

Clinical Study of Quantification of Valvular Regurgitation by Color Doppler Echocardiography (CDE)

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/8187

カラードップラーエコー (CDE) 法による 弁逆流の定量化に関する臨床的研究

金沢大学医学部第一外科学講座 (主任: 岩 喬教授)

八 木 真 悟

(平成2年2月8日受付)

本研究は心臓弁膜症, 特に閉鎖不全症における弁逆流量を定量化することにより弁逆流の重症度を評価し, 手術適応へ応用することを目的とした. 三尖弁逆流 (tricuspid valve regurgitation, TR) 45例, 僧帽弁逆流 (mitral valve regurgitation, MR) 22例, 大動脈弁逆流 (aortic valve regurgitation, AR) 15例を対象に, 心エコーとしてカラードップラーエコー (color doppler echocardiography, CDE) 法を用いた. CDE 法で最大逆流ジェットの得られるアプローチにて, これの最大逆流縦断面積 (S), および逆流ジェットの長軸に直交する最大幅 (W) を求めた. 逆流量を質量体と考え, 正円の断面をもった回転楕円体と仮定すると, 逆流量 (V) は, $V=2/3 \times S \times W$ にて求め得る. 同時に, MR, AR では逆流度を逆流到達度から I ~ III 度に分類し, Sellers 分類の I, II, III+IV 度と比較し有意な相関関係を得た. また TR では最大逆流速度からベルヌーイの簡易式を用いて求めた右室収縮期圧を, 心カテテル検査でえられたものと比較検討し有意な一致をみた. これら2点より, 本法の信頼性を確認した. CDE 法より求めた逆流量を, さきの I ~ III 度までの分類に基づいて G-1, 2, 3 の3群に分類した. TR では G-1, 2 間で $p < 0.01$ の, G-2, 3 間で $p < 0.05$ の有意差が認められた. MR では G-1, 2 間に有意差が認められた ($p < 0.05$). AR では, G-2, 3 間にわずかな有意差が認められた ($p < 0.10$). 手術対象となった各弁疾患の逆流量は TR が平均 9.02ml, MR が 33.58ml, AR が 26.18ml であった. これらは, それぞれ G-3 の逆流量, すなわち TR: 10.45ml, MR: 31.40ml, AR: 31.85ml とよく一致した. 今回の手術群と非手術群の間には有意差はなかったが, 手術適応の逆流量の簡明値として TR: 10ml, MR: 30ml, AR: 30ml が, 適切かつ有用と思われる.

Key words color doppler echocardiography, valvular regurgitation, quantification, geometric method

心臓弁膜症, 特に閉鎖不全症における弁逆流の重症度評価として, 弁逆流量の半定量化法や定量化法が過去様々な試みられてきた. 半定量化法の代表的位置にあるのが Sellers 法に代表される造影法である¹⁾. 一方定量化に対しては, 色素希釈法²⁾や核医学的方法³⁾が試みられてきた. 弁逆流量は血行動態的には逆流弁口面積と圧格差, および逆流持続時間によって規定され

るが, これら3要素はすべて経時的に変化し逆流量は常に一定の値をとるものではない. 近年非侵襲的検査法として心エコー法, 特にカラードップラーエコー (color doppler echocardiography, CDE) 法の発達がめざましい. 今回, CDE 法によるリアルタイムの画像をもとに, 逆流量を質量体としてとらえることで, 弁逆流を簡易的に定量化する臨床的研究を行った.

Abbreviations: AR, aortic valve regurgitation; AVR, aortic valve replacement; CDE, color doppler echocardiography; CO, cardiac output; EDP, end-diastolic pressure; MR, mitral valve regurgitation; MVP, mitral valve plasty; MVR, mitral valve replacement; TAP, tricuspid anuloplasty; TR, tricuspid valve regurgitation

対象および方法

I. 対象

1989年3月15日から10月31日までに CDE 法の検査を施行した三尖弁逆流 (tricuspid valve regurgitation, TR) 45例, 僧帽弁逆流 (mitral valve regurgitation, MR) 22例, 大動脈弁逆流 (aortic valve regurgitation, AR) 15例である。年齢は22才から63才 (平均53才), 男35名, 女42名であった。心エコー装置は SSD-880 (Aloka 社, 東京) を使用し, 2.5MHz のトランスデューサーを胸骨傍アプローチ, または心尖部アプローチにより, 最大逆流ジェットが得られるいずれかのアプローチにて, これの最大逆流縦断面積 (S), および逆流ジェットの最大到達距離, さらにこれと直交する最大幅 (W) を求めた。同時に CDE 法により逆流ジェットの最大到達距離から逆流度を, また連続波ドップラー法により最大逆流速度も求めた。

心エコー検査, および CDE 検査の信頼性の検討のために, 1988年1月以降心血管造影検査と CDE 検査を同時に行いえた37例, および1988年11月以降心カテーテル検査も同時に行った25例についてもこれを対象とした。

II. カラードップラーエコー法に対する信頼性の検討

1. 左心系の逆流

AR, MR では, 左心造影の Sellers 分類と, CDE 法による逆流ジェットの到達度を比較検討した。Sellers 分類を I, II, III+IV の3段階に分類した。一方, CDE 法では, 逆流のみられる左心室, 左心房を3等分し, その到達度により I~III度までに分類した。以上のように, 逆流の見られる房室を3等分することで逆流度を3群に分類する方法は, 4群に分類する方法と共に広く知られている。

2. 右心系の逆流

TR での右心造影は, かねてからカテーテル自体によるアーチファクトが指摘されており, 微小な逆流ではこれを参考にできない。また今回の研究では統計的に比較検討可能な症例数が得られなかった。そこで右心カテーテル検査で代用する方法で心エコーの信頼性を検討した。連続波ドップラーエコー法で求めた最大逆流速度から右心房室間の圧格差をベルヌーイの簡易式より計算し, 平均右心房圧を 10mmHg とすることで右心カテーテルで求めた右心室圧と比較した。すなわち, 連続波ドップラーで求めた最大逆流速度を V とすると, 右房-右室圧格差 (dP) は, 簡易ベルヌーイ式より $dP=4V^2$ となる。ここで右房圧として

10mmHg を想定すると右室収縮期圧は, $4V^2+10$ で高精度に推定しようと報告されている。

III. カラードップラーエコー法による弁逆流量の計算 (図1a)

逆流ジェットの最大縦断面積 (S) と, これの最大到達距離と直交する最大幅 (W) を求める。逆流量 (V) を, 正円の断面をもった回転楕円体と仮定すると, $V=2/3 \times S \times W$ にて逆流量を求め得る。すなわち, 最大幅 W の部分を円と仮定する。最大到達距離 (H) との交点で h1 と h2 ($H=h1+h2$) の成分に分けると, 半径 W/2 の円を底辺とした高さ h1 と h2 の2つの楕円錐ができあがる。最大縦断面積 S は, 2つの 1/2 楕円の組合せであるから, $S=\pi/4 \times W \times H$ で求められる。すると逆流量 V は,

$$\begin{aligned} V &= 2/3 \times \pi (W/2)^2 \times h1 + 2/3 \times \pi (W/2)^2 \times h2 \\ &= 2/3 \times \pi (W/2)^2 \times (h1+h2) \\ &= 2/3 \times \pi \times (W^2/4) \times H \\ &= 2/3 \times S \times W \end{aligned}$$

となる。以上は逆流ジェットに屈曲のない場合はもちろん, 1カ所の屈曲のある場合でも求められる。しかし, このとき逆流ジェットが多方向性であったり, 楕円から程遠い形態であるものは対象から除外した。図1b は TR での逆流最大縦断面積の測定を, また図1c は最大到達距離と, これに直交する最大幅の測定を示している。

成 績

I. カラードップラーエコー法の信頼性

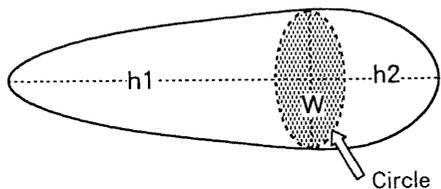
1. 左心系の逆流

1988年1月以降左心系の逆流 (AR, MR) に, 心血管造影検査と CDE 検査を同時に行い得たのは, 37例であった。エコーでの逆流度を横軸に, 血管造影での逆流度を縦軸にとると, AR, MR の結果はおおの図のようになる (図 2a, 図 2b)。これらの回帰分析を行ったところ, AR は $Y=0.83X-0.14$ (図 3a), MR は $Y=0.88X-0.12$ (図 3b) となり, 統計上共に有意な相関関係を示した ($p<0.01$)。若干ではあるが, CDE 法の過大評価の傾向がみられるようであった。

2. 右心系の逆流

1988年11月以降右心系の逆流 (TR) に, 心カテーテル検査と CDE 検査および, 連続波ドップラー心エコー検査を同時に行い得たのは, 25例であった。簡易ベルヌーイ式に基づいて, 計算により求めた右室収縮期圧 (Cal RV) は, 39.4 ± 15.2 mmHg であった。一方, 心カテーテル検査により求めた収縮期右室圧 (Cath RV) は, 40.6 ± 14.2 mmHg であった。これらを

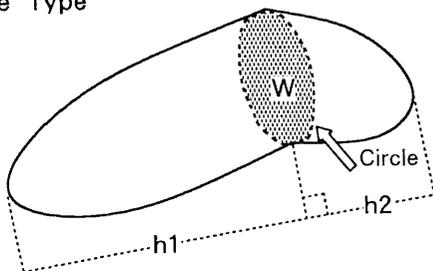
1) Straight Type



$$\begin{aligned}
 V &= \pi \times (W/2)^2 \times h1 \times 2/3 + \pi \times (W/2)^2 \times h2 \times 2/3 \\
 &= 2/3 \pi \times (W/2)^2 \times (h1 + h2) \\
 &= 2/3 \pi \times W^2 / 4 \times H \\
 &= 2/3 \times S \times W
 \end{aligned}$$

$H = h1 + h2$
 $S = \pi / 4 \times W \times H$

2) Curve Type



H : Regurgitant Distance
 S : Longitudinal Sectional Area

Fig. 1a. Theoretical bases of calculation of regurgitant volume. It was supposed that regurgitant volume was elliptical revolved mass with circle section. Following calculating process in figure, regurgitant volume can be calculated by the formula; $V=2/3 \times S \times W$, at either straight or curve type of regurgitant jet. Abbreviations: H, Regurgitant distance; S, longitudinal sectional area; W, maximal width and diameter of circle.

III + IV			○	○○○○○ ○○
II		○	○○	○○○○
I			○○○○○	
0	○○○○○ ○○○○○ ○○	○○	○○○	
	0	I	II	III
	CDE(Echo) AR Grade			

Fig. 2a. Comparison between CDE (Echo) and angiographic (Angio) grading of aortic regurgitation.

III + IV			○○	○○○○○ ○○○
II			○	○○○
I			○○○	○○
0	○○○○○ ○○○○○ ○○○○	○○○	○	
	0	I	II	III
	CDE(Echo) MR Grade			

Fig. 2b. Comparison between CDE (Echo) and angiographic (Angio) grading of mitral regurgitation.

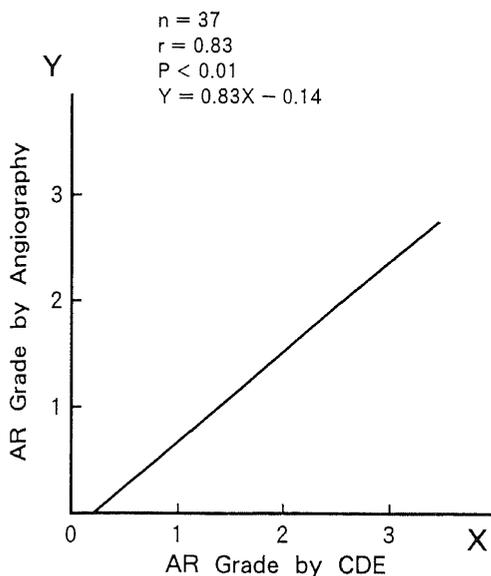


Fig. 3a. Correlation between CDE and angiographic grading of aortic regurgitation. There was a significant correlation ($p < 0.01$).

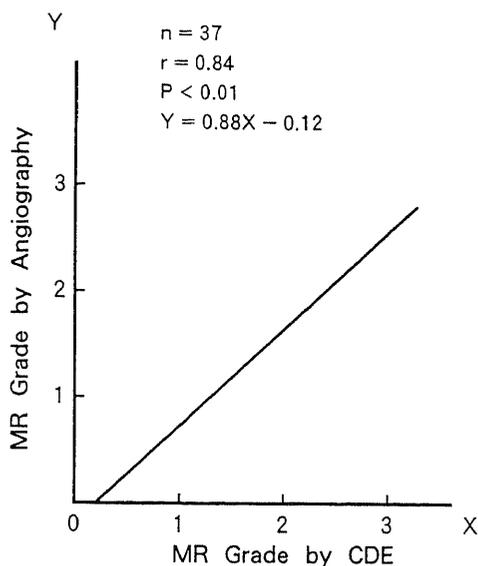


Fig. 3b. Correlation between CDE and angiographic grading of mitral regurgitation. There was a significant correlation ($p < 0.01$).

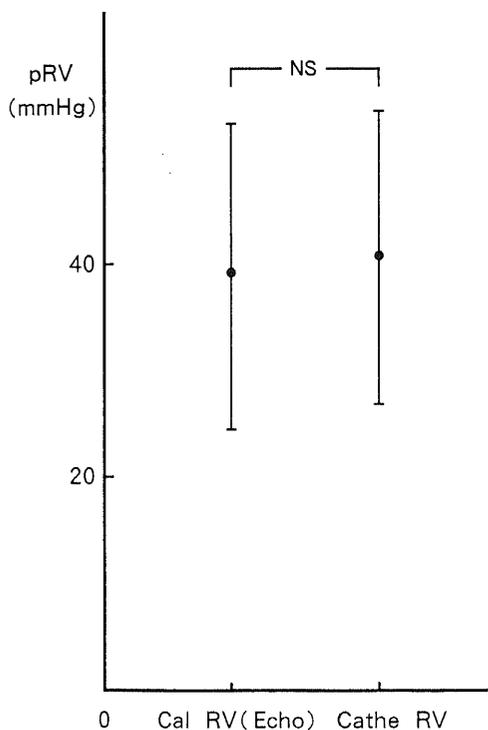


Fig. 4. Comparison of right ventricular pressure calculated by CDE (Cal RV) and measured by catheterization (Cathe RV). There was no significant difference. Abbreviations: pRV, right ventricular pressure.

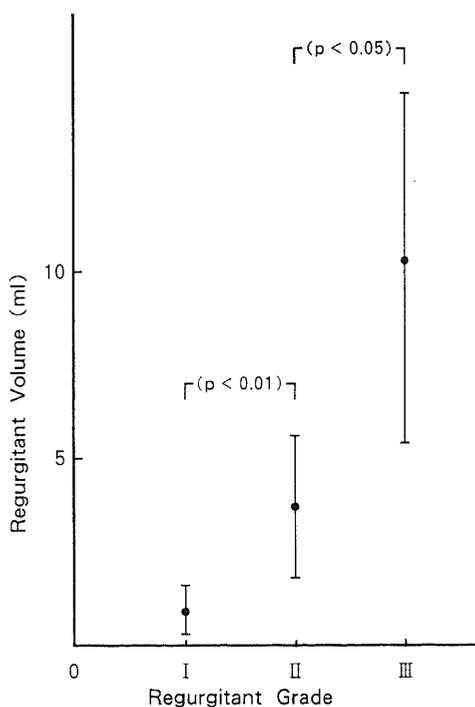


Fig. 5. Distribution of regurgitant volume based on CDE grading of tricuspid regurgitation. There was a significant difference ($p < 0.01$) between G-1 and G-2, $p < 0.05$ between G-2,3.

T 検定すると, Cal RV と Cath RV 間には有意差を認めなかった ($p < 0.01$) (図 4).

以上より当施設における心エコーおよび, CDE 検査の信頼性が確認されたと判断した.

II. 逆流量

逆流度を逆流到達度から I ~ III 度までに分類し, CDE 法を用いて簡易計算式にて求めた弁逆流量を,

逆流度 I 度 (逆流ジェットが逆流のみられる房室の 1/3 まで到達: G-1), II 度 (1/3 から 2/3 まで: G-2), III 度 (2/3 以上: G-3) の 3 群に分類した.

表 1 に示すように, TR では逆流度 G-1 が 15 例で 0.83 ± 0.65 ml, G-2 が 24 例で 3.66 ± 2.25 ml, G-3 が 6 例で 10.45 ± 6.58 ml であった. G-1 と G-2 間には $p < 0.01$ の, G-2 と G-3 間には $p < 0.05$ の有意差が認めら

Table 1. Regurgitant Grade and Regurgitant Volume

	G-1	G-2	G-3
AR (Total: 15)	(0)	4.38 ± 3.06 (9)	31.85 ± 30.80 (ml) (6) (Case)
MR (22)	2.07 ± 2.05 (6)	7.53 ± 5.06 (10)	31.40 ± 31.20 (ml) (6) (Case)
TR (45)	0.83 ± 0.65 (15)	3.66 ± 2.25 (25)	10.45 ± 6.48 (ml) (6) (Case)

G-1, G-2, G-3 were classified by regurgitant grading of CDE.
Abbreviations: AR, aortic regurgitation; MR, mitral regurgitation;
TR, tricuspid regurgitation.

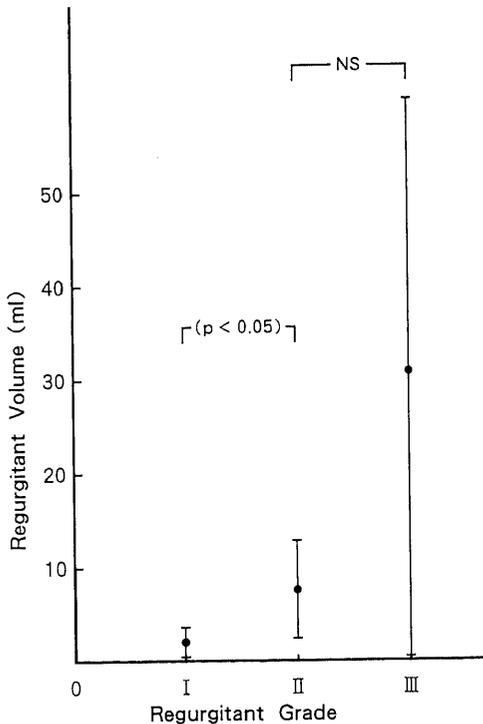


Fig. 6. Distribution of regurgitant volume based on CDE grading of mitral regurgitation. MR had a significant difference ($p < 0.05$) between G-1 and G-2.

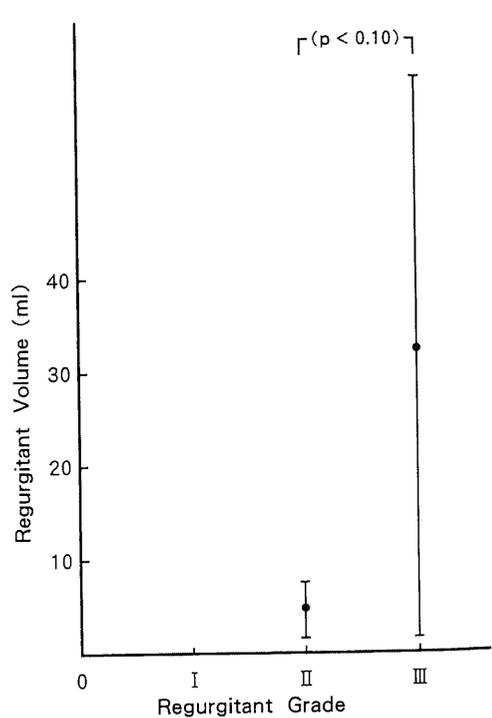


Fig. 7. Distribution of regurgitant volume based on CDE grading of aortic regurgitation. AR had a slightly difference ($p < 0.10$) between G-2 and G-3.

れた (図 5)。MR では、G-1 が 6 例で 2.07 ± 2.05 ml, G-2 が 10 例で 7.53 ± 5.06 ml, G-3 が 6 例で 31.40 ± 31.20 ml であり、G-1 と G-2 間で有意差 ($p < 0.05$) が認められた (図 6)。AR では、G-1 は認めず、G-2 が 9 例で 4.38 ± 3.06 ml, G-3 が 6 例で 31.85 ± 30.80 ml であり、この間に有意差 ($p < 0.10$) が認められた (図 7)。

外科的見地から手術対象となった各弁疾患の逆流量は、AR が 8 例で 26.18 ± 28.07 ml, MR が 6 例で 33.58 ± 31.54 ml, TR が 5 例で 9.02 ± 1.11 ml であった (表 2)。手術内容は、AR は全例大動脈弁置換術 (aortic valve replacement, AVR), MR は僧帽弁置換術 (mitral valve replacement, MVR) 3 例, 僧帽弁形成術 (mitral valve plasty, MVP) 3 例, TR は全例三尖弁輪形成術 (tricuspid anuloplasty, TAP) を施行し

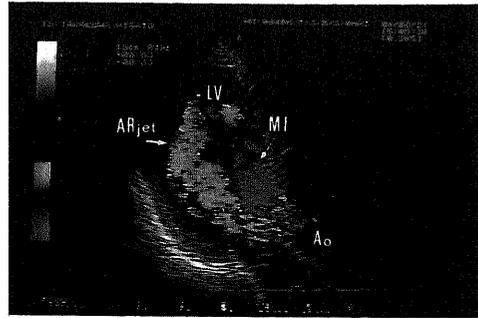


Fig. 8a. Aortic regurgitation by apical view of CDE. As red or mosaic of red and yellow signal, AR jet was recorded and AR jet and mitral inflow jet can be differentiated in the left ventricle. Abbreviations: Ao, aorta; AR jet, aortic regurgitant jet; LV, left ventricle; MI, mitral inflow.

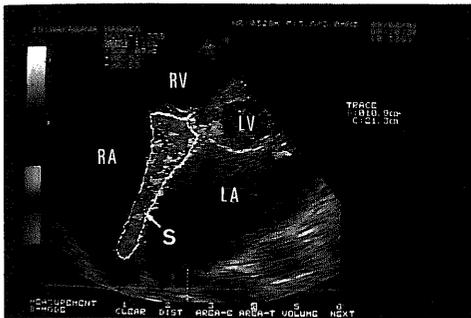


Fig. 1b. Tricuspid regurgitation through apical four chamber view by CDE. In this view, maximal longitudinal sectional area (S) is measured by computerized planimetry. Abbreviations: LA, left atrium; LV, left ventricle; RA, right atrium; RV, right ventricle.

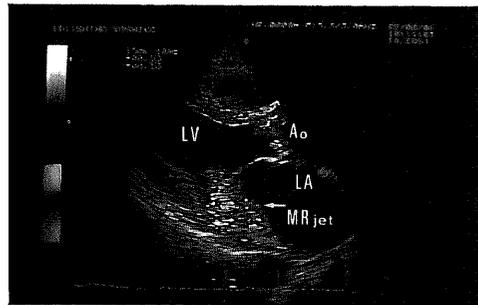


Fig. 8b. Mitral regurgitation by parasternal long axis view of CDE. As blue or mosaic of blue and yellow signal, MR jet is recorded spreading from the mitral orifice into the left atrial cavity. Abbreviations: LA, left atrium; MR jet, mitral regurgitant jet; Others as previous figures.

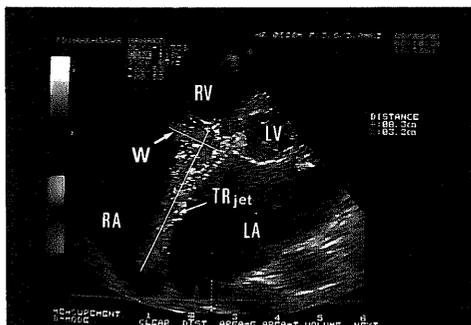


Fig. 1c. In the same view and figure as Fig. 1b, maximal width (W) at right angle to the long axis of regurgitant jet is measured. Abbreviations: TR jet, tricuspid regurgitant jet.

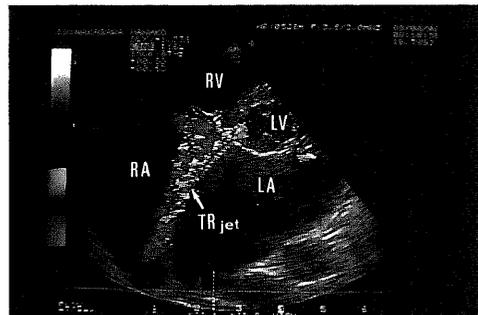


Fig. 8c. Tricuspid regurgitation through apical four chamber view. TR jet is shown as blue systolic jet. In this case, TR jet is directed along the intraatrial septum due to enlarged left atrium. Abbreviations: TR jet, tricuspid regurgitant jet; Others as previous figures.

た. MVR と MVP 間には有意な逆流量の差は認めなかった. また手術群と非手術群との間には統計学上の有意差は認めなかった.

考 察

弁逆流を定量化, 半定量化する研究は, 過去さまざまに行われてきた. 代表的な半定量化法は Sellers 法¹⁾であり, 現在もその黄金律的地位は不動である. 一方定量化を目的とした方法には, Kopelman and Lee が1951年に初めて報告した方法²⁾や, 1955年の Korner-Shillingford 法³⁾などの色素希釈法, また核医学的方法を用いたもの⁴⁾やカテーテル型電磁流速プローブを用いたもの⁵⁾などがある. Sandler ら⁶⁾は, 二方向の心血管造影と色素希釈法を組み合わせる MR, AR の逆流量の定量を試み, AR で平均 53.5ml, MR で 67.4ml と報告した. しかしながら, これらはいずれも侵襲的であるか, あるいは検査が煩雑であるかの欠点をもっていた. ところが, 心エコーの発達, とくにドップラー心エコーの発達により, これを用いた心臓弁膜症の重症度評価が, 種々試みられるようになった. さらに近年カラードップラーエコーが開発されて, 検査はより非侵襲的, かつその精密度を増してきた. 造影法と比較した弁逆流の検出感度は従来80~98%であったが^{8,9)}, 最近装置性能の向上により, ドップラー法の検出感度は造影法を越えたという¹⁰⁾. また, 造影法では右室造影のみならず左室造影においても, 検査手技上カテーテル自体によるアーチファクトの問題がつかまとう¹¹⁾. さらに新たな所見として, 装置の性能向上に伴い, 若年~青年期の健常者において, 右心系の三尖弁や肺動脈弁で6~7割に, 僧帽弁

では3~6割に逆流が検出されるようになってきた^{12,13)}.

カラードップラーエコー法は, 超音波断面全面におけるパルス・ドップラー血流計測値をカラー表示する方法であり, 本邦において開発, 実用化された. 一般には血流方向, 平均周波数および分散の情報を, 赤, 青, 緑色の3原色を用いて断面心エコー図上に表示する. 通常, 血流方向はトランスデューサーへ近づく血流は赤色系, また遠ざかる血流は青色系で表示され, 流速はおおのこの色の輝度変化で示され, 血流の分散は緑色を加えて表示される¹⁴⁾.

以下に AR, MR, TR での特徴的な CDE 法の所見を述べる¹⁵⁻¹⁷⁾. AR では, 胸骨傍長軸または心尖部長軸断面にて, 逆流血流シグナルが大動脈弁口から左室内へ噴出する様子がりアルタイムで描出される. この逆流シグナルはモザイクパターンが中心である (図 8a). 図は心尖部アプローチでとらえた AR の逆流ジェットであり, 左房よりの拡張期流入血流と逆流ジェットは, 左室内で容易に区別される.

MR では, 胸骨傍断面で僧帽弁口より左房へ向かう青色系主体の逆流血流が描出される. 僧帽弁口付近では逆流血流が速く, 乱流を伴うため, 赤色黄色を交えたモザイクパターンを呈する. 図 8b は胸骨傍長軸断面でとらえた MR の逆流ジェットであり, 僧帽弁口から左室内へ向かう青色主体で一部モザイクのジェットが認められる.

TR では, 胸骨傍四腔断面にて三尖弁口から右房内へ噴出する青色系の三尖弁逆流シグナルが観察される (図 8c). この症例は巨大な左房を有したため, ジェットは心房中隔に沿って認められる.

従来までのドップラー心エコーや, CDE 法による弁逆流の重症度評価は, AR では収縮期左室駆出血流速度が簡便法として用いられ, 左室内における大動脈弁逆流シグナルの最大到達距離を三段階, あるいは四段階に分類することで評価してきた¹⁸⁻²⁰⁾. また左室長軸断面上でのフローマッピングの他に左室短軸断面を用いた重症度分類がある²¹⁾. 胸骨上窩アプローチによる上行大動脈および大動脈弓での血流速波形の解析に基づく逆流の重症度評価も行われている^{22,23)}. ドップラー法により AR の逆流率を求める方法があり²⁴⁾, これは Sellers 重症度分類との間によい相関を示し, 心臓カテーテル検査で求めた逆流率とよい一致を示すという. 連続波ドップラー法を用いた大動脈逆流ジェットの血流速波形から, 特に減速スロープの解析に基づく重症度分類も行われている²⁵⁾.

MR の重症度評価としては, 逆流率の算出, 逆流弁

Table 2. Operation and Regurgitant Volume

Case	Operation	Case	Reg. Volume (ml)
AR	AVR	8	26.18±28.07
MR	MVR	3	32.00±18.17
	MVP	3	35.17±46.36
	Total	6	33.58±31.54
TR	TAP	5	9.02±1.11

There is no significant predominance between MVR and MVP, and between operating group and non-operating group. Abbreviations: AVR, aortic valve replacement; MVP, mitral valve plasty; MVR, mitral valve replacement; TAP, tricuspid anuloplasty; Others as in previous table.

口面積の推定などが試みられているが、現在は CDE 法による逆流シグナルの左房内での分布状態から半定量的に行うのが一般的である。すなわち左房内での逆流シグナルの分布範囲面積から評価する方法²⁰⁾と、僧帽弁尖接合部からの最大到達距離から評価する方法がある²¹⁾。両方法ともに左室造影法による Sellers 分類とよく相関する。ただし、その重症度の判定基準には左房の大きさを考慮していないため、巨大左房例では過小評価する危険性がある。Mohr-Kahaly ら²⁰⁾は、逆流ジェットの到達距離、最大ジェット面積、ジェット面積/左房面積比、および最大ジェット面積に逆流時間と心拍の比を乗じた 4 種類のパラメーターを設定し、それぞれ心血管造影での逆流度と比較し良好な相関関係を得たと報告した。

TR においても、その重症度評価は CDE 法による収縮期の右房内逆流シグナルの分布より半定量的に評価することが一般的である。すなわち、逆流シグナルの最大到達距離や、最大縦断面積による重症度分類であり、これらは右室造影法による Sellers 分類と良好な一致をみるという²⁰⁾。小沢、杉本ら²⁰⁾は CDE 法で三尖弁逆流弁口面積を求め、この位置での連続波ドップラー波形を放物線として積分し、TR の流体を楕円錐体と仮定することで三尖弁逆流量を求める方法を考案した。

今回の方法は、逆流量を正円の断面を持った回転楕円体の質量体とみなしたために、逆流弁口面積を測定する必要がなく、また時間の要素を無視した点で特徴的である。弁逆流量は血行動態的には、逆流弁口面積と圧格差すなわち逆流速度、および逆流持続時間によって規定されるが、これら 3 要素はすべて経時的に変化し逆流量は常に一定の値をとるものではない²¹⁾。

心エコーにおいても逆流弁口面積を求めることは非常に難しい。逆流弁口面積がリアルタイムに変化するため、逆流量の少ない例では弁口面積も小さく計測上誤差がやすい。

逆流速度の計測上問題となるのは、逆流ジェットとトランスドューサーとのなす角度が大きいほど誤差が生じる点である。また、心房細動が存在する時は逆流持続時間は一定の値をとらず、これを要素とする逆流量の計測方法では問題となろう。

本研究の逆流量の評価をするにあたって、CDE 法の信頼性を同時に検討すると共に血管造影、特に Sellers 分類を比較検討の基礎とした。すなわち、CDE 法で求めた逆流度をその到達程度によって I ~ III に分類し、Sellers 法の I, II, III+IV と比較することで統計上有意味な相関関係を得た。さらに、本研究で求めた逆流量を CDE 法の分類に基づいて 3 群 (G-1, 2, 3) に分類した。TR では各間に統計上有意味な差を認められた。MR では G-1 と G-2 の間に有意差が得られた。AR では G-2 と G-3 の間にわずかながら有意差が得られた。右心系の逆流の TR と、左心系の逆流の MR, AR で成績に隔たりがみられた。低圧系の右心系に対して高圧系の左心系では逆流速度が速くなり、速度と時間を無視するこの方法では、誤差が大きくなることは当初より予想していた。

重症のうっ血性心不全の AR, MR では重症度と弁逆流が必ずしも一致しないと思われる。すなわち、このときは心拍出量 (cardiac output, CO) 自体が減少し、逆流量も平行的に減少すると考えられる。例えば、AR のときは左心室収縮の減弱のために心拍出量は減少し、同時に左心室のコンプライアンスの低下とともに拡張終期圧 (end-diastolic pressure, EDP) が

Table 3. Regurgitant volume and cardiac function.

Case	Diag.	R.G.	R.V. (ml)	LV (sys/dias)	Ao (sys/dias)	CO/CI
1	AR	3	11.8	125/ 5	106/63	2.73/1.94
2	AR	3	13.2	114/ 8	120/48	3.48/2.12
3	AR	3	9.8	132/12	136/52	3.28/2.84
4	AR ¹⁾	3	93.4	149/ 2	147/40	6.30/3.62
5	MR	2	3.8	123/ 6	112/73	3.96/2.14
6	MR	2	20.0	91/ 5	117/71	4.30/2.68
7	MR	3	23.1	112/12	108/66	3.42/2.38
8	MR ²⁾	3	88.7	98/14	98/72	2.12/1.78

¹⁾, AR with valve prolapse. ²⁾, mitral prolapse

Abbreviations: R.G., regurgitant grade, R.V., regurgitant volume, LV (sys/dias), left ventricular pressure (systolic/diastolic). Ao. aortic pressure, CO/CI, cardiac output/cardiac index.

10~20mmHg と上昇する。AR は大動脈の拡張期圧と左心室の EDP の圧格差により逆流するのであるから、このとき逆流量も減少すると考えられる。心機能の面からは、左心室の収縮機能が良好で、EDP が 0mmHg となるような場合に逆流は最大となろう。本研究ではこの件に関して十分な検討を加えなかったが、表 3 に心機能検査を施行した AR と MR の一部を示した。AR では CO がよく、拡張期圧が低いほど逆流度は同じでも逆流量が多い傾向が見られる。MR では左室収縮期圧が高く、かつ心機能の良好な例で逆流量が多いと考えられるが、MR の逆流量が増すと、CO も減少し簡単に判断を下せない。なお弁逸脱をとまう AR, MR では急性期では心機能も良好なために、逆流度の高いとき大きな逆流量をとりやすいと思われる。

一方、手術対象となった症例の逆流量は、TR で平均 9.02ml, MR で 33.58ml, AR で 26.18ml となった。非手術群と統計学的な有意差までは得られなかったが、今後の手術適応の参考となる値が得られたとおもわれる。一般に手術対象となるのは AR, MR では Sellers 分類の III 度以上である。すなわち今回の CDE 法の分類の III 度 (G-3) となり、それらは今回 TR で平均 10.45ml, MR で 31.40ml, AR で 31.85ml であり、それぞれよく一致した。TR は逆流量 10ml 以上²⁰⁾, MR, AR はおよそ 50ml 以上²⁰⁾を手術対象とする報告もみられ、TR では報告とほぼ一致した値が得られた。MR, AR でも報告に近い値が得られたと思われる。

今回の研究より、手術適応の逆流量として TR: 10ml, MR: 30ml, AR: 30ml の各値が適切なるように思われる。

以上より、今回の CDE 法を用いた弁逆流量の簡易定量法は、逆流性弁疾患の重症度評価に有効であるばかりでなく、手術適応の参考となる弁逆流量も得られ、すぐれた検査方法であると考えられる。CDE 法が外来レベルで簡便に施行可能な検査法であることを考えると、今後利用価値の高い検査法であると思われる。

結 論

心臓弁膜症、特に閉鎖不全症での弁逆流量を定量化する目的で、カラドップラーエコーを用いた簡易定量化の臨床的研究を行った。対象は TR 45 例, MR 22 例, AR 15 例で簡易定量法として以下の方法をとった。CDE 法で最大逆流ジェットの得られるアプローチにてこれの最大逆流縦断面積 (S)、および逆流

ジェットの長軸に直交する最大幅 (W) を求めた。逆流量を質量体と考え、正円の断面をもった回転楕円体と仮定すると、逆流量 (V) は、 $V=2/3 \times S \times W$ にて求め得る。同時に逆流到達度を Sellers 分類と比較することと、逆流速度から求めた右室収縮期圧を心カテーテル検査のそれと比較検討することで、CDE 法の信頼性を得た。

1. 逆流度を、心房、あるいは心室内逆流到達度から I~III 度までに分類し、さらにこれに基づいて逆流量を G-1, 2, 3 の 3 群に分類した。

2. TR では各群間にすべて有意差が認められた。

3. MR では G-1 と G-2 の間に有意差が認められたが、G-2 と G-3 の間には認めなかった。

4. AR では G-1 はなく、G-2 と G-3 の間に有意差が認められた。

5. 手術対象となった各弁疾患の逆流量は TR が平均 9.02ml, MR が 33.58ml, AR が 26.18ml であった。これらは G-3 の逆流量、すなわち TR: 10.45ml, MR: 31.40ml, AR: 31.85ml とよく一致した。

6. 以上より、手術適応の簡明な逆流量値として、TR: 10ml, MR: 30ml, AR: 30ml が、適切かつ有用と思われる。

謝 辞

稿を終るにあたり、終始御指導と御校閲を賜りました恩師岩喬教授に深く感謝致します。また研究に御協力いただいた、二俣秀夫先生をはじめとする金沢大学医学部附属病院中央検査部のかたがた、さらには、金沢大学第 1 外科の諸先生方に心より感謝致します。

文 献

- 1) Sellers, R. D., Levy, M. J., Amplatz, K. & Lillehei, W.: Left retrograde cardioangiography in acquired cardiac disease. *Am. J. Cardiol.*, **14**, 437-474 (1964).
- 2) Kopelman, H. & Lee, D. J.: The intrathoracic blood volume in mitral stenosis and left ventricular failure. *Clin. Sci.*, **10**, 283-292 (1951).
- 3) Korner, P. I. & Shillingford, J. P.: Quantitative estimation of valvular incompetence by dye dilution curves. *Clin. Sci.*, **14**, 553-573 (1955).
- 4) 小西 裕, 龍田憲和, 石原 浩, 村口和彦, 南一明, 村田捷彦, 西脇 登, 日笠頼則, 玉木長良, 石井 靖, 鳥塚莞爾: アイソトープによる三尖弁逆流の定量. *心臓*, **14**, 301-307 (1982).
- 5) 市川毅彦, 山室匡史, 牧野克俊, 二神康夫, 小西

- 得司, 中野 起, 竹沢英郎, 前田寿登: 位相解析を用いた平衡時ゲート心プールシンチ法による大動脈弁逆流の定量的評価. *J. Cardiol.*, **15**, 1129-1136 (1985).
- 6) 山田 修, 越後茂之, 新垣義夫, 谷本 猛, 神谷哲朗, 内藤泰顕, 小塚隆弘: カテーテル型電磁流速プローブによる肺動脈弁定量化の試み. *J. Cardiol.*, **13**, 597-604 (1983).
- 7) Sandler, H., Dodge, H., Hay, R., Rackley, C. & Wash, S.: Quantification of insufficiency in man by angiocardiology. *Am. Heart J.*, **65**, 501-513 (1963).
- 8) Ward, J. M., Baker, D. W., Rubenstein, S. A. & Johnson, S. L.: Detection of aortic insufficiency by pulse doppler echocardiography. *J. Clin. Ultrasound*, **5**, 5-10 (1977).
- 9) Quinones, M. A., Young, J. B., Waffoner, A. D., Ostojic, M. C., Rebeiro, L. G. T. & Miller, R. R.: Assessment of pulsed doppler echocardiography in detection and quantification of aortic and mitral regurgitation. *Br. Heart J.*, **44**, 612-620 (1980).
- 10) Helmcke, F., Nanda, N. C., Hsiung, M. C., Soto, B., Adey, C. K., Goyal, R. G. & Gatewood, R. P.: Color doppler assessment of mitral regurgitation with orthogonal planes. *Circulation*, **75**, 175-183 (1987).
- 11) 廣 潤子, 松崎益徳, 小野史朗, 阿部義人, 廣高史, 末次正治, 村田和也, 道重博行, 中村佳寿子, 村田泰雄, 楠川禮造: 心臓カテーテル検査に伴う大動脈弁逆流の合併. *Jpn. J. Med. Ultrasonics*, **15**, 117-121 (1988).
- 12) Takao, S., Miyatake, K., Izumi, S., Kinoshita, N., Sakakibara, H. & Nimura, Y.: Physiological pulmonary regurgitation detected by the doppler technique and its defferatial diagnosis. *J. Am. Coll. Cardiol.*, **5**, 499 (1985).
- 13) 吉田 清, 吉川純一, 赤土正洋, 赤坂隆史, 八木登志員, 前西文秋, 奥町富久丸, 白鳥健一, 小泉克巳, 高尾精一, 加藤 洋, 深谷 隆: 若年健常者における正常弁逆流の頻度: 超音波ドブラ法による検討. *日超医講演論文集*, **49**, 171 (1986).
- 14) 小塚隆弘: 超音波ドブラ法による心臓画像診断. *心臓の画像診断 (小塚隆弘編)*, 第1版, 239-275頁, 丸善株式会社, 東京, 1988.
- 15) Switzer, D. F. & Nanda, N. C.: Color doppler evaluation of valvular regurgitation. *Echocardiography*, **2**, 533-543 (1985).
- 16) Miyatake, K., Izumi, S., Okamoto, M., Kinoshita, N., Asonuma, H., Nakagawa, H., Yamamoto, K., Takamiya, M., Sakakibara, H. & Nimura, Y.: Semiquantitative grading of severity of mitral regurgitation by real time two-dimensional doppler flow imaging technique. *J. Am. Coll. Cardiol.*, **7**, 82-88 (1986).
- 17) Switzer, D. F. & Nanda, N. C.: Doppler color flow mapping. *Ultrasound in Med. & Biol.*, **11**, 403-416 (1985).
- 18) Ciobano, M., Abbasi, A. S., Allen, M., Hermer, A. & Spellberg, R.: Pulsed doppler echocardiography in the diagnosis and estimation of severity of aortic insufficiency. *Am. J. Cardiol.*, **49**, 339-343 (1982).
- 19) Richards, K. L., Cannon, S. R., Crawford, M. H. & Sorensen, S. G.: Noninvasive diagnosis of aortic and mitral valve disease with pulse-doppler spectral analysis. *Am. J. Cardiol.*, **51**, 1122-1127 (1983).
- 20) Kitabatake, A., Masuyama, T., Asano, M., Tanouchi, J., Morita, T., Ito, H., Hori, M., Inoue, M., Abe, H., Chihara, K. & Sakurai, Y.: Color Visualization of two-dimensional distribution of intracardiac flow abnormalities by multigate doppler technique. In M. P. Spencer (eds), *Cardiac Doppler Diabnosis*, 1st ed. p309-318, Martinus Nijhoff, Boston, 1983.
- 21) Bommer, W. J., Mapes, R. & Miller, L.: Quantitation of aortic regurgitation with two-dimensional doppler echocardiography. *Am. J. Cardiol.*, **47**, 412-413 (1981).
- 22) Hatteland, K., Semb, B. K. H.: Assessment of aortic regurgitation by means of pulsed doppler ultrasound. *Ultrasound in Med. Biol.*, **8**, 1-5 (1982).
- 23) Diebold, B., Peronneau, P., Blanchard, D., Colonna, G., Guermonprez, J. L., Forman, J., Sellier, P. & Maurice, P.: Non-invasive quantification of aortic regurgitation by doppler echocardiography. *Br. Heart J.*, **49**, 167-173 (1983).
- 24) Nakayama, N., Yoshimura, S., Hara, M., Teruya, H., Nakatsuka, T. & Furuhashi, H.: Non-invasive quantitative evaluation of aortic regurgitation using an ultrasonic pulsed doppler

flowmeter. *Jpn. Circ. J.*, **47**, 641-648 (1983).

25) Teague, S. M., Sublett, K. L., Anderson, J., Olsen, E. G. & Thadani, U.: Doppler half-time index correlates with the severity of aortic regurgitation. *Circulation*, **70**, II-394 (1984).

26) Veyrat, C., Aneur, A., Bas, S., Lessana, A., Abitbol, G. & Kalmanson, D.: Pulsed doppler echocardiographic indices for assessing mitral regurgitation. *Br. Heart J.*, **51**, 130-138 (1984).

27) Abbasi, A. S., Allen, M. W., DeCristofaro, D. & Ungar, I.: Detection and estimation of the degree of mitral regurgitation by range-gated pulsed doppler echocardiography. *Circulation*, **61**, 143-147 (1980).

28) Mohr-Kahaly, S., Erbel, R., Zenker, G., Drexler, M., Wittlich, N., Schaudig, M., Bohlander, M., Esser, M. & Meyer, J.: Semiquantitative grading of mitral regurgitation by color-coded doppler echocardiography. *Int. J. Cardiol.*, **23**, 223-230 (1989).

29) Miyatake, K., Okamoto, M., Kinoshita, N.,

Ohta, M., Kozuka, T., Sakakibara, H. & Nimura, Y.: Evaluation of tricuspid regurgitation by pulsed doppler and two-dimensional echocardiography. *Circulation*, **66**, 777-784 (1982).

30) 杉本貴樹, 小沢修一, 太田稔明, 神田裕史, 佐藤洋, 西脇正美, 岡田昌義, 中村和夫: 三尖弁逆流の定量的測定と外科治療法の選択. *日胸外会誌*, **36**, 1544 (1988).

31) Yoran, C., Yellin, E. L., Becker, R. M., Gabbay, S., Frater, R. W. M. & Sonnenblick, E. H.: Dynamic aspects of acute mitral regurgitation: Effects of ventricular volume, pressure and contractility on the effective regurgitant orifice area. *Circulation*, **60**, 170-176 (1979).

32) 野崎士郎, 森田久樹, 水重克文, 和田茂, 中島茂, 深田英利, 平林浩一, 橋村一彦, 舛形尚, 松本康彦, 大森浩二, 千田彰一, 松尾裕英: 僧帽弁逆流のドプラー断層心エコーによる評価とパルスドプラー法による定量的計測の対比検討. *日超医講演論文集*, **50**, 489 (1987).

Clinical Study of Quantification of Valvular Regurgitation by Color Doppler Echocardiography (CDE) Shingo Yagi, Department of Surgery (I), School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa 920—J. *Juzen Med. Soc.*, **99**, 360—371 (1990)

Key words color doppler echocardiography, valvular regurgitation, quantification, geometric method

Abstract

The purpose of this study was to estimate the severity of cardiac valvular diseases, especially valvular regurgitations, and to determine the indications for operation by means of quantifying regurgitant volume. Forty-five tricuspid valve regurgitations (TRs), 22 mitral valve regurgitations (MRs), and 15 aortic valve regurgitations (ARs) were examined by color doppler echocardiography (CDE). At the site of the maximal regurgitant jet shown by CDE, the maximal longitudinal sectional area (S) of the jet and the maximal width (W) at a right angle to the long axis of jet were measured. It was assumed that the regurgitant volume was a mass, elliptical revolved mass with circle, and so the regurgitant volume (V) could be calculated by the formula as $V=2/3 \times S \times W$. MR and AR were classified into grades I, II, and III by assessing the regurgitant distance by CDE and were compared with grades I, II, and III + IV of Sellers' classification, with significant correlations found between CDE and Sellers' method. The right ventricular systolic pressure, calculated by peak velocity with a modified Bernoulli equation, in TR, was compared with that obtained by cardiac catheterization, and showed a significant

correlation. Accordingly, the accuracy of this method and technique were confirmed. Regurgitant volume was classified by CDE grading as G-1, 2 and 3. TR showed a significant difference between G-1 and G-2 ($p < 0.01$), and between G-2 and G-3 ($p < 0.05$). MR showed a significant difference between G-1 and G-2 ($p < 0.05$). AR showed a significant difference between G-2 and G-3 ($p < 0.10$). Regurgitant volumes in the surgical patients were 9.02ml, 33.58ml and 26.18ml in TR, MR and AR, respectively, and in all cases were well-correlated with the regurgitant volume of G-3, TR : 19.45ml, MR : 31.40ml, and AR : 31.85ml. In this study, there was no significant difference between the surgical and non-surgical groups. Regurgitant volumes of 10ml in TR, 30ml in MR, 30ml in AR were considered to be convenient and useful values in determining operative indications.