

超音波心断層造影法による  
心臓内異常血流の評価

Evaluation of intracardiac abnormal blood flow by means of contrast cardiography

田中 元直  
目黒泰一郎  
渡辺 恵  
仁田 桂子  
柏木 誠  
引地 久春  
武田 久尚  
仁田 新一\*  
田林 暁一\*  
堀内 藤吾\*

Motonao TANAKA  
Taiichiro MEGURO  
Satoru WATANABE  
Keiko NITTA  
Makoto KASHIWAGI  
Hisaharu HIKICHI  
Hisanao TAKEDA  
Shinichi NITTA\*  
Kōichi TABAYASHI\*  
Tōgo HORIUCHI\*

Summary

In order to visualize intracardiac blood flow and to confirm the informations concerning the blood flow obtained by ultrasonic Doppler method, the present study introduced a method of contrast cardiography. The clinical usefulness of this method was assessed in 15 patients with mitral valve disease, aortic valve disease, atrial septal defect, ventricular septal defect and tetralogy of Fallot and the significance was discussed.

Ultrasono-cardiography with a device for mechanical or electrical high speed scan (about 30 scanning frames/sec) was utilized. During ultrasono-cardiographic examination, 10 to 15 ml of solution (usually saline), which is different from blood in the acoustic impedance and is harmless to patients, was injected into the heart chambers through a catheter. A cloud of artificial echoes which was produced at the boundary between blood and injected solution flowed together with intracardiac blood stream.

The movement of the echoes thus produced was detected and displayed continuously on the tomo-gram. Thus the movement of the heart structures and blood flow could be observed simultaneously.

The regurgitant flow in valvular disease could be easily detected. The blood flow of mitral regurgitation from the valve orifice to the posterior wall of the left artium initially moved backward, and

東北大学抗酸菌病研究所  
仙台市星陵町 4-1 (〒980)  
\*東北大学胸部外科  
仙台市星陵町 1 (〒980)

The Research Institute for Chest Diseases and Cancer,  
Tohoku University, Seiryomachi 4-1, Sendai 980  
\*Department of Thoracic Surgery, Tohoku University  
School of Medicine, Seiryomachi 1, Sendai 980

Presented at the 16th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Tokyo, March 28, 1978  
Received for publication November 30, 1978

then followed by the forward direction during systole.

In aortic insufficiency, three kinds of regurgitant flow could be observed. The first was the flow along the ventricular septum, the second along the anterior leaflet of the mitral valve and the third through the mid of the outflow tract.

Right-to-left shunt flow in ASD was demonstrated at the early systolic and early diastolic phases. Also left-to-right shunt flow at the atrial level was demonstrated at the mid to late systolic phase. In tetralogy of Fallot the left-to-right shunt at the ventricular level occurred at the mid-systolic phase and the right-to-left shunt during isovolumic relaxation phase and rapid filling phase.

The present study using contrast cardiography demonstrated that

1) the direction, origin, timing of occurrence and magnitude of the abnormal blood flow, such as shunt flow or regurgitant flow, could be detected easily, and

2) the movement of the heart structures and pattern of the blood stream could be evaluated simultaneously.

The changes in flow patterns within cardiac chambers were difficult to be demonstrated by contrast cardiography. However, by contrast echocardiography (UCG), the flow pattern and velocity of intracardiac blood flow could be estimated based on the changes in inclination of echo pattern, if the actual direction of the ultrasonic beam in relation to blood flow could be evaluated. Thus it was found that combination of cardiography and UCG would be useful also in contrast technique.

#### Key words

Contrast cardiography  
blood flow      Shunt flow

Contrast echocardiography

Intracardiac blood flow

Regurgitant

## はじめに

心疾患の中には、心臓構造の異常とともに心臓内血流状況に変化を生ずるものが多い。したがって、臨床医学上、しばしば心臓構造変化と心内血流状況とを同時に観察することが必要となる。この目的に対し、これまで心血管造影法が唯一の方法であったが、得られる像が透過像であり、高圧で造影剤を注入することによる心機能への影響も無視できず、心内血流速度や血流状況の詳細な測定には必ずしも適当な方法とはいえない。

我々はその非観血的観察法としてすでに心断層法と M 系列変調ドプラ法との併用法を開発し、臨床的有用性を示してきた<sup>1,2)</sup>。しかし、このような場合、同一心拍の同一心時相で両者を対応させつつ、かつ、両者を同一の二次元断面上で観察することが必要になるが、ドプラ法でこのような観察を行うのは必ずしも容易ではない。その上、ドプラ法では真の血流方向を知るには種々の問題があるだけではなく、ドプラ法で得られた心内血流

に関する情報を裏づけるに足るデータを得る適当な方法がなかった。そこで、我々は 1976 年以来、biplane 断層法の開発とともに血液と音響インピーダンスを異にし、かつ生体に全く無害な物質を心臓内に注入し、流血中に人工的なエコーを生ぜしめる方法を心断層造影 (contrast cardiography) と名づけて心断層法への導入を計ってきた。本方法を異常血流を生ずる代表的な心疾患に適用し、その有用性を検討したところ、臨床的に極めて高い有用性をもつことを証明しえたので報告する。

## 方法および対象

装置は基礎実験はアロカで試作した高速機械走査方式による扇形走査装置を用い、3.5 MHz で行った。また、臨床例については、東芝総研で試作された電子セクター走査装置を用いた。

超音波周波数は 2.4 MHz である。両方法とも 30 画面/秒の速度で映像を描写し、16 ミリシネカメラを用いて 16 コマ/秒の速度で連続的に撮影し

た。対象は後天性心疾患として僧帽弁閉鎖不全症 5 例，大動脈弁閉鎖不全症 3 例，先天性心疾患として心房中隔欠損症 2 例，心室中隔欠損症 2 例，ファロー四徴症 3 例，計 15 例について検討した。

仰臥位の患者の第 III および第 IV 肋間の位置で，胸骨左縁あるいは傍胸骨縁に探触子をおき，左室長軸方向，水平方向および矢状方向の各断面を得る方向に走査面を設定して，断層図を描かせつつ，右心および左心カテテルを通して約 15°C の生理的食塩水（以下生食水と略）10~15 ml を用手的に 1~1.5 秒程度の速度で注入してその断面像を描かせた。

### 結 果

僧帽弁閉鎖不全を伴う症例の中から，特に逆流が多い例と少ない例を示したのが Fig. 1 である。いずれも左室長軸方向断層図で，逆流口を通る断面で示したものである。上段は逆流の少ない例であるが，収縮期の後半で僧帽弁後尖が心尖方向へ下降して接合不全が増強する時期に，左房後壁に

向って逆流を生じているのが認められる。下段は逆流の多い例であり，弁尖の萎縮によって生じた比較的広い接合不全の部位から，人工的に生成されたエコーが左房上方に大量に移動する様子が示されている。

Fig. 2 は中等度逆流例において，弁尖接合部を含むほぼ水平断面像を示したものであり，生食水注入前(上段)と注入後(下段)の断層図である。注入前の断層図上，白矢印の部分は収縮期の逆流口を示し，この部分から左房後壁へ向って生食水によるエコーが噴出する状況が示されている。また，収縮期後半には逆流が前方へと旋回するのがみられる。

一方，大動脈弁閉鎖不全ではその逆流が明瞭に示された。Fig. 3 a および 3 b に僧帽弁狭窄を伴う大動脈弁閉鎖不全の 2 例を示した。上段の例は中隔に沿って逆流が生じている例であり，下段の例は僧帽弁前尖に沿って逆流を生じている例である。いずれも拡張期の像で，左室長軸に沿う方向での断層図である。逆流は拡張の開始とともに

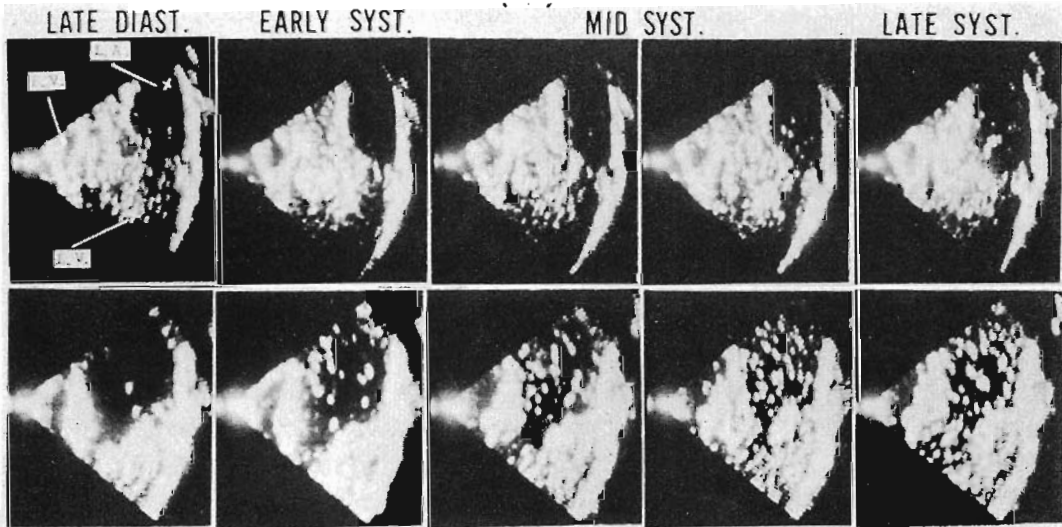
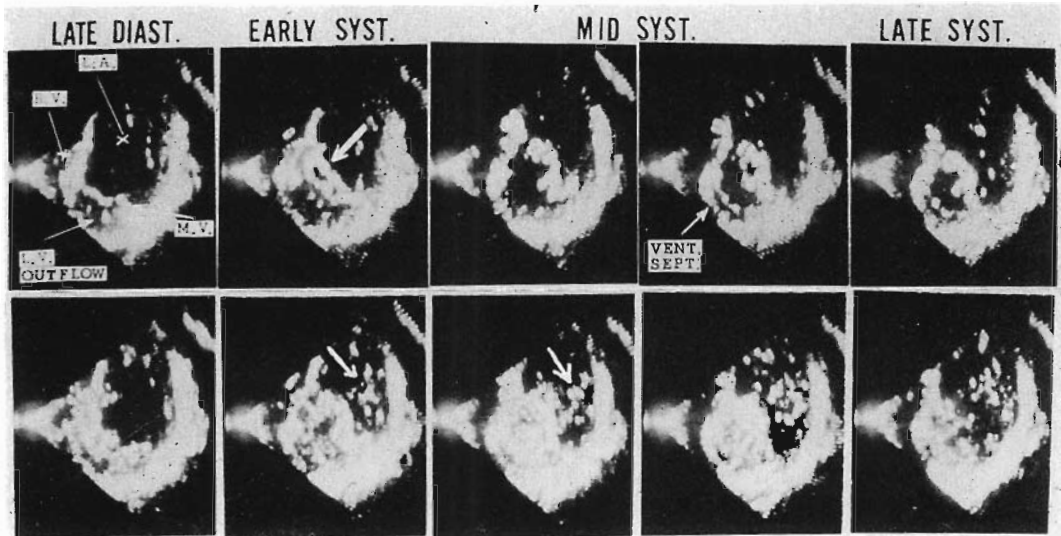


Fig. 1. Difference in quantity of echoes demonstrated in the left atrium in cases of mild and severe mitral regurgitation.

Top: mild case; a small quantity of dot echoes caused by regurgitation is found at latter phase of systole. Bottom: severe case; many dots of echoes are observed throughout systole.



**Fig. 2. The direction of regurgitant flow during systole in cases of mitral regurgitation.**

Usually the direction of regurgitant flow is backward as shown by white arrows. Top: mild case. Bottom: severe case.

等容拡張の時期に生じ始めている。僧帽弁狭窄の明らかな例では拡張期に前尖が流出路に張り出すことの影響も否定できないが、大動脈弁逆流には、前尖に沿うものと、中隔に沿って生ずるものとの両者が認められる。

先天性心疾患で右→左あるいは左→右短絡を生ずる疾患として、心房中隔欠損症、心室中隔欠損症およびファロー四徴症について検討した。Fig. 4 は心房中隔欠損症であり、Fig. 5 はファロー四徴症の例である。いずれも心房中隔部が良好に描出されるように、ほぼ水平に近い面で示した断層図である。Fig. 4 a の太い白矢印は心房中隔の二次口欠損部を示している。

Fig. 4 の上段は生食水を右房で注入したものであり、下段は左房で注入したものである。これらの図からわかるように、心房中隔欠損における左→右短絡は、主として収縮期後半に生ずるが、収縮の極初期 (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>) および拡張期初期から中期に若干の右→左短絡が生じ、心房中隔欠損では1心拍周期中に左→右および右→左の短絡が生ずることが示された。

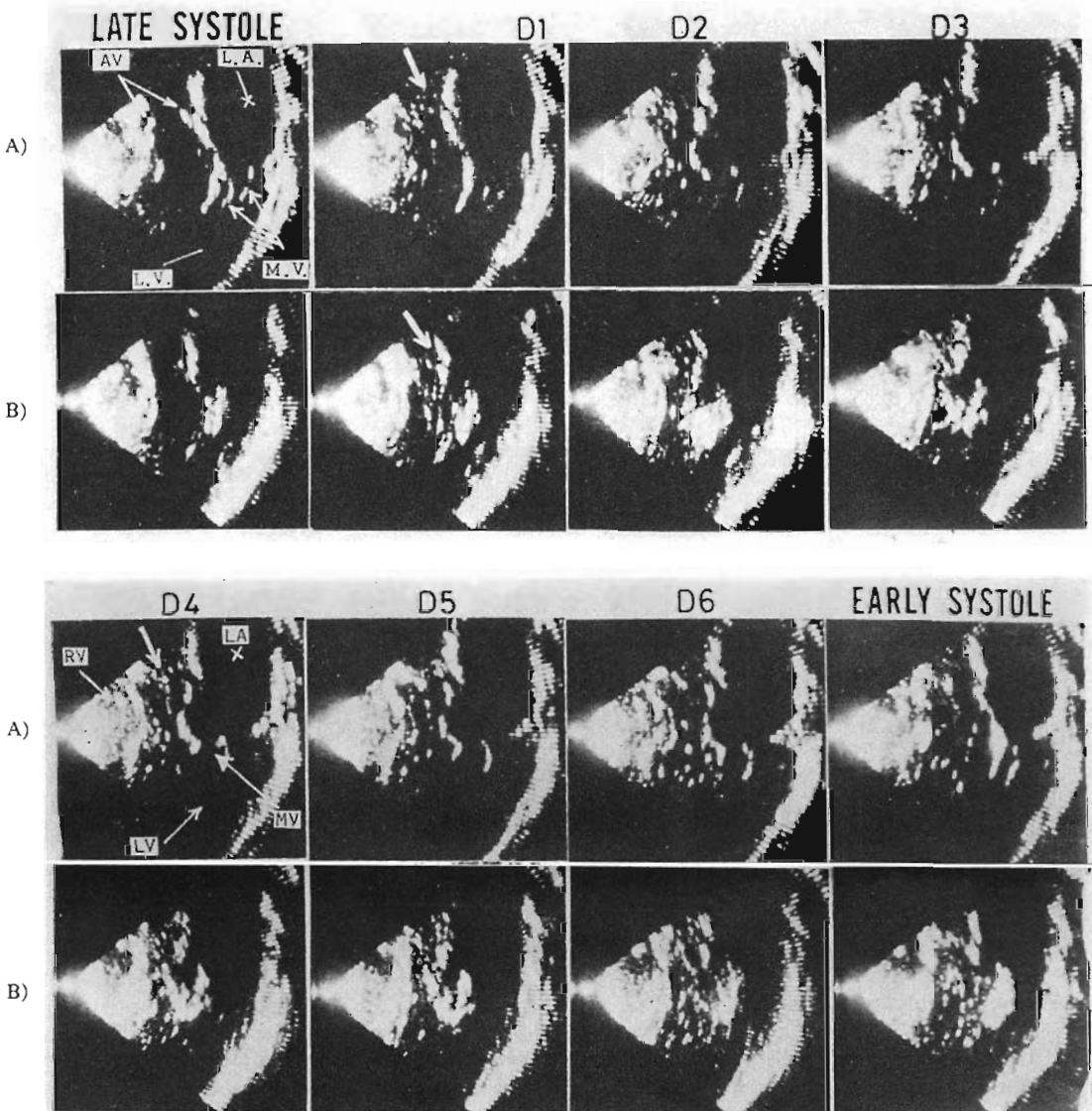
ファロー四徴症で、右房からコントラスト剤を注入すると、Fig. 5 のごとく、右→左短絡は主として収縮末期から拡張の初期にかけての等容拡張期から急速流入期の間に関起り、さらに心房収縮時に若干の右→左短絡が生ずる (late diast)。一方、左→右短絡は、この例では Fig. 5 の S<sub>1</sub> および S<sub>2</sub> にみられるように、収縮期の像の上で、右房注入によって、右房から右室へと流入するエコーが三尖弁直下で中断されて negative shadow として示され、収縮期初期から生じていることがわかる。

## 考 察

心疾患の中には心雑音を有する疾患、すなわち、心臓内血流状況に変化を生ずる疾患が多い。したがって、心臓内血流に関する情報は、血行動態に関する情報とともに、心疾患の診断と病態生理の解明上不可欠なものである。その非観血的獲得手段として、心断層法と併用できる変調方式ドプラ法、とくに M 系列変調ドプラ法を開発導入して、心内血流の測定を行ってきた。ところが、ドプラ

法で得られた血流に関する情報の信憑性を評価するにあたって、同一測定部位、あるいは同一断面上で心臓内血流速度や血流状況を評価しようとしても、このような目的に使用できる適当な媒体と方法とを見出すことは極めて難しかった。

そこで、我々は生体に無害で、かつ血液と音響インピーダンスの異なる物質を心臓内に注入して、人工的に心臓内でエコーを生成せしめ、心断層図上に断面の動きとともにエコーの流れを観察する方法について検討してきた。その結果、臨床的に



**Fig. 3. Regurgitant flow in two directions in a case of aortic insufficiency.**

Upper series show the flow along the ventricular septum (photographs A) and lower series the flow along the anterior mitral leaflet (photographs B).

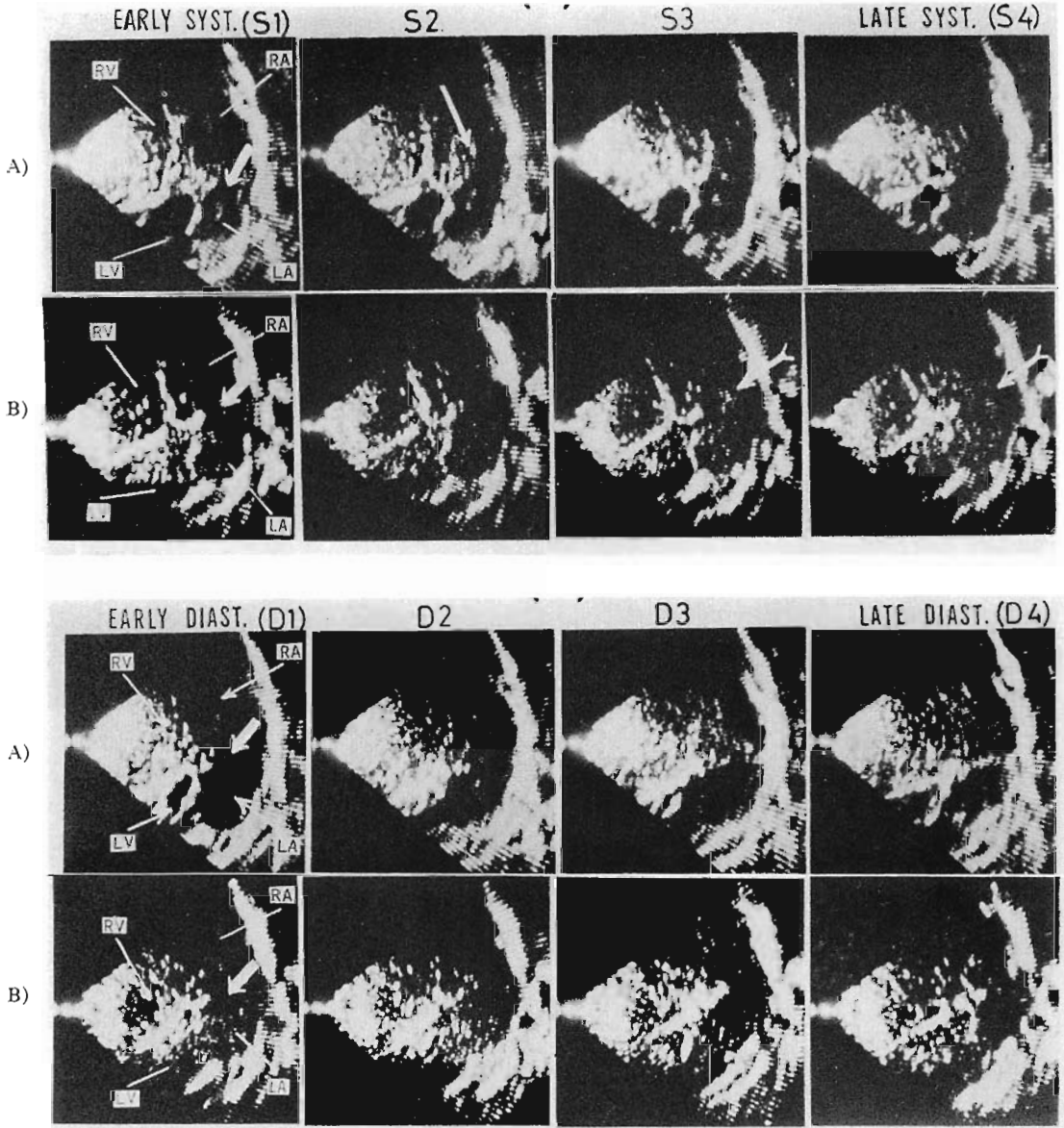


Fig. 4. Shunt flow in ASD.

Left-to-right shunt at the atrial level occurs in mid-systole (S3) and late systole (S4). Right-to-left shunt occurs in early systole and early diastole (between S1 and D2 of the photographs A).

The photographs A are taken when the contrast material injected into the vena cava and the photographs B when the contrast material injected into the left atrium. White arrows indicate the shunt flow and the site of defect at the atrial level.

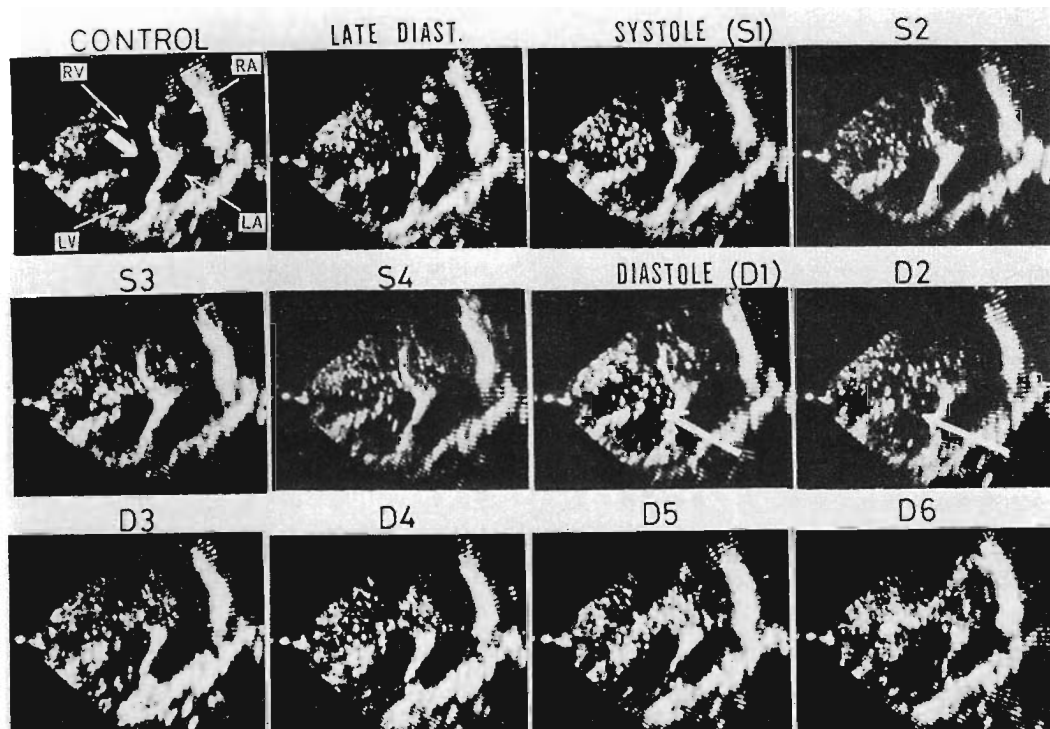


Fig. 5. Right-to-left shunt flow in tetralogy of Fallot.

The reversed shunt flow occurs between early (D1) and mid (D3) diastole, whereas left-to-right shunt is observed in early systole (S1). Thick white arrows indicate ventricular septal defect.

は極めて有用性の高い方法となりうる事が明らかとなった。

同様の方法については、すでに Gramiak ら<sup>3)</sup>が UCG において、エコー源となっている心臓構造物を判定する目的で、indocyanine green を注入する方法を用いており、contrast 法として大動脈弁閉鎖不全、および特発性肥厚性大動脈弁下狭窄の例に適用し、左室内異常血流の検出に有効であることを示している。この contrast 法は末梢静脈からの注入でも十分なエコーが得られるところから、小児科領域で用いられ、Kerber ら<sup>4)</sup>、Seward ら<sup>5,7)</sup>、Valdes-Cruz ら<sup>6,8)</sup>、Sahn ら<sup>9)</sup>により、右→左短絡の証明、弁閉鎖不全有無の評価など、主として異常流存在の有無の定性的評価の目的に利用されてきた。

UCG 法で contrast 法を行った場合、UCG は原理的に三次元の心臓構造を音波伝搬方向への一次元の情報としてのみしか捉えられず、欠損孔など解剖学的欠陥部を直接的に捉えることができないという制限がある。したがって、正常の血流状況下では現れ得ない部位に contrast echo が現れたときには、その流れの上流部に異常血流が存在することになるので、大きな診断的価値をもつようになるが、異常流の発生部位の判定は難しいことになる。

また、超音波ビームが contrast echo を含んだ血流を横切っていなければ、異常流が存在しても記録できないことが起こりうる。とくに UCG の精度を上げるため、細いビームを用いるほど把えにくくなる。この点は二次元表示法である断層造



影法でも, 超音波走査面が **contrast echo** を含む血流からはずれているときには同様であるが, UCG 法における **contrast** 法よりは **contrast echo** を捉えうる効率は高くなるといえる. しかし, UCG を用いた **contrast** 法では, 超音波ビームの入射角度, 紙送り速度, および超音波ビームの幅がわかっているならば, ドプラ法と同様にビーム方向への成分としてではあるが, 流れのおおよその価と, 流れの性状をある程度判定できるという大きな特徴をもっている.

UCG による **contrast** 法では, 理論的には注水量を比較的少量としたとき, **contrast echo** が右下りの曲線の集合で示されるならば, 流れは探触子から遠ざかる流れであり, 右上りの曲線の集合で示されるならば, 探触子に近づく流れを示し, 両者が混合されていれば, その程度によって渦巻流あるいは乱流であることが判定できる. また, **contrast echo** が曲線状に示されたとき, その傾斜が垂直に近ければ早い流れであり, 水平に近い曲線であれば遅い流れであることを示す. 同時に示された心臓構造物の運動速度を差し引くことによって, ビーム方向上のおおよその速度を知ることが可能であり, この情報は断層法で行う **contrast** 法では得難い血流状況に関する情報で, 大きな特徴といえる. しかし, 超音波ビームが太いと線状エコーの集合として得やすいが, ビームの入射角度によっては, 近づく流れと遠ざかる流れを同時に把えることになり, また細すぎるとエコーは点状となって連続せず, 流れの速度や性状の判断に誤りをきたしやすく問題を残している. 適切なビームの太さと入射角度の測定がなされるならば, 心拍出量などの流量の測定にも利用できる可能性がある.

断層法に **contrast** 法を導入した方法については, すでに三尖弁閉鎖不全<sup>10)</sup>あるいは僧帽弁閉鎖不全<sup>11,12)</sup>の診断を容易に行うことができ, また先天性心疾患でも動脈管開存の診断<sup>13)</sup>が可能であることが報告されている. 断層造影法では二次元面上で流れの状況を判断できるので, 弁膜症に本法

を適用した場合,

1) 逆流の発生部位を明確に知ることができ, 逆流口とその付近の構造異常との関連を知ることができる.

2) 逆流方向と弁の形状の変化との関連を知ることができる.

3) 逆流口の大きさ, 逆流の程度, および血流の状況がある程度量的に評価できる.

僧帽弁閉鎖不全では接合不全の軽い場合には, 左房後壁下部に向って逆流が生じ, 逆流量の多いほど左房上方へ向う傾向を示し, 逆流の少ない例でも収縮の経過とともにその方向が変化する状況が判断できる. また, 大動脈弁閉鎖不全症では, 逆流が心室中隔に沿って生ずる場合と, 僧帽弁前尖に沿って左室中央へ向うように生ずる場合とがあることが示された. 後者の場合には, とくに流入血流との衝突により, 弁細動を強く生ぜしめ, Austin Flint 雑音の発生を容易にするものと考えられた.

一方, 先天性心疾患では, 心房中隔欠損の例で示したごとく, 欠損口の大きさとともに, 欠損口を通過して生ずる短絡血流は, 主として欠損口の下縁に沿って生ずることが示された. また, 心房レベルでの短絡は収縮の極初期の時期と, 拡張の初期から中期にかけての時期とに右→左短絡が生じ, 収縮の中期から末期に左→右短絡が生じることが明らかにされた. 本例は著明な肺高血圧を伴ったものではないところから, 心房中隔欠損ではチアノーゼを生ずるほどの量ではないが, このような短絡血流が起こるものと考えられる.

コントラスト法による心房中隔欠損の短絡流の生じ方については, Seward ら<sup>5)</sup>は UCG による方法で, **contrast echo** の発生の仕方からその **pattern** を 3 形に分類し, 左右両室にほぼ同時に **contrast echo** が生ずるもの (type 1), 右室が造影されてから, 1 心拍あとの急速流入期に左室に現れてくるもの (type 2), 右室のみに現われて左室には現われてこないもの (type 3) があることを示している. Type 1 は肺高血圧を伴うように



なったものに多くみられ、type 3 は欠損口が小さいか、あるいは大きい欠損口で左→右短絡のみの場合であることを示している。

我々の検討結果では症例数が少ないので問題はあるが、しかし、二次口欠損では右房と左房との圧較差は心室収縮期の極く初期と拡張初期とに起こると考えられるので、欠損口近傍でみる限りにおいては、左→右短絡のみではなく、多かれ少なかれ、ここで示したように1心周期中に2度にわたって右→左短絡が生ずるものと考えられる。心室中隔レベルでの短絡をファロー四徴症でみると、短絡は欠損口全体から生じ、左→右短絡は収縮の初期から中期にかけて、また、右→左短絡は収縮の極末期ないし等容拡張の時期から拡張初期の急速流入期に生ずることが示されている。

このように、先天性心疾患に断層造影法を適用すると、

- 1) 短絡の有無の判断のみでなく、
- 2) 欠損口の大きさとの関連で、短絡の生ずる時期、
- 3) 短絡血流の状況と程度、
- 4) 短絡の方向、

をよく判断できると考えられた。

このように断層造影法では、X線造影法では得難い診断情報を心臓動態との関連で把握できる特徴がある。

しかし、断層造影法では異常流を生ずる部分を含む断層面が設定されることが不可欠であり、三次元的な流れの一断面であるにすぎない点は問題が残り、biplane による方法が必要になる。

また、超音波の伝搬速度から、断層法では1秒間に30画面の画像しか得られず、かつ各断面は時間的に不連続であるので、静止断面でみる限りにおいては流れの性状と速度とを知ることが難しい。この点はむしろ同時にUCG法によるcontrast法を行って判断するのが適当であると考えられる。心臓内血流の真の方向を知るには、二次元表示である断層造影法によらざるを得ない。したがって、contrast法においても臨床的に実用に

供するさいには、断層法とUCG法とを併用することが必要であると考えられた。

いずれにしても、本法で得られる情報は、X線法でも得難い血流に関する情報であるだけでなく、注入剤としては生理的食塩水を1回約10ml程度で十分であり、かつ、右心系疾患に対しては、末梢静脈からの注入でも十分効果が得られる。心カテーテルを通して注入したほうが場所の選択性はよく、より適確な情報が得られる。カテーテルの挿入という観血的手技を用いざるを得ない場合もあるが、その情報の価値は大きく、臨床的有用性は極めて大きいものと考えられた。

#### 文 献

- 1) 田中元直, 香坂茂美, 岡 捨巳, 奥島基良, 大槻茂雄, 寺沢良夫, 海野金次郎, 仁田桂子, 柏木 誠, 海老名敏明: 超音波心臓断層法とM系列変調超音波ドブラ法との併用法. 日超医 講演論文集 19: 41, 1971
- 2) 田中元直: 多チャンネル方式超音波ドプラ血流計による心臓内血流速度分布の測定. 電子医学 11: 248, 1977
- 3) Gramiak R, Shah PM, Kramer DH: Ultrasound cardiography: Contrast studies in anatomy and function. Radiology 92: 939-948, 1969
- 4) Kerber RE, Kioschos JM, Lauer RM: Use of an ultrasonic contrast method in the diagnosis of valvular regurgitation and intracardiac shunts. Amer J Cardiol 34: 722-729, 1974
- 5) Seward JB, Tajik AJ, Spangler JG, Ritter DG: Echocardiographic contrast studies: Initial experience. Mayo Clin Proc 50: 163-192, 1975
- 6) Valdes-Cruz LM, Pieroni DR, Rorand JMA, Varghese PJ: Echocardiographic detection of intracardiac right-to-left shunts following peripheral vein injection. Circulation 54: 558-652, 1976
- 7) Seward JB, Tajik AJ, Hagler DJ, Ritter DG: Contrast echocardiography in single or common ventricle. Circulation 55: 513, 1977
- 8) Valdes-Cruz LM, Pieroni DR, Rorand JMA, Shematek JP: Recognition of residual postoperative shunts by contrast echocardiographic techniques. Circulation 55: 148-152, 1977
- 9) Sahn DJ, Allen HD, George W, Mason M, Goldberg SJ: The utility of contrast echocardiographic techniques in the care of critically ill infants

田中, 目黒, 渡辺, ほか

- with cardiac and pulmonary disease. *Circulation* **56**: 959, 1977
- 10) Lieve W, Behar VS, Scallion R, Kisslo JA: Detection of tricuspid regurgitation with two dimensional echocardiography and peripheral vein injection. *Circulation* **57**: 128, 1978
- 11) 田中元直, 目黒泰一郎, 柏木 誠, 今野 淳, 仁田新一, 田林暎一, 堀田藤吾, 仁田桂子, 引地久春, 渡辺 恵, 武田久尚, 海老名敏明, 飯沼一浩, 城所剛: 心断層造影法による僧帽弁閉鎖不全における逆流血流の評価. *日超医講演論文集* **33**: 13, 1978
- 12) 田中元直, 目黒泰一郎, 今野 淳, 仁田新一, 田林暎一, 堀内藤吾, 柏木 誠, 渡辺 恵, 引地久春, 仁田桂子, 武田久尚, 海老名敏明, 萩原芳夫, 三木基弘, 飯沼一浩, 城所 剛: 心断層造影法とその臨床的意義. *超音波医学* **5**: 23, 1978
- 13) Sahn DJ, Sobol RG, Allen HD: A comprehensive noninvasive assessment of anatomy and function in patent ductus arteriosus. *Proc 6th Ann Meet AIUM*, 1977, p 82