

大動脈弁直下短軸断面を用いたリアルタイムドップラー断層法による大動脈弁閉鎖不全の重症度評価

Cross-sectional visualization of regurgitant jet by color flow mapping to evaluate aortic regurgitation

北島 颯
伊藤 浩
中谷 敏
田内 潤
石原 謙
藤井 謙司
上松 正朗
吉田 豊
富永なおみ
堀 正二
井上 通敏
鎌田 武信

Akira KITABATAKE
Hiroshi ITO
Satoshi NAKATANI
Jun TANOUCHI
Ken ISHIHARA
Kenshi FUJII
Masaaki UEMATSU
Yutaka YOSHIDA
Naomi TOMINAGA
Masatsugu HORI
Michitoshi INOUE
Takenobu KAMADA

Summary

In the noninvasive evaluation of aortic regurgitation by Doppler echocardiography, flow mapping of the aortic regurgitant jet using the long-axis approach is of limited value in cases of combined mitral stenotic lesions. This is because the transmitral flow yields flow disturbances in the left ventricle, making it difficult to identify the extent of the aortic regurgitant jet. To overcome these limitations, the severity of aortic regurgitation was evaluated using the cross-sectional area of the aortic regurgitant jet at the level of the aortic valve as visualized by color flow imaging technique.

The study population consisted of 16 patients with aortic regurgitation (10 with pure aortic regurgitation, five with superimposed mitral stenosis, and one with mitral valve replacement). Three normal subjects served as controls. The cross-section of the aortic regurgitant jet was visualized as a mosaic of yellow and blue in all patients with aortic regurgitation, but not in any of the controls. Planimetric measurements of the cross-sectional area of the regurgitant jet (J) and the aortic annulus area (Ao) were performed, and the Doppler parameter, J/Ao, was calculated. As a reference, the aortic regurgitant fraction (RF) was calculated from Doppler measurements of systolic aortic and pulmonary flows (AF and PF); $RF(\%) = (AF - RF) / AF \times 100$. The Doppler parameter, J/Ao, correlated well with

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
School of Medicine, Fukushima 1-1-50, Fukushima-ku, Osaka 553

Received for publication May 23, 1981 accepted June 14, 1981 (Ref. No. 31-13)

the Doppler measurement of RF ($r=0.82$, $p<0.005$), irrespective of the presence of associated mitral lesions. Thus, the cross-sectional area of the aortic regurgitant jet determined by color flow imaging technique would be a useful estimate of the severity of aortic regurgitation, even in the presence of associated mitral stenotic changes.

Key words

Aortic regurgitation

Color flow imaging technique

Aortic regurgitant area

はじめに

大動脈弁閉鎖不全症の重症度評価は、予後の評価および治療方針の決定上重要である。従来、重症度評価は、超音波パルス・ドップラー法あるいはリアルタイムドップラー断層法を用い、非侵襲的に求めた左室長軸断面上における大動脈弁逆流の広がり程度に基づいてなされることが多かった¹⁻⁶⁾。このような左室長軸断面を用いたフローマッピング法は、手技が簡便であり、かつそれによる重症度分類が大動脈造影所見とよく一致することから、臨床場において広く用いられている。しかしながら、これに伴う問題点も幾つか指摘されている⁶⁾。例えば、僧帽弁狭窄症を合併する例や僧帽弁置換術後例では、経僧帽弁血流が左心室内で乱れを生じ、大動脈弁逆流による乱れの領域と判別し難いことがあり、このような場合には、従来のような左室長軸フローマッピングに基づく重症度評価は困難であった。また、長軸断面を設定する時に、その断面が逆流を正しく捉えていないと、重症度を過小評価する危険がある。

本研究では、左室長軸フローマッピングに伴うこれらの問題を解決するため、リアルタイムドップラー断層法を用いて大動脈弁直下レベルの短軸断面を描出し、大動脈弁逆流ジェットの横断面を可視化することにより、大動脈弁逆流弁口面積を反映する指標としてその横断面積を求め、大動脈弁逆流の新たな重症度評価を試みた。

対象および方法

1. 対象

対象は大動脈弁閉鎖不全症 16 例(男 10 例, 女 6

例; 年齢 17~78 歳, 平均年齢 51 歳), うち僧帽弁狭窄症合併 5 例および僧帽弁置換術後 1 例である。なお、健常男性 3 例(年齢 27~30 歳, 平均年齢 28 歳)を対照とした。

大動脈弁閉鎖不全症の診断は、全例超音波パルス・ドップラー法による所見に基づいて行なった。すなわち、左室流出路において等容性弛緩期より始まる全拡張期性広帯域スペクトルを呈する異常血流信号を検出することにより診断した。また、一部の症例(8 例)では心臓カテーテル検査を施行し、大動脈造影によりその存在を確認した。

2. 装置

血流計測には、リアルタイムドップラー断層装置(アロカ製 SSD-880; 発信周波数 2.5 MHz, パルス繰り返し周波数 4 または 6 KHz) および断層心エコードップラー装置(日立製 EUB-10B; 発信周波数 2.5 MHz, パルス繰り返し周波数 5.4 KHz)を用いた。超音波パルスドップラー法により計測した血流速波形は、紙送り速度 100 mm/sec にて strip chart に記録した。リアルタイムドップラー断層法によるカラー動画は VTR (ビクター製 CR-6060) に収録した。

3. ドップラー検査: 大動脈弁逆流 ジェットの横断面の描出

被検者を安静仰臥位ないし左側臥位としたのち、傍胸骨左縁第 3 ないし第 4 肋間より超音波ビームを投入し、胸骨傍長軸断面を描出した (Fig. 1 左図)。ついで、この断面より破線で示す大動脈弁直下レベルを中心として、トランスデューサーを時計方向に 90 度回転し、大動脈直下レベルの短軸像を描出 (Fig. 1 右図)、以下の検討に用いた。

患者群では、同短軸断面にて、拡張期に閉鎖し

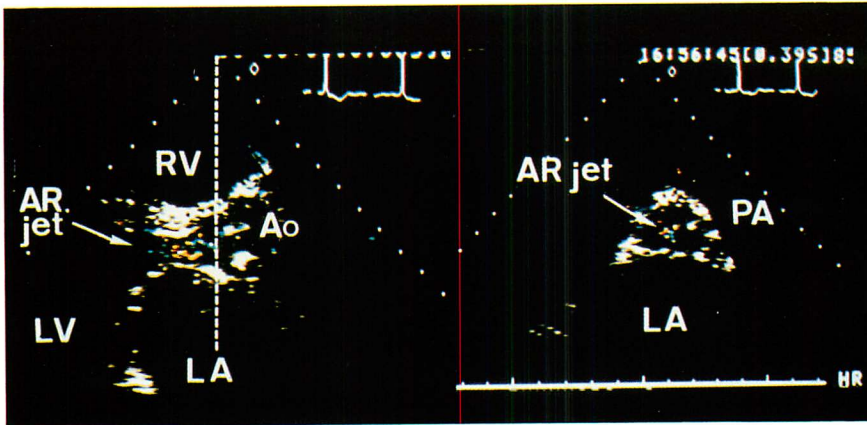


Fig. 1. Visualization of the cross-section of the aortic regurgitant jet.

After depicting the long-axis view of the left ventricle (left panel), the transducer is clockwise rotated to depict the short-axis view at the level of the aortic valve (shown as a white dotted line). Then, the cross-section of the aortic regurgitant jet (AR jet) is displayed as a mosaic of yellow and blue (right panel).

Abbreviations: Ao=aorta; LA=left atrium; PA=pulmonary artery; RV=right ventricle.

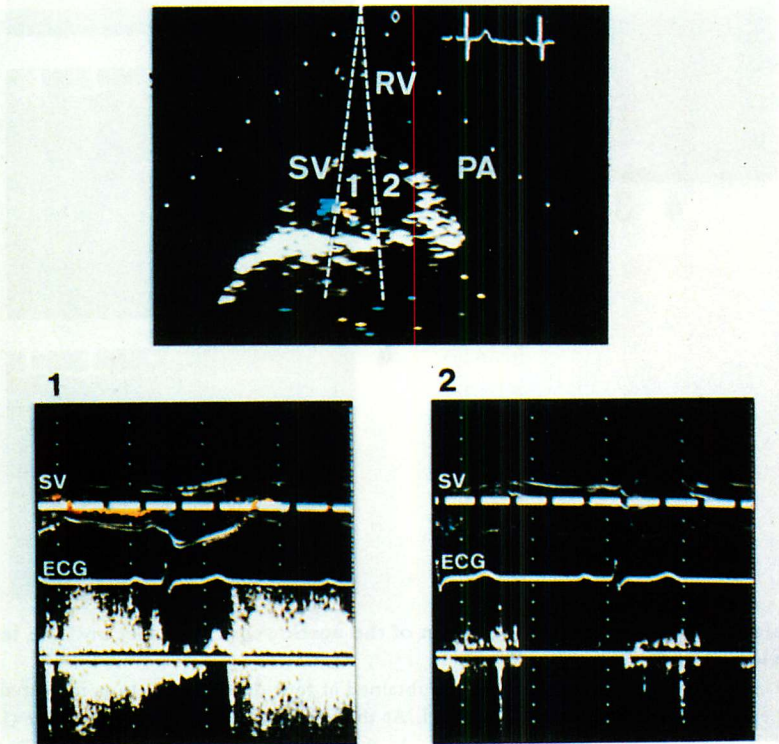


Fig. 2. Identification of the aortic regurgitant jet based on fast Fourier transform (FFT) spectrum analysis.

When the Doppler sample volume (SV) is placed in the area represented by a mosaic pattern (shown as area 1 in the figure) and the Doppler signals are analyzed by FFT, diastolic spectral broadening is recorded, exhibiting an aortic regurgitant jet (left lower panel). In the area without flow signals (shown as area 2), no Doppler signal is obtained during diastole (right lower panel).

Abbreviations: ECG=electrocardiogram; PA=pulmonary artery; RV=right ventricle.

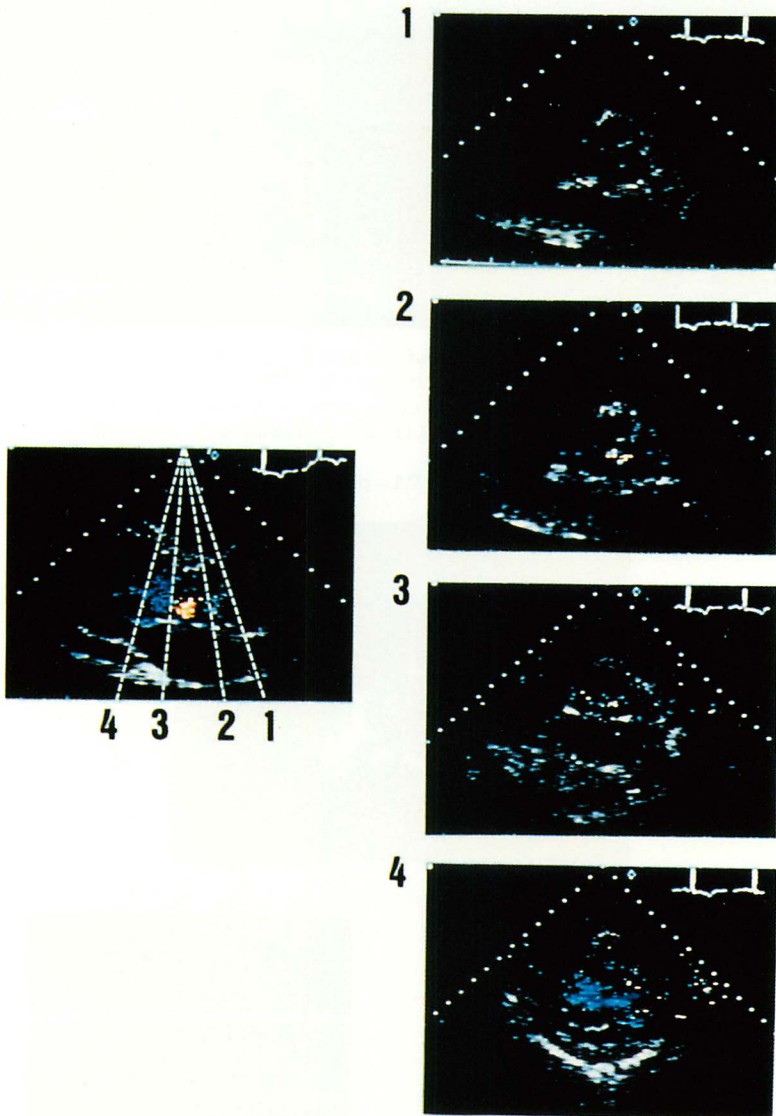
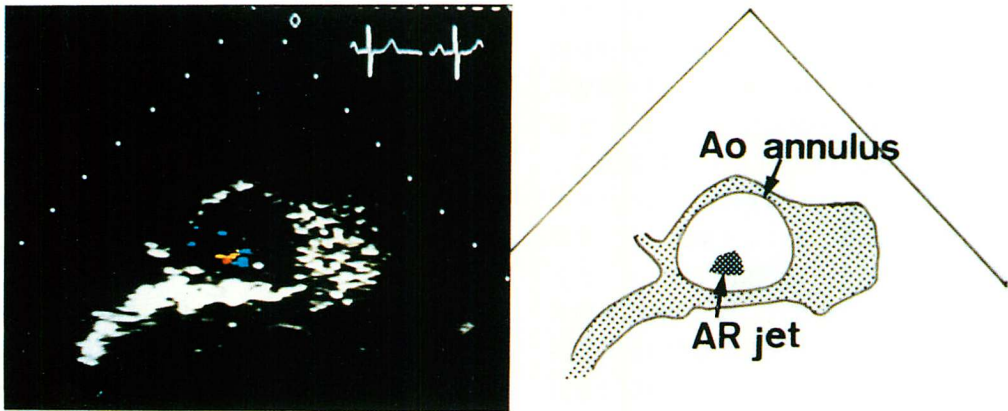


Fig. 3. Relation between the cross-section of the aortic regurgitant jet and the level of the short-axis view.

The short-axis views on the right panels are obtained at four different levels as indicated by dotted lines on the echo image shown in the left panel. At the level just above the aortic valve (level 1), no significant flow signal is found during diastole. At the level of the aortic valve (level 2), the cross-section of the aortic regurgitant jet is clearly depicted as a mosaic of yellow and blue. The cross-sectional area of the regurgitant jet rapidly increases as it proceeds down through the outflow tract (level 3) to the body of the left ventricle (level 4).



$$\text{Doppler parameter (J/Ao)} = \frac{\text{cross-sectional area of AR jet}}{\text{aortic annulus area}}$$

Fig. 4. Representation of the procedure used to calculate the Doppler parameter, J/Ao.

The short-axis view at the level of the aortic annulus is visualized at the level of the aortic valve. From the mid-diastolic color flow image, the cross-sectional area of the aortic regurgitant jet (AR jet), J, is determined as the area filled with a mosaic of yellow and blue. Then, the aortic annulus area, Ao, is determined, recognizing its internal circumferential edge. These two measurements are related to provide the means of calculating the Doppler parameter, J/Ao.

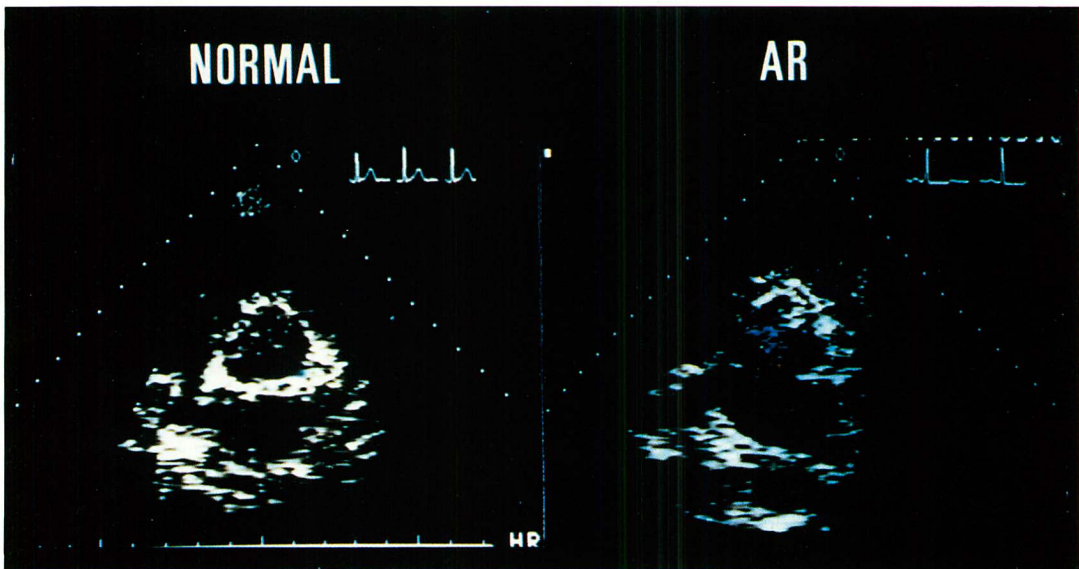


Fig. 5. Color flow images of the aortic annulus in a normal subject (left) and in a patient with aortic regurgitation (AR) (right).

There is no abnormal flow signal during diastole in any of the normal subjects. However, the cross-section of the aortic regurgitant jet (AR jet) is clearly depicted in all patients with aortic regurgitation.

た半月弁とともに暖色と寒色系の色が混在したモザイク状パターンを呈する異常血流信号領域が観察された。このモザイク状パターンを示す領域が大動脈弁逆流ジェットを捉えたものであることは、その部位にサンプルボリュームを設定し、fast Fourier transform (FFT) によるスペクトル解析を並行して行なうことにより確認した。すなわち、モザイク状パターンの領域では、スペクトル解析によって、全拡張期性に両方向性広帯域スペクトルを呈する典型的な大動脈弁逆流信号が得られたものの、カラー表示上有意な血流信号を示さない領域では、拡張期に逆流信号を認めなかった (Fig. 2)。

大動脈弁逆流は閉鎖半月弁の間隙を通過する、いわゆる狭窄流であるため、観察する短軸断面のレベルにより、その広がり異なることが予想される。本研究で採用した大動脈弁直下レベル短軸断面の意義を検討するため、Fig. 3 に示すように、短軸断面のレベルを変えて大動脈弁逆流の横断面の変化を観察した。Fig. 3 の1に示す大動脈弁直上レベルでは、拡張期に有意な血流信号を認めなかった。短軸断面のレベルを徐々に左室流出路に向かって下げていくと、Fig. 3 の2に示す大動脈弁下レベルで、初めてモザイク状パターンを呈する大動脈弁逆流ジェットの横断面が捉えられた。更に左室体部に向うにつれ、モザイク状パターンの領域が急速に拡大する様子が観察された (Fig. 3 の3, 4)。従って本研究では、大動脈弁直下で大動脈弁逆流が初めて出現するレベルを、逆流評価のための短軸断面として採用した。

4. ドップラーパラメータの算出

大動脈弁逆流の重症度を評価するための指標として、大動脈弁直下レベル短軸断面から大動脈弁逆流ジェットの横断面積 (J) を求め、それを心臓サイズにより補正するために大動脈弁輪部面積 (Ao) で基準化した J/Ao を算出した (Fig. 4)。J は心臓の動きの少ない拡張中期緩徐流入期において、モザイク状パターンを呈する異常血流信号領域が最大となる時相でカラー画像を静止したの

ち、モザイク状パターンの周囲をトレースし、その面積をプランニメーターにより求めた。一方、Ao は同断面の静止画像上から、大動脈弁輪部内側に沿ってトレースし、同様にプランニメーターにより計測した。

ここでドップラーパラメーターである J/Ao は、心拍に伴う変動を補正するため、5心拍以上の平均として求めた。

対象のうち、無作為に抽出した5症例でドップラーパラメーター、J/Ao、を二人の検者で算出したところ、interobserver variance はいずれも15%を超えることはなかった。

5. ドップラー法による大動脈弁閉鎖不全症の逆流率の算出

ドップラーパラメーター、J/Ao、が大動脈弁逆流の重症度を推定するのに妥当な指標であるかを検討するため、リファレンスとして、大動脈弁逆流率を断層心エコードップラー法を用いて算出した。ドップラー法による大動脈弁逆流率 (RF) (%) は、既に報告したように⁷⁾、ドップラー法を用いて計測した収縮期大動脈および肺動脈血流量 (AF および PF) を基に、AF を左室総拍出量、PF を有効拍出量、前者と後者の差を大動脈弁逆流率と見做して、以下の式に従って求めた。

$$RF(\%) = (AF - PF) / AF \times 100$$

なお AF は心尖部アプローチにより計測した左室駆出血流速 (VI) と、胸骨傍長軸断面より求めた大動脈弁輪径 (DI) より、PF は前胸壁アプローチにより計測した右室駆出血流速 (Vr) と、肺動脈弁輪径 (Dr) より、それぞれ以下の式に従って算出した。

$$P(A)F = \pi (Dr(l)/2)^2 \times \int_{E_s}^{E_o} Vr(l) dt$$

ただし Ee(s) = 駆出終了 (開始) 時相。

AF, PF, RF は心拍に伴う変動を補正するため連続5心拍以上の平均として求めた。

我々は断層心エコードップラー法を用い、上述のようにして求めた大動脈弁逆流率が、心臓カテール検査時に左室造影法と熱希釈法によるデー

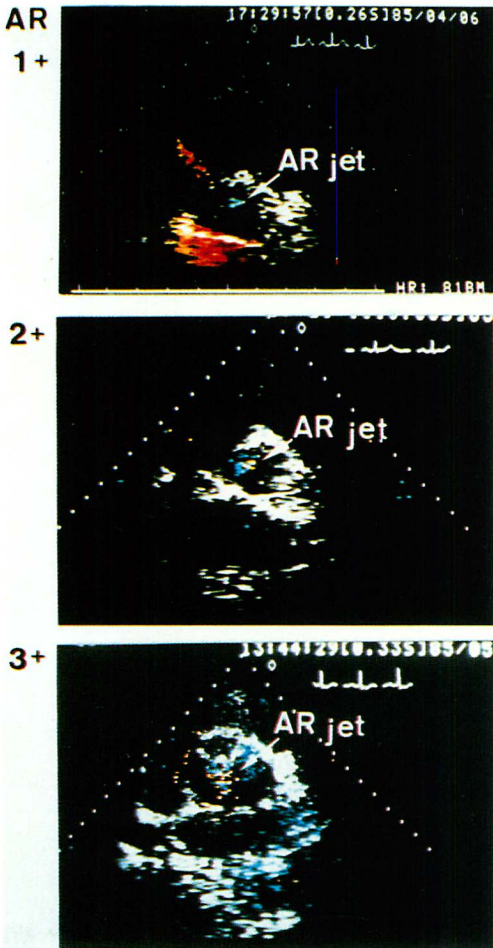


Fig. 6. Representative color flow images of the aortic annulus in patients with mild (1+), moderate (2+), and severe (3+) aortic regurgitation.

With an increase in severity of aortic regurgitation as shown from the top to the bottom, the cross-sectional area of the aortic regurgitant jet (AR jet) increases. The cross-sectional area of the AR jet reflects the severity of aortic regurgitation.

タを基に算出した逆流率とよく一致することを、既に確認している⁷⁾。

ドップラーパラメーター、 J/Ao 、と大動脈弁逆流率との比較は最小二乗法に基づく直線回帰により行い、有意差の確認は Student's *t* 検定によった。

結 果

対象全例において大動脈弁直下レベル短軸断面の描出が可能であり、大動脈弁逆流率を算出した。

大動脈弁閉鎖不全症例では、全例において大動脈弁直下レベル短軸断面で拡張期に大動脈弁逆流ジェットの横断面を明瞭に描出しえた。これに対して、健常例ではいずれも同断面で拡張期に有意な血流信号を認めなかった (Fig. 5)。

Fig. 6 は大動脈造影を行った症例において、Sellers 分類に基づく大動脈弁逆流の重症度とそれに対応する大動脈弁逆流ジェットの横断面を比較したものである。大動脈弁逆流が重症になるにつれて大動脈弁輪部に占める逆流ジェットの横断面の割合が大きくなる様子が観察された。

Fig. 7 は、ドップラーパラメーター、 J/Ao と大動脈弁逆流率とを比較したものである。僧帽弁狭窄症や僧帽弁置換例など僧帽弁の狭窄性変化の合併の有無にかかわらず、 J/Ao と大動脈弁逆流率との間には良好な正相関 ($r=0.82$, $p<0.005$) が認められた。以上の結果は、ドップラーパラメーター、 J/Ao 、が大動脈弁逆流率をよく反映し、また僧帽弁の狭窄性病変の合併があっても大動脈弁逆流の重症度を評価しうる指標であることを示唆した。

考 察

本研究では大動脈弁閉鎖不全症例を対象とし、リアルタイムドップラー断層法による大動脈弁直下レベルの短軸断面から、大動脈弁逆流弁口面積の指標として大動脈弁逆流ジェットの横断面積を計測し、それを用いて逆流の新たな重症度評価を試みた。大動脈弁逆流ジェットの横断面積 (J) を大動脈弁輪部面積 (Ao) で補正したドップラーパラメーター (J/Ao) は、大動脈弁逆流率と良好な相関を認め、大動脈弁逆流の重症度を評価する新たな指標となりうるものと考えられた。

我々と同様に、大動脈弁直下レベルにおける大

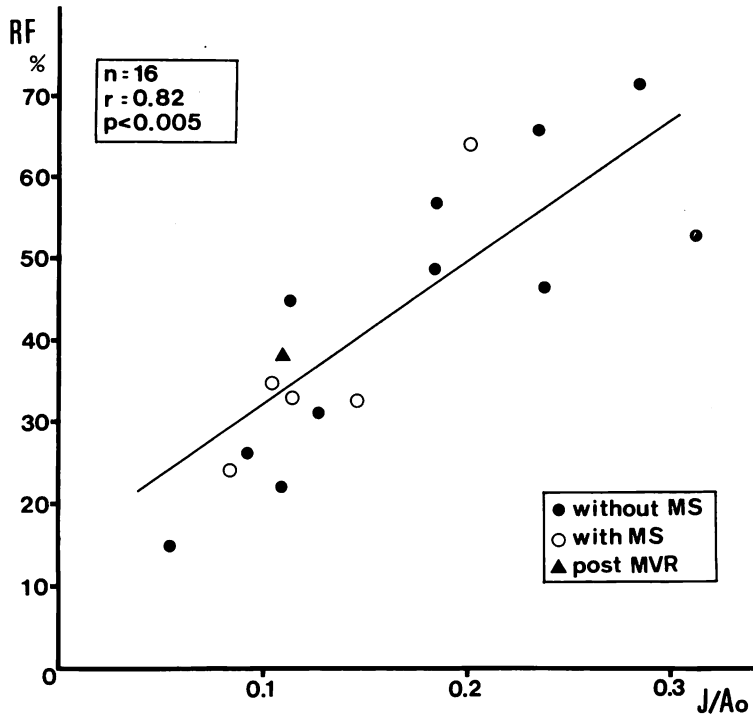


Fig. 7. Relation between the Doppler parameter (J/A_o) and aortic regurgitant fraction.
The J/A_o correlates well with aortic regurgitant fraction (RF) with a correlation coefficient of 0.82 ($p < 0.005$), irrespective of the presence of mitral stenotic lesions.
Abbreviations: MS=mitral stenosis; MVR=mitral valve replacement.

動脈弁逆流ジェットの横断面積から大動脈弁逆流の重症度を評価する試みは、既に Veyrat らが報告している⁵⁾。彼らは短軸断面上でサンプルボリュームを移動させつつ、time interval histogram または FFT によるスペクトル解析を行い、逆流信号の有無に基づいて逆流ジェットの横断面を求めている。彼らの成績では、このようにして求めた大動脈弁逆流断面積を大動脈弁輪部面積ないしは体表面積で補正して得られるドップラーパラメーターは、大動脈造影所見に基づく重症度分類とよく相関するとしており、我々の成績と一致する。しかし、彼らのアプローチには幾つかの問題点も指摘されている⁶⁾。逆流信号の有無の判定が検者の主観によるところが大きいこと、また逆流ジェットの横断面積の計測にあたり、ドップラー

データを基にその領域をマニュアルでエコー断面上に再構成しなくてはならないため、過程が複雑であり、そのため再現性に問題があるとされている。さらにサンプルボリュームの大きさが決まっているため、小さな逆流では面積の評価に問題があると考えられる。それに対し、我々はリアルタイムドップラー断層法を用い、大動脈弁逆流ジェットを暖色と寒色の混在したモザイク状パターンの領域として、実時間にエコー断面上で観察している。モザイク状パターンの領域は、FFT 法によるスペクトル解析で、Veyrat らのいう逆流信号と同一であることを確認しており、逆流領域が断面上にカラーで表示されているため、より客観的に評価できるものと考えられる。さらに再構成の必要がないので、手技的にも簡単である。

大動脈弁逆流ジェットの横断面積を評価するにあたり、ドップラーゲインの設定および計測する短軸断面のレベルで横断面積が変化することが予想され、それが本アプローチの誤差要因になりうるものと考えられる。リアルタイムドップラー断層装置のドップラーゲインの設定に関しては、未だ明確な基準は報告されていない。ゲインを下げると低速血流への感度が減弱し、逆流領域を過小評価する危険があり、逆に上げ過ぎると background のノイズにより、逆流の境界が不明瞭になる。本研究では、background にノイズが出現しない範囲で最大のレベルに設定するように心掛けた。ここで、本アプローチでは左室流出路に対して垂直に断面を設定しているため、流路に沿った低速血流成分は high pass filter で遮断され、逆流ジェットに伴う乱れた流れのみを特異的に描出したものと考えられ、比較的ノイズに強いアプローチであるといえる。

大動脈弁逆流は弁尖の間隙を通過した一種の狭窄流であるため、短軸断面のレベルにより、その横断面積は大きく変化すると考えられる。実際、基礎的検討で示したように、左室流出路から体部にかけて横断面は急速な拡大を示した。そのため、本研究では短軸断面のレベルを一定とするため、長軸断面をリファレンスとしつつ、大動脈弁直下レベルで固定するようにした。本レベルは拡張期に閉鎖した3つの弁尖の接合部が描出されること、さらに逆流ジェットが初めて捉えられるレベルであることから、そのレベルの確認は容易であった。

本研究では大動脈弁逆流の重症度を逆流弁口面積の大きさより評価せんとしたが、大動脈弁逆流量はそれ以外にも、拡張期の 大動脈-左室間圧較差の影響をも受けると考えられ、本法を適用するにあたって、圧較差がどの程度逆流流量に影響を及ぼすかが問題となる。本研究の検討では、拡張期大動脈-左室間圧較差の逆流流量に与える影響に関しては明らかではない。諸家の報告では逆流弁口面積が小さい場合には、拡張期を通じて大動脈-

左室間圧較差がよく保たれているのに対し、逆流弁口面積が大きくなると逆流流量が増大し、そのため急速に左室圧の上昇がおり、圧較差が減少するとしている^{9,10}。このことは、大動脈弁逆流流量を規定するものとして逆流弁口面積の大きさが一次的で、大動脈-左室間圧較差は逆流弁口面積により規定される二次的な現象にすぎないことを示唆するものであり、逆流弁口面積の立場から、大動脈弁逆流の重症度評価することの妥当性を示唆するものと考えられる。

従来、超音波ドップラー法による大動脈弁閉鎖不全症の重症度評価は、左心室内における大動脈弁逆流の広がり、またはその到達距離から、半定量的になされることが多かった¹⁻⁶⁾。逆流ジェットの広がりの程度に基づいた重症度評価は簡便で、かつ大動脈造影所見による重症度分類とよく一致することから、临床上広く用いられているが、実際には以下の如く、それによる評価が困難な場合が少なからずあることが知られている。まず、1) 僧帽弁狭窄症合併例や僧帽弁置換術後例では、経僧帽弁血流が左心室内で乱れた流れを生じ、そのため大動脈弁逆流による乱れの領域と識別しがたい場合がある。特に軽度の 大動脈弁閉鎖不全症例ほど、この影響は大きいものと考えられる。2) 逆流ジェットが僧帽弁前尖あるいは心室中隔に当たってその方向を転ずる場合には、左心室内の逆流ジェットの到達距離に基づいた分類をそのまま適用するには問題がある。また、3) 逆流ジェットは本来三次元的な広がりをもつため、必ずしも設定したエコー断面上にジェットの全体像を捉えることは難しい。このような場合には、広がりを過小評価する危険がある。これらは、いずれも左室長軸断面を用いてフローマッピングする際に、避けて通れない問題である。それに対し、今回用いた大動脈弁直下レベル短軸断面による方法は、これらの影響を受けにくいといえる。逆流ジェットは必ずこの短軸断面を通過するため、その三次元的な方向によらず、この断面で捉えることができる。さらに、左室流出路で観察しているため、



Fig. 8. Representative color flow image of the aortic annulus in a patient with aortic steno-insufficiency.

The aortic regurgitant jet (AR jet) is visualized where the echo defect is found, and is related to central regurgitation.

Abbreviations: LA=left atrium; RV=right ventricle.

経僧帽弁血流の影響を受けにくいという利点がある。本研究では、僧帽弁の狭窄性病変による影響を受けることなく逆流ジェットの高断面積を求め、さらに重症度を評価することが可能であった。以上のことから、従来の長軸断面によるアプローチに加え、短軸断面による大動脈弁逆流ジェットの高断面積の解析を行なうことにより、よりきめの細かい大動脈弁逆流の重症度評価が可能になると考えられる。

さらに、本アプローチは大動脈弁逆流の重症度評価のみならず、弁の障害部位の同定にも有用であると考えられる。リアルタイムドップラー断層法は構造物と血流信号を同一画面上に描出しうるため、大動脈弁逆流の検出部位と半月弁の関係から、障害部位を推定しうる。例えば、Fig. 1 の場合、左冠尖と無冠尖の間にモザイク状パターンを呈する大動脈弁逆流が認められ、このような場合には、左冠尖と無冠尖の接合不全が強く示唆される。一方、リウマチ性大動脈弁狭窄兼閉鎖不全症

例では、互いに周辺部で融合した弁の中央部にあるエコー欠損部に一致して、大動脈弁逆流を認める例もあった (Fig. 8)。あらかじめ障害部位が分っていれば、外科的に弁修復を行なう際にも有用であると考えられ、その観点から、今後症例を重ねて詳細に検討する必要がある。

要 約

1. 大動脈弁閉鎖不全症 16 例 (うち僧帽弁狭窄症合併例 5 例, 僧帽弁置換術後例 1 例) を対象として、リアルタイムドップラー断層法により、大動脈弁逆流弁口面積を反映する指標として大動脈弁逆流ジェットの高断面積を求め、それによる大動脈弁閉鎖不全症の新たな重症度評価を試みた。
2. 大動脈弁直下レベル短軸断面を描出すると、大動脈弁閉鎖不全症例全例で、拡張期に暖色と寒色系の色が混在するモザイク状パターンを示す大動脈弁逆流ジェットが捉えられた。重症度評価の指標として、大動脈弁逆流ジェットの高断面積

積 (J) を大動脈弁輪部面積 (Ao) で基準化することにより, J/Ao を算出した. 一方, 本指標の妥当性を検討するため, リファレンスとして, 断層心エコードプラー法により収縮期の大動脈および肺動脈血流量 (AF および PF) を求め, 大動脈弁逆流率 (RF) を算出した [$RF(\%) = (AF - PF) / AF \times 100$].

3. J/Ao と RF との間には, 僧帽弁の狭窄性変化の合併の有無によらず, 良好な正相関 ($r = 0.82, p < 0.005$) を認め, 大動脈弁閉鎖不全症の重症度評価に有用であると考えられた.

文 献

- 1) Ciobanu M, Abbasi AS, Allen M, Hermer A, Spellberg R: Pulsed Doppler echocardiography in the diagnosis and estimation of severity of aortic insufficiency. *Circulation* **49**: 339-343, 1982
- 2) Kitabatake A, Masuyama T, Asao M, Tanouchi J, Morita T, Ito H, Hori M, Inoue M, Abe H, Chihara K, Sakurai Y: Colour visualization of two-dimensional distribution of intracardiac flow abnormalities by multigate Doppler technique. *in* *Cardiac Doppler Diagnosis*, ed by Spencer MP, Martinus-Nijhoff Publishers, Boston, 1983, p 309
- 3) Richards KL, Cannon SR, Crawford MH, Sorensen SG: Noninvasive diagnosis of aortic and mitral valve disease with pulsed-Doppler spectral analysis. *Am J Cardiol* **51**: 1122-1127, 1983
- 4) Veyrat C, Ameur A, Gourtchiglouian C, Lessana A, Abitol G, Kalmanson D: Calculation of pulsed Doppler left ventricular outflow tract regurgitant index for grading the severity of aortic regurgitation. *Am Heart J* **108**: 507-515, 1984
- 5) Veyrat C, Abitol G, Bas S, Manin JP, Kalmanson D: Quantitative assessment of valvular regurgitations using the pulsed Doppler technique. Approach to the regurgitant lesion. *Ultrasound in Med & Biol* **10**: 201-213, 1984
- 6) Gross CM, Wann LS, Nanda NC: Doppler assessment of aortic regurgitation and dissection. *in* *Doppler Echocardiography*, ed by Nanda NC, Igaku-Shoin, New York, Tokyo, 1984, p 220
- 7) Kitabatake A, Ito H, Inoue M, Tanouchi J, Ishihara K, Morita T, Fujii K, Yoshida Y, Masuyama T, Yoshima H, Hori M, Kamada T: A new approach to noninvasive evaluation of aortic regurgitant fraction by two-dimensional Doppler echocardiography. *Circulation* **72**: 523-529, 1985
- 8) Veyrat C, Lessana A, Abitol G, Ameur A, Benaim R, Kalmanson D: New indexes for assessing aortic regurgitation with two-dimensional Doppler echocardiographic measurement of aortic valvular area. *Circulation* **68**: 998-1005, 1983
- 9) Gorlin R, McMillan IKR, Medd WE, Matthews MB, Daley R: Dynamics of the circulation in aortic valvular disease. *Am J Med* **18**: 855-870, 1955
- 10) Masuyama T, Kodama K, Kitabatake A, Nanto S, Sato H, Uematsu M, Inoue M, Kamada T: Noninvasive evaluation of aortic regurgitation by continuous-wave Doppler echocardiography. *Circulation* **73**: 460-466, 1986