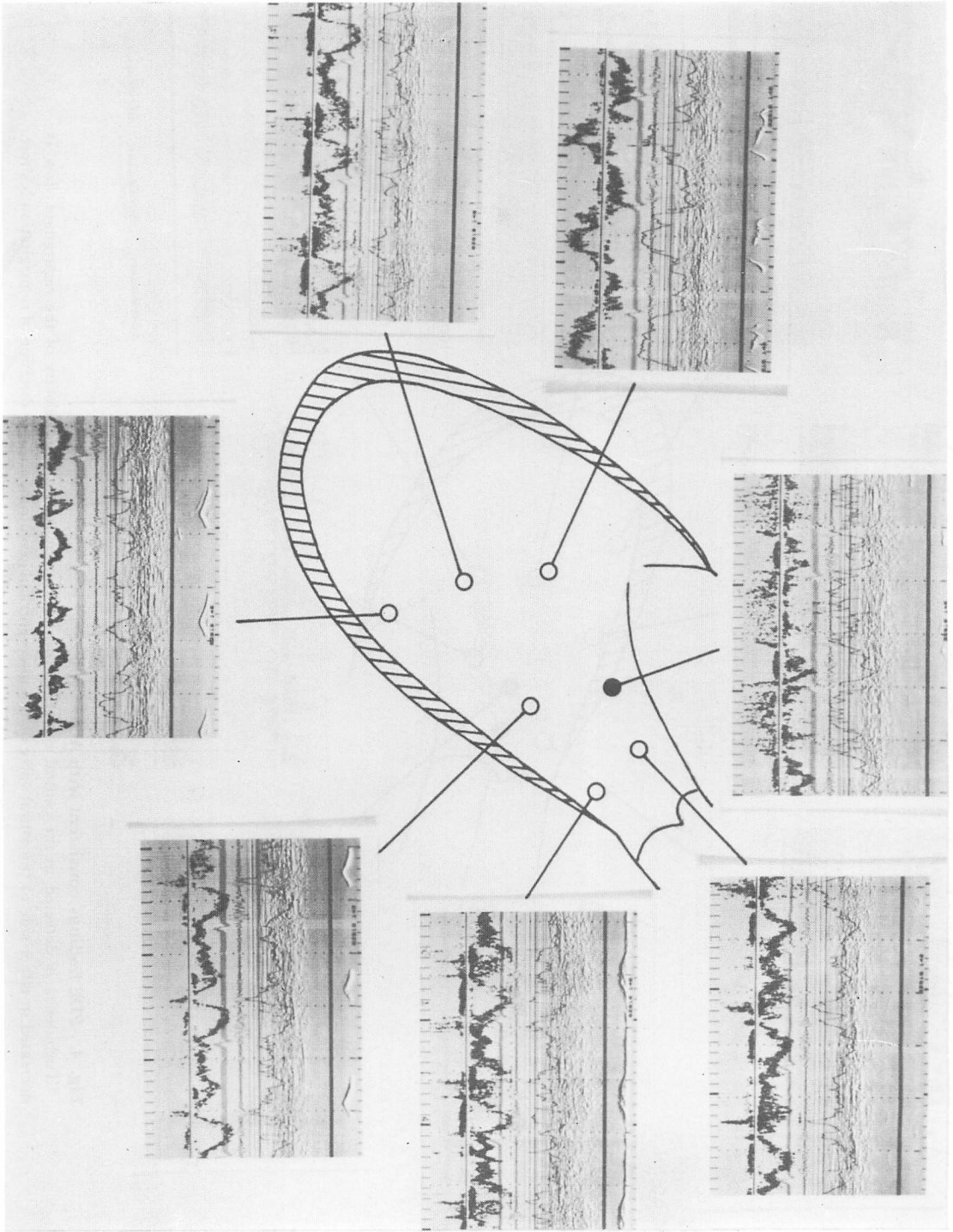


Fig. 5. PDE findings consistent with AOG Type 3.
Turbulence is detected in the left ventricular outflow tract near the mitral valve, but not the interventricular septum.

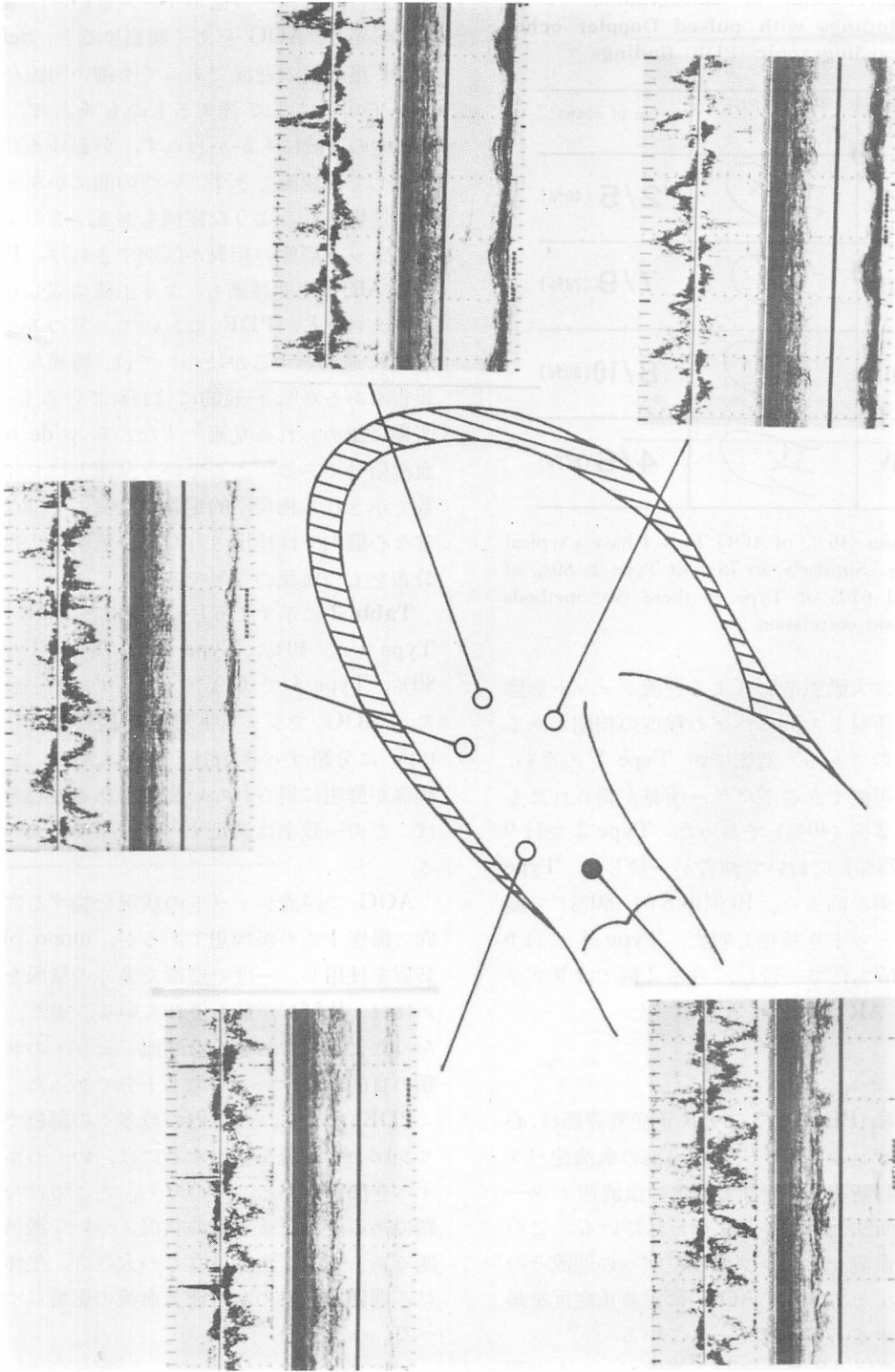



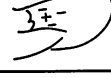


Fig. 6. PDE finding consistent with AOG Type 4.
Turbulence is observed only just below the aortic valve.

Table 2. Correlation of aortographic (AOG) findings with pulsed Doppler echocardiographic (PDE) findings

Angiographic Type	Typical PDE findings	No. of cases.
Type I		2/5 (40%)
Type II		7/9 (78%)
Type III		8/10 (80%)
Type IV		4/6 (67%)

Two of cases (40%) of AOG Type 1 have a typical PDE finding. Similarly, in 78% of Type 2, 80% of Type 3, and 67% of Type 4, these two methods showed a good correlation.

Table 2 は大動脈造影による逆流ジェット形態とドプラー所見との間に、どの程度の相関があるかを示すものである。造影での Type 1 のうち、それが予想可能であるドプラー所見が得られたものは 5 例中 2 例 (40%) であった。Type 2 では 9 例中 7 例 (78%) において両者が一致した。Type 3 では一致率が高まり、10 例中 8 例 (80%) で偏った逆流ジェットを検出し得た。Type 4 では 6 例中 4 例 (67%) で一致し、残る 2 例ではドプラー法による AR が検出できなかつた。

考 察

ドプラー法 (PDE) による AR 重症度評価は、心内血流マッピング法³⁾、大動脈弓部の血流速度パターンによる診断法⁴⁾、腹部大動脈の血流速度パターンによる診断法⁵⁾ などにより行われている。このうち、心内血流マッピング法は左室への逆流そのものを検出する方法で、AOG による重症度を最も良く反映するものと考えられている。

一般に、重症 AR であるほど逆流ジェットの到

達距離は長く、その拡がり大きいのは事実である。しかし、AOG をよく観察すると、Sellers 分類 II 度程度の逆流であっても細い明瞭なジェットが心尖近くまで達するものもあれば、Sellers IV 度の逆流にもかかわらず、いわゆるジェット流としては認識できず、いつの間にか左室全体が濃く造影されるような症例もある。このような逆流ジェット形態の相異が区別できれば、PDE による AR 重症度評価も、より正確に成しうるものと考えられる。PDE において、どのような信号を AR 逆流とするかについては、特異なタイプの報告もあるが⁶⁾、一般的に言われているものは、拡張期に認められる乱流、すなわち wide band な血流信号である。ここでいう乱流とはレイノルズ数で示される物理学的定義の乱流⁷⁾ではなく、正常な心臓内では検出されない、著明な広帯域速度分布をもつ血流のことである。

Table 2 に示すように、AOG と PDE 所見は、Type 1 で 40%、Type 2 で 78%、Type 3 で 80%、Type 4 で 67%、平均 70% の一致率を得た。AOG でジェット形態を観察しても、どの type に分類すべきか迷う症例もあり、また断層画像が鮮明に得られない症例もあることを考えれば、この一致率は満足すべき結果であるといえる。

AOG で逆流ジェットの状況を論ずるには 2 方向で撮影するのが理想であるが、mono plane の装置を使用し、一度の造影で多くの情報を得るためには、RAO が最も優れている。また、今回行なったようなおおまかな逆流ジェットの状況の分類の目的には、一方向でも十分であった。

PDE により、左室内の数多くの部位でサンプリングして乱流を検出するには、いくつかの考慮すべき問題がある。そのうち、ここでは今回の主題である逆流ジェットの状況、ついで機械的な問題であるサンプルボリウム大きさ、生体側における問題としての左室流入血流の影響について述べる。

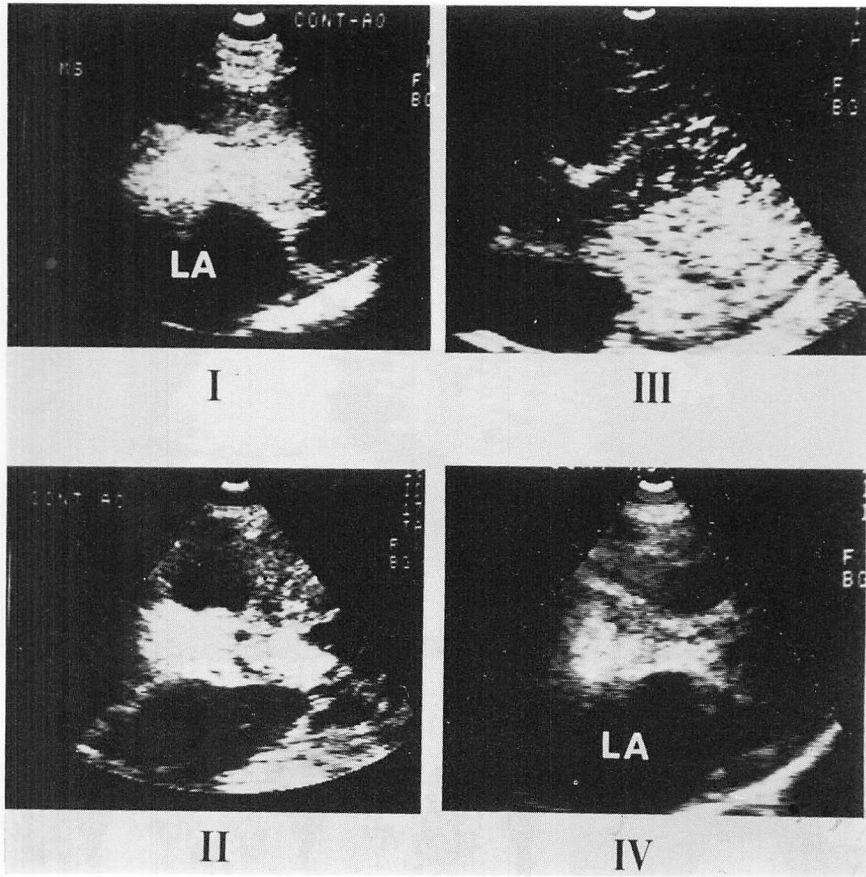


Fig. 7. Four types of aortic regurgitant pattern observed by contrast echocardiography.

1. 逆流ジェット形態について

PDE によって逆流ジェットの形態を予想することは可能である。その裏付けとして、断層心エコー図上で逆流ジェットを可視化する目的で、大動脈から微小気泡によるコントラストエコー図法⁵⁾を行うと、Fig. 7 に示すような所見が得られる。Type 1 では弁輪径と同じ幅で洩れるコントラストエコーが認められ、Type 2 では、逆流は左室中央部を通る細いコントラストエコーとして認められる。Type 3 では方向性に偏りがあり、図に示すのは僧帽弁側に偏った逆流である。Type 4 では大動脈弁下に洩れる到達距離の短いコントラストエコーが認められる。コントラストエコー

図法は逆流の方向性と拡がりを観察する目的には極めて有用で、PDE 所見との相関性は AOG よりも高いと考えられる。PDE による乱流検出範囲とコントラストエコーの出現部位とはほぼ等しく、この事実からも、PDE による乱流の検出は十分慎重に行うべきであることが分る。ごく最近経験した1例は、明らかに AR と思われる心雑音を聴取しながら、PDE では逆流による乱流が検出できなかった。この症例でコントラストエコー法図を行うと、わずか 3~4 mm の逆流ジェットが僧帽弁前尖に接して出現し、AOG では Sellers 3 度の逆流を認めた。PDE では、できるかぎり多くの部位でサンプリングすることが重要

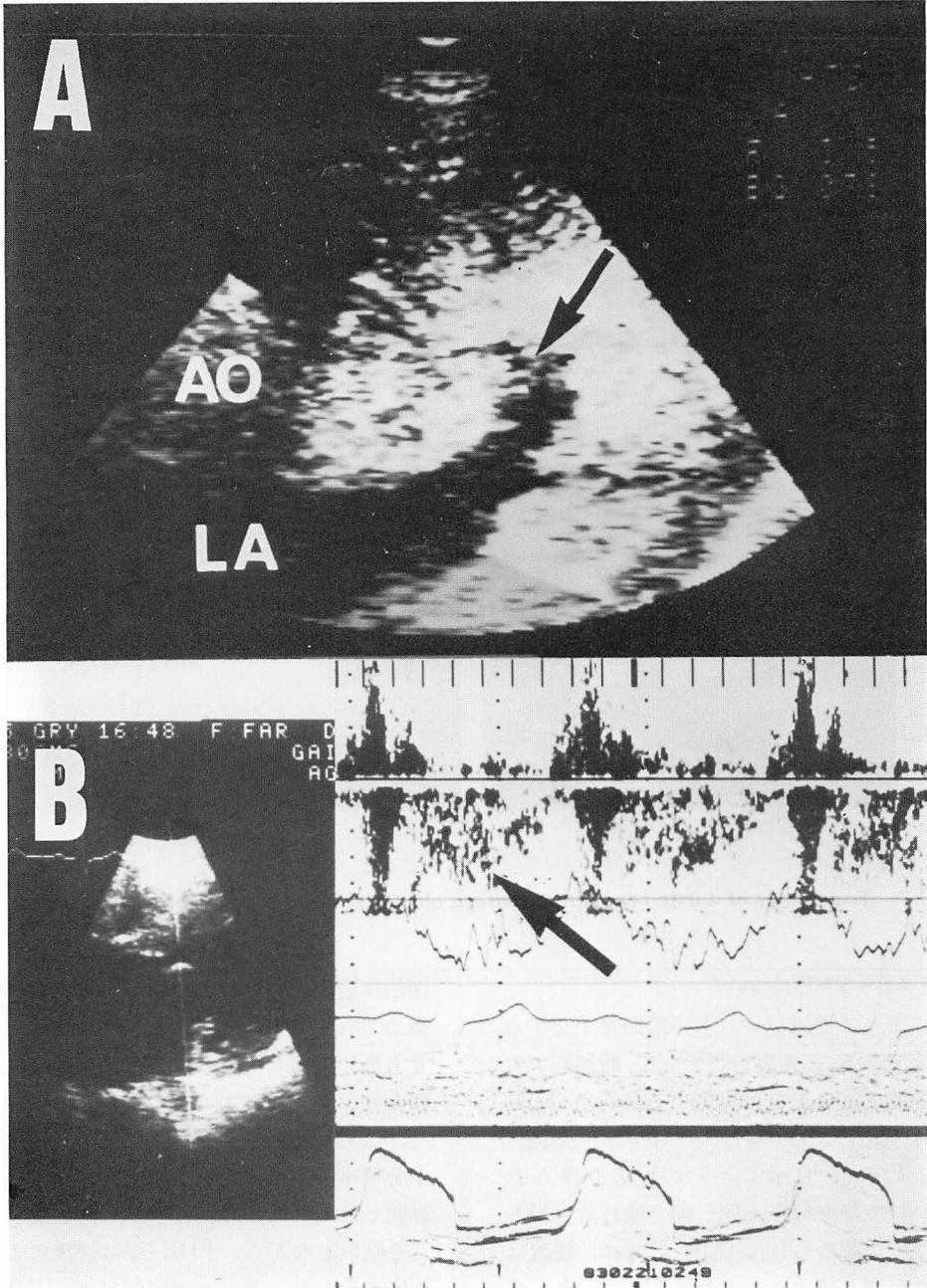


Fig. 8. Blood flow in the LV outflow during isometric contraction period.

A: AR is monitored by contrast echocardiography. During isometric contraction time, the blood flow towards the LV outflow tract is observed as a negative jet (black arrow).

B: Pulsed Doppler echocardiogram of the same patient demonstrate that a back flow occurs during isometric contraction time (black arrow).

で、これを怠ると、AR を過小評価する危険がある。また、AR 逆流は3次元的拡がりをもつものであるから、一種類の断層面での血流速度マッピングだけでは十分でないことを念頭におくべきである。

2. サンプルボリュームの大きさ、特にサンプル幅について

使用した装置でのサンプルボリュームの大きさは、深さ方向にはほとんど変化しないが、その幅は著明に変化する。したがって左室内での数多くの部位をサンプリングする場合には、この点を考慮に入れるべきである。Focus を far に設定すると focus 深度は約 7 cm となり、この部位でのサンプル幅は約 5 mm となる(-9 dB 点をとった場合)。これ以上深くても浅くても、サンプル幅は大となる。また、“gain” の調節によってサンプル幅も変化する。このため、心尖部アプローチによって左室流出路を描出すると、大動脈弁までの距離は遠く、弁直下におけるサンプル幅は 7 mm 以上に達することがある。僧帽弁狭窄(MS)を合併した症例では左室流出路の拡大がないので、各サンプル部位に重なりを生じ、数多くのサンプリングを行ってもその差違を明確にすることが不可能となることが予想される。したがって、断層像の描出は傍胸骨アプローチにて行い、サンプル部位が深さ数センチ前後となるようにして、乱流と思われるドプラー信号が得られる最低の“gain”までしぼり、すべてのサンプル部位での“gain”は一定とする必要がある。このさい、サンプル部位を移動することにより生じる血流とビームの成す角度の変化率は、各症例でほぼ等しいという前提で、考慮に入れないこととした。画像は必然的に左室長軸像となり、血流方向とビームの成す角度は 90 度に近くなるが、定性的に乱流を検出する目的のためには重大な問題とはならないと考えられる。

3. 左室流入血流の影響

MS 合併のいかんを問わず、AR の存在下では僧帽弁下左室流入路の血流は、正常とは異なり、

乱れた流れとなる。MS 単独例でも、程度の差こそあれ、必ずみられる現象であり、AR が加われば、さらにその乱れが著明になると考えられる。強い MS では、弁下の乱流は両方向性の強大な広帯域血流信号として検出され、AR 逆流と非常によく似ているので鑑別が必要となる。AR 逆流の開始は大動脈 II 音に引き続いて出現し、左室流入血流は僧帽弁開放に引き続いて出現する⁹⁾ので、Mモード心エコー図と心音図を同時記録すれば両者の区別は可能である。しかし、時には区別が困難なこともある。その原因として、記録速度が 100 mm/sec では乱流開始時期を正確に指摘できないこと、僧帽弁の拡張早期開放運動は徐々におこり、開放時期が必ずしも明確でないこと、そしてさらに、AR 逆流が心尖部に達するまでいくらかの時間を要することなどがあげられる。また、ドプラー信号の表示は最小 8 msec、最大 31 msec。遅れて表示されるが、実際のおくれ時間はこの間で不明である。以上の理由により、時間的解析によって AR 逆流と左室流入血流を区別することは、AR と MS 合併例においては必ずしも容易ではなく、AR を過大評価する危険性があるので注意が必要である。われわれの経験では、形態的に重症な MS ほど弁下の乱流も著明なことが多いので、断層心エコー図により僧帽弁形態を観察し、その影響を推測することが重要である。

Fig. 8A は大動脈から微小気泡を注入して得られたコントラストエコー像で AR の存在を示すものである。左室流入血流が僧帽弁の閉鎖運動により流出路方向から negative jet として観察される。この血流の存在とその発生機序についてはすでに報告がある¹⁰⁾。Fig. 8B はこの血流を PDE で捉えたものと考えられ、AR 逆流とは区別すべきものであるが、出現時期が拡張末期(等容性収縮期)であること、血流方向が逆であることから鑑別は容易である。

PDE による AR の評価には、以上に述べたような問題があるが、それらを解決しながら検索を

進めれば, AR の重症度決定も, さほど大きな誤まちをおかすことなく可能であろうと考えられる。

要 約

超音波パルス・ドプラー法 (PDE) によって, 大動脈弁逆流の状況をどの程度診断できるかを知らる目的で, 30 例の大動脈造影所見を次の 4 つのタイプに分類して, PDE 所見と比較検討した。

Type 1; 幅広く, 左室内に均等に分布する逆流ジェット。

Type 2; 左室流出路を通る細い逆流ジェット。

Type 3; 逆流ジェットの方向性に著しい偏りのあるもの。

Type 4; 大動脈弁下にのみ認められる弱い逆流ジェット。

Type 1 では 40% が PDE 所見と一致し, Type 2 では 78%, Type 3 では 80%, Type 4 では 67% が一致し, 平均 70% の一致率を得た。したがって PDE 法によって, ある程度大動脈造影における逆流ジェット状況を予想することが可能といえる。

大動脈造影では, Sellers 分類による重症度は同じでも, 逆流ジェットの状況はさまざまである。コントラストエコー法で確認した逆流血流の分布と, PDE で乱流が検出される範囲はほぼ一致するので, 左室内をまんべんなくサンプリングし, 逆流ジェット状況を把握した上で重症度を決定することが重要と思われる。

文 献

1) Sellers RD, Levy MJ, Amplatz K, Lillehei CW: Left retrograde cardioangiography in acquir-

- ed cardiac disease. Technic indications and interpretation in 700 cases. *Am J Cardiol* **14**: 437, 1964
- 2) Ward JM, Baker DW, Rubenstein SA, Johnson SL: Detection of aortic insufficiency by pulse Doppler echocardiography. *J Clin Ultrasound* **5**: 5, 1976
- 3) 北畠 颯, 浅生雅人, 三嶋正芳, 千田彰一, 田内潤, 森田久樹, 増山 理, 上松正朗, 井上通敏, 松尾裕英, 阿部 裕: 超音波ドプラ法による大動脈弁閉鎖不全症の重症度判定. *日超医講演論文集* **41**: 519, 1982
- 4) Nakayama N, Hara M, Teruya H, Kuno A, Koike M, Nakatsuka T, Yoshimura S, Furuhashi H: Non-invasive quantitative evaluation of aortic regurgitation by ultrasonic pulsed Doppler flowmeter. *J Cardiology* **11**: 383, 1981 (in Japanese)
- 5) 松田光生, 杉下靖郎, 山口 徹, 田村 勤, 東郷利人, 飯田啓治, 関口達彦, 伊藤 巖: 超音波パルスドプラー法を用いた大動脈弁閉鎖不全症の逆流度の判定—下部腹大動脈における血流波型による検討—。 *日超医講演論文集* **39**: 73, 1981
- 6) 鈴木 修, 伊東紘一, 椎名 明, 野田敏剛, 土谷正雄, 細田瑛一: 超音波パルスドプラ法による重症大動脈弁閉鎖不全症の血流パターンの検討. *日超医講演論文集* **41**: 519, 1982
- 7) 川田裕郎, 小宮勤一, 山崎弘郎: 管路内の流れと整流装置. *流量計測ハンドブック*. 日刊工業新聞社, p 19
- 8) 鈴木 茂, 中野雅道, 佐々木達海, 宮沢総介, 新井達太: コントラストエコー法—弁逆流・逆短絡の評価とその問題点—. *超音波医学* **7**: 337, 1980
- 9) Taguchi M, Ichimiya S, Yokoi K, Nanki M, Itoh K, Matsubara T, Yanagisawa K, Hibi N, Fukui Y, Nishimura K, Kambe T: A study on aortic insufficiency by means of pulsed Doppler echocardiography. *J Cardiology* **10**: 557, 1980 (in Japanese)
- 10) 水重克文, 千田彰一, 森田久樹, 三木茂裕, 高光義博, 松尾裕英: 左室流出路における等容性収縮期に先行せる心基部方向血流に関する検討—パルスドプラー法による観察— *日超医講演論文集* **40**: 409, 1982