

Contrast echoangiography による心内血流診断

Contrast echoangiography: Evaluation of intracardiac shunt, flow dynamics and valve regurgitation

吉岡 史夫
竹内 純孝
松永 伸二
横地 一興
田中 地平
小池 茂之
加藤 裕久

Fumio YOSHIOKA
Sumitaka TAKEUCHI
Shinji MATSUNAGA
Kazuoki YOKOCHI
Chihei TANAKA
Shigeyuki KOIKE
Hirohisa KATO

Summary

To evaluate the intracardiac shunt, flow dynamics and valve regurgitation contrast method using two-dimensional echocardiography was performed in 16 normal children and 34 with congenital heart disease. Contrast material (1~2 ml of indocyanine green dye and 3~4 ml of normal saline) was manually injected into the peripheral vein. 1) In congenital heart disease with atrio-ventricular (A-V) malalignment such as double inlet left ventricle, tricuspid atresia, single ventricle with common A-V valve, contrast echoangiograms by peripheral vein injection clearly demonstrated the characteristic intracardiac flow patterns which was of use to evaluate the anatomical and flow dynamical abnormalities. 2) In atrial septal defect (ASD) and endocardial cushion defect (ECD) with over 2.0 of Qp/Qs, an atrial L-R shunt was demonstrated by a negative contrast echo from LA to RA in early diastole. In ECD a negative contrast echo was shown in the lower portion of atrial septum just near the A-V valves. A small R-L shunt at the atrial level was demonstrated in all of ASD and ECD cases in end systole to early diastole which could not be detected by oxymetry. 3) In cases of tricuspid regurgitation, contrast echo persisted longer in the right atrium and right ventricle, and back and force movement of a contrast echo across the tricuspid valve was recognized by this method of peripheral vein injection. Contrast echoangiography (contrast study by two-dimensional echocardiography) can evaluate the intracardiac shunt, flow dynamics and valve regurgitation rapidly and be substituted for standard angiocardiography.

Key words

Contrast echoangiography

Intracardiac shunt

A-V malalignment

Valve regurgitation

久留米大学医学部 小児科
久留米市旭町 67 (〒830)

Department of Pediatrics, Kurume University School
of Medicine, Asahimachi 67, Kurume 830

Presented at the 17th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Sendai, October 20-21, 1978
Received for publication February 1, 1979

はじめに

Contrast echocardiography を用いて, 心腔内構造物の同定に利用する試みは, 1969年, Gramiak ら¹⁾により報告され, 1974年, Kerber ら²⁾は動物実験で contrast 効果は上流方向には現れず, また毛細血管(肺血管床)通過時に消滅することを示し, 心内短絡の診断に有用な方法であることを報告した. その後, Valdes-Cruz³⁾ や Seward ら⁴⁾により, 末梢静脈からの contrast echocardiography による心内短絡, 心内血流動態の評価に対する臨床上的有用性が報告され, 急速に一般化しつつある.

また, 2次元的に心構造をみようとする超音波心断層法⁵⁻¹¹⁾の発達により, 心内構造, 位置関係をより正確に把握できるようになってきた. この超音波心断層法に contrast 法を組み合わせ, 心内構造と血流の関係を評価しようとする試みは, Lieppe ら¹²⁾による三尖弁逆流に対する診断に用いた報告があるが, 心内構造異常の診断に用いた報告はみられない.

今回, contrast 法に超音波心断層法を組み合わせ, angiography 的な表示をすることにより以下のことについて検討した.

- 1) 心房-心室配列異常に対する血流診断.
- 2) 心内短絡に対する診断.
- 3) 弁逆流に対する診断.

我々は本法が従来の angiography に匹敵, もしくは代用できる方法であると考え, contrast echoangiography と呼んでいる.

対象および方法

対象は三尖弁閉鎖 5 例, double inlet left ventricle 3 例, Mustard 手術後の D-TGA 1 例, 心房中隔欠損 8 例, 心内膜床欠損 6 例, 三尖弁逆流を伴った Ebstein 奇型 4 例, ファロー四徴 4 例, 正常 16 例の計 50 例である. 年齢は生後 7 生日より 14 歳までである.

方法は末梢静脈(主として右手背静脈)に内径

23 ゲージ, 外径 19 ゲージのエラスター針で静脈確保し, 延長チューブおよび三方括栓を接続, 延長チューブ内に indocyanine green dye (以下 ICG) を 1~2 ml 注入し, 3~5 ml の生食で用手急速注入した(double syringe technique).

超音波心断層装置は東芝製 SSH-11A sonolayergraphy を用い, 記録は 8 ミリシネカメラ, 16 ミリシネカメラまたはビデオテープに連続記録した.

断層断面は 1) 大動脈, 心室中隔, 僧帽弁を含む左室長軸断面, 2) 両心室, 両心房, 両房室弁を含む水平断面, 3) 两大血管を含む水平断面, 4) 心尖部からのアプローチの 4 方向で記録した. 疾患別に, 4 方向それぞれの断面で検討した.

結 果

1. 心房-心室配列異常に対する血流診断

1) 三尖弁閉鎖 (Fig. 1)

Fig. 1 は両房室弁を含む水平断面像である.

(a) ICG 注入前の心断層図で, 閉鎖した三尖弁(ATRESIA), 拡大した右房(RA), 左房(LA), 左室(LV), そして心室中隔(IVS)の前方に小さな右室(RV)が記録されている. 右房と左房の間に心房中隔(IAS)が記録された.

(b) 末梢静脈より ICG を注入すると, まず右房に contrast echo の出現するのがわかる.

(c) 右房に出現した contrast echo は心房中隔(卵円孔)を通して左房に出現した.

(d) 左房に出現した contrast echo は僧帽弁を通して左室に出現し, 大きな心室中隔欠損を通して小さな右室に出現した.

以上のように, 末梢静脈より注入された ICG は, contrast echo として, 右房→左房→左室→右室の順に出現した.

2) Double inlet type の単心室 (Fig. 2)

Fig. 2 は両房室弁を含む水平断面像である.

(a) ICG 注入前の断層図で, 右房(RA), 左房(LA)の間に心房中隔(IAS)が記録され, 三尖弁(TV), 僧帽弁(MV)の両房室弁も別々に記録

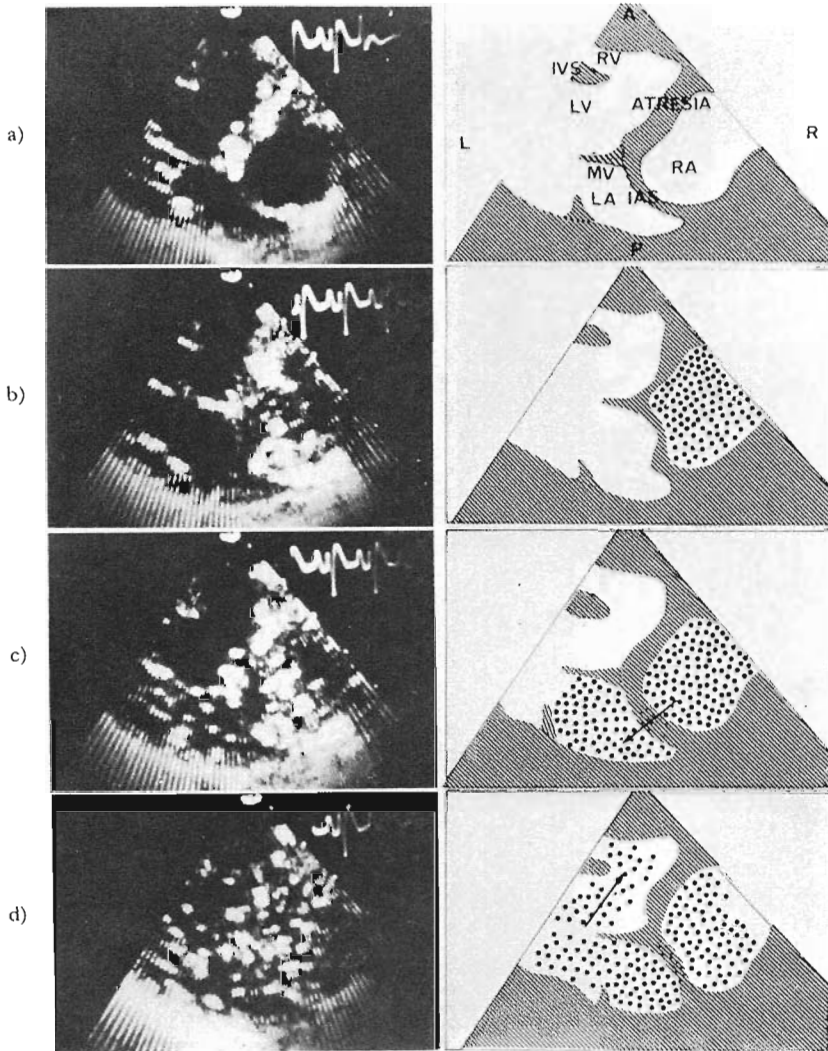


Fig. 1. Tricuspid atresia.

After peripheral vein injection of indocyanine green dye, contrast echo appears initially in the right atrium and then in the left atrium through interatrial septum. During ventricular diastole, contrast echo appears in the left ventricle through the mitral funnel and appears in the hypoplastic right ventricle through large VSD during ventricular systole.

ATRESIA=atresia of tricuspid valve, RA=right atrium, LA=left atrium, IAS=interatrial septum, MV=mitral valve, RV=right ventricle, LV=left ventricle, IVS=interventricular septum.

されるが、心室中隔は記録されず、単心室(SINGLE VENT)になっているのがわかる。

(b) 末梢静脈より ICG を注入すると、contrast echo はまず右房に出現している。

(c) 右房に出現した contrast echo は三尖弁を通過し、単心室内の三尖弁側に出現している。

(d) 三尖弁側に出現した contrast echo は単心室に充満し、右房、単心室全体に拡がるが、全

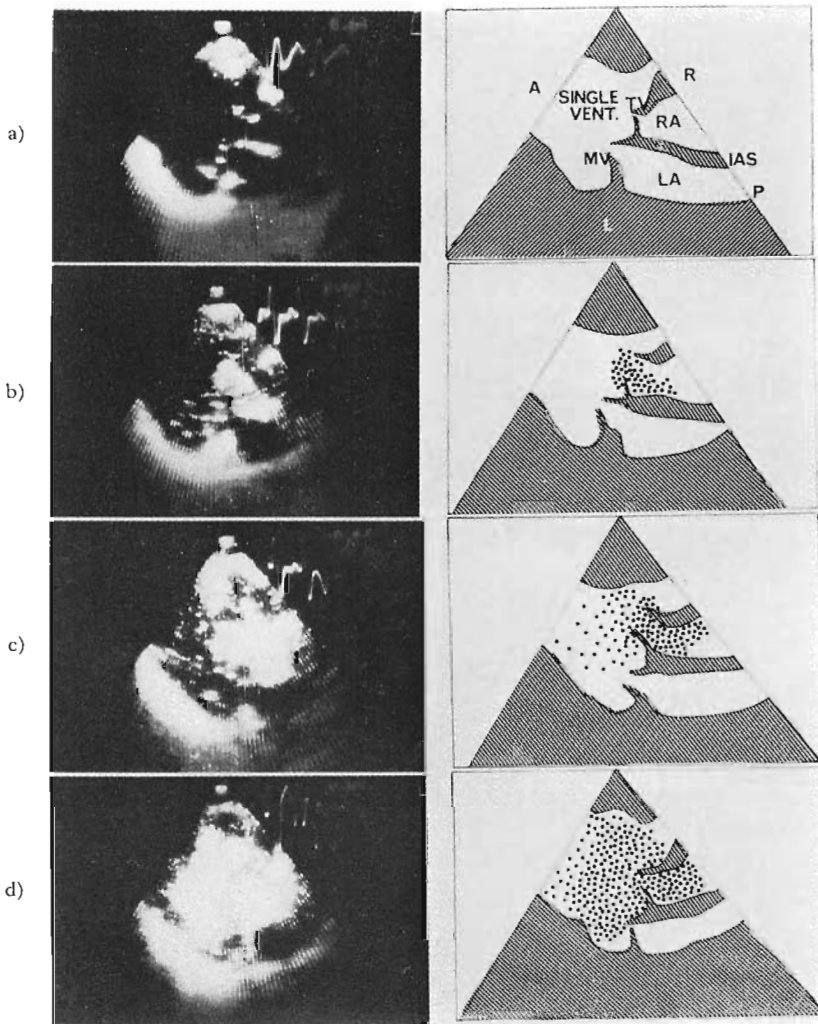


Fig. 2. Double inlet left ventricle.

After peripheral vein injection of indocyanine green dye, contrast echo appears initially in the right atrium and then flows in the single ventricle through the tricuspid funnel. Left atrium remains as an echo free space.

RA=right atrium, LA=left atrium, IAS=interatrial septum, SINGLE VENT=single ventricle.

経過を通じて左房には echo free space を残している。つまり、心房中隔は intact であり、心房での短絡はないことがわかる。

3) Common A-V valve の単心室 (Fig. 3)

Fig. 3 は両房室弁を含む水平断面像である。

(a) ICG 注入前の断層図で、単心室 (SINGLE

VENT), 共通房室弁 (common A-V valve), 単心房 (common atrium) が記録されている。

(b) 末梢静脈より ICG を注入すると, contrast echo は単心房内に出現した。

(c) ついで、共通房室弁を通して単心室内に出現した。

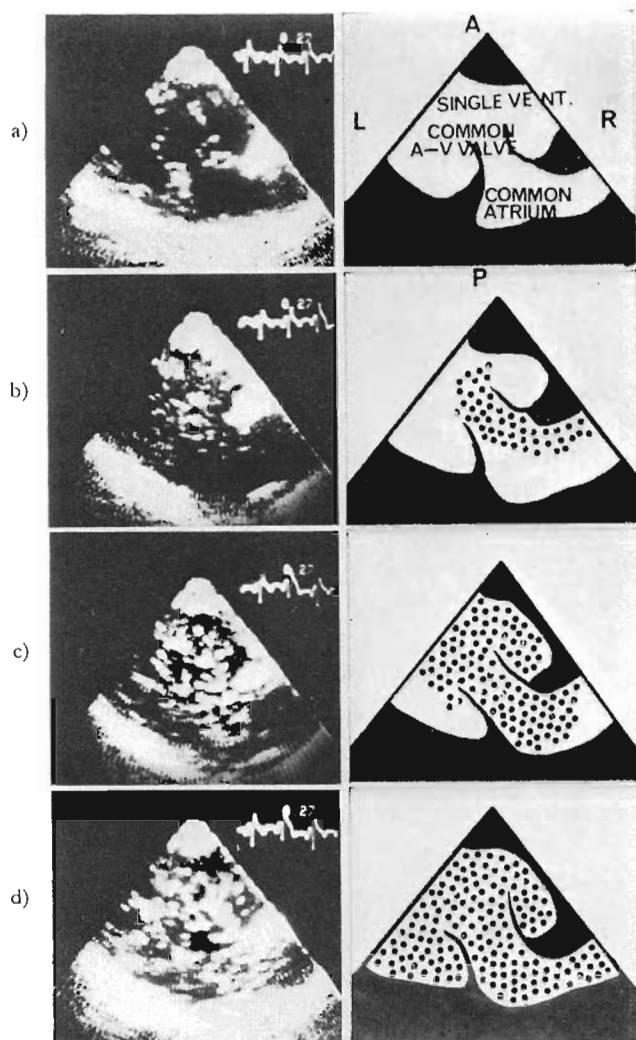


Fig. 3. Single ventricle with common A-V valve.

After peripheral vein injection of indocyanine green dye, contrast echo appears initially in the common atrium and then flows into the single ventricle through common A-V valve.

(d) Contrast echo は単心室内、単心房内に拡がっている。

4) Mustard 手術後の D-TGA 症例 (Fig. 4) Fig. 4 は両房室弁を含む水平断面像である。

(a) ICG 注入前の断層図で、心房中隔は認められず、baffle の強いエコーが記録されている。右室 (RV)、左室 (LV)、心室中隔 (IVS)、三尖弁 (TV)、僧帽弁 (MV) が記録されている。

(b) 末梢静脈より ICG を注入すると、contrast は baffle 内に出現する。

(c) ついで、baffle 内の contrast は僧帽弁を通過して左室に出現している。

(d) Contrast は左室内に充満している。

右心系から注入された ICG は contrast echo として左室内に出現した。つまり心房で血流が switching されているのがわかる。

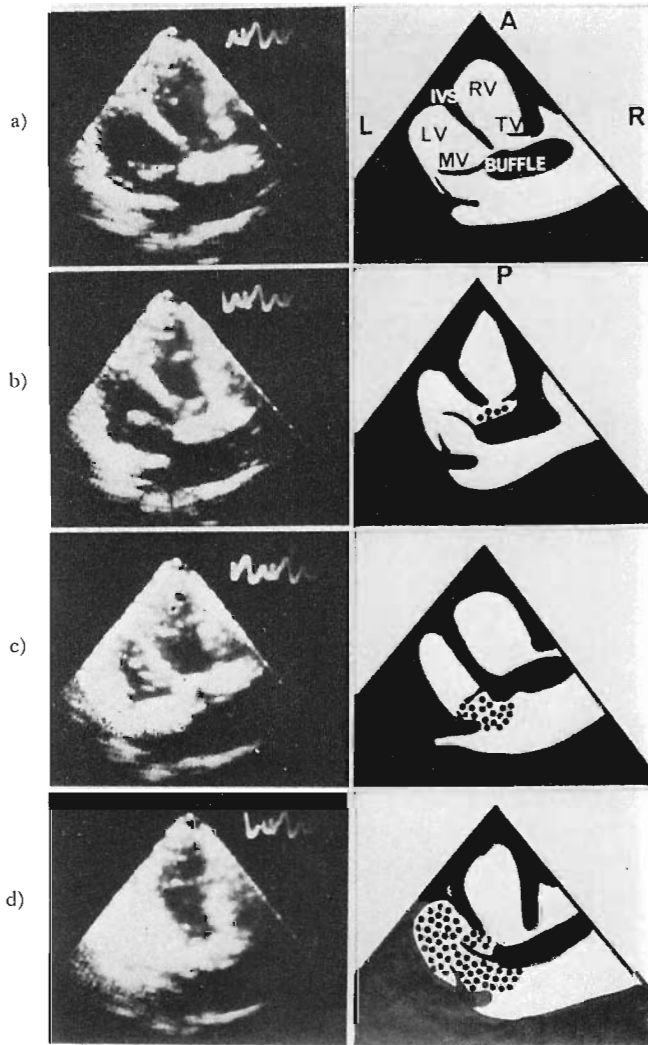


Fig. 4. D-TGA after Mustard operation.

After peripheral vein injection of indocyanine green dye, contrast echo appears in the atrial baffle and then appears in the left ventricle through the mitral funnel. On the other hand, the right ventricle remains as an echo free space.

RV=right ventricle, LV=left ventricle, TV=tricuspid valve, MV=mitral valve, BUFFLE=interatrial baffle.

2. 心内短絡の診断

1) 心内短絡のない正常例 (Fig. 5)

Fig. 5 は両房室弁を含む水平断面像である。

(a) ICG 注入前の心断層図である。右房 (RA), 左房 (LA), 心房中隔 (IAS), 右室 (RV), 左室

(LV), 三尖弁 (TV), 僧帽弁 (MV), 心室中隔 (IVS) が記録できる。

(b) 末梢静脈より ICG を注入すると, contrast echo は右房に出現する。

(c) 右房から三尖弁を通過して右室に出現する。

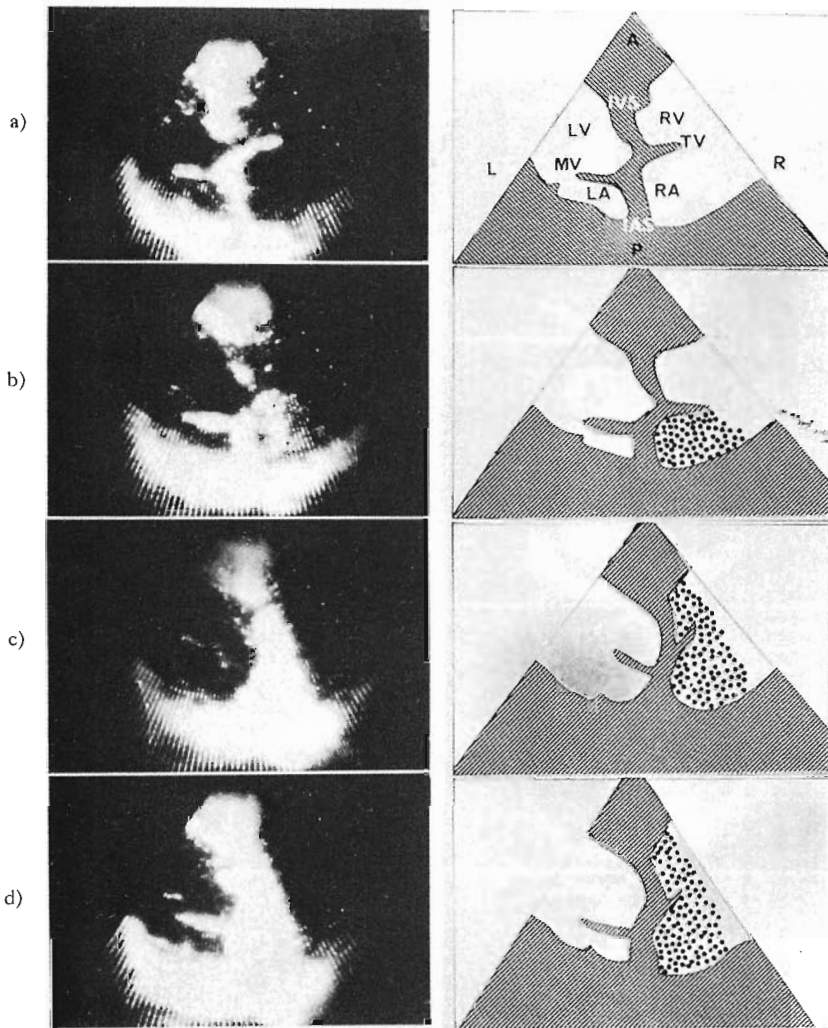


Fig. 5. Normal case.

After peripheral vein injection of indocyanine green dye, contrast echo appears in the right atrium and then in the right ventricle through the tricuspid funnel, while the left atrium and left ventricle remain as echo free spaces and they are separated by IVS and IAS.

RV=right ventricle, LV=left ventricle, RA=right atrium, LA=left atrium, TV=tricuspid valve, MV=mitral valve, IVS=interventricular septum, IAS=interatrial septum.

(d) Contrast echo は右室、右房に充滿し、心房中隔、心室中隔を界に clear に分かれ、左房、左室には contrast echo は認めない。

2) 心房中隔欠損 (Fig. 6)

Fig. 6 は両房室弁を含む水平断面像である。

(a) ICG 注入前の断層図で、右房 (RA)、左房 (LA)、三尖弁 (TV)、僧帽弁 (MV)、右室 (RV)、左室 (LV)、心室中隔 (IVS) が記録され、心房中隔 (IAS) は途中でとぎれ、心房中隔欠損 (ASD) がわかる。

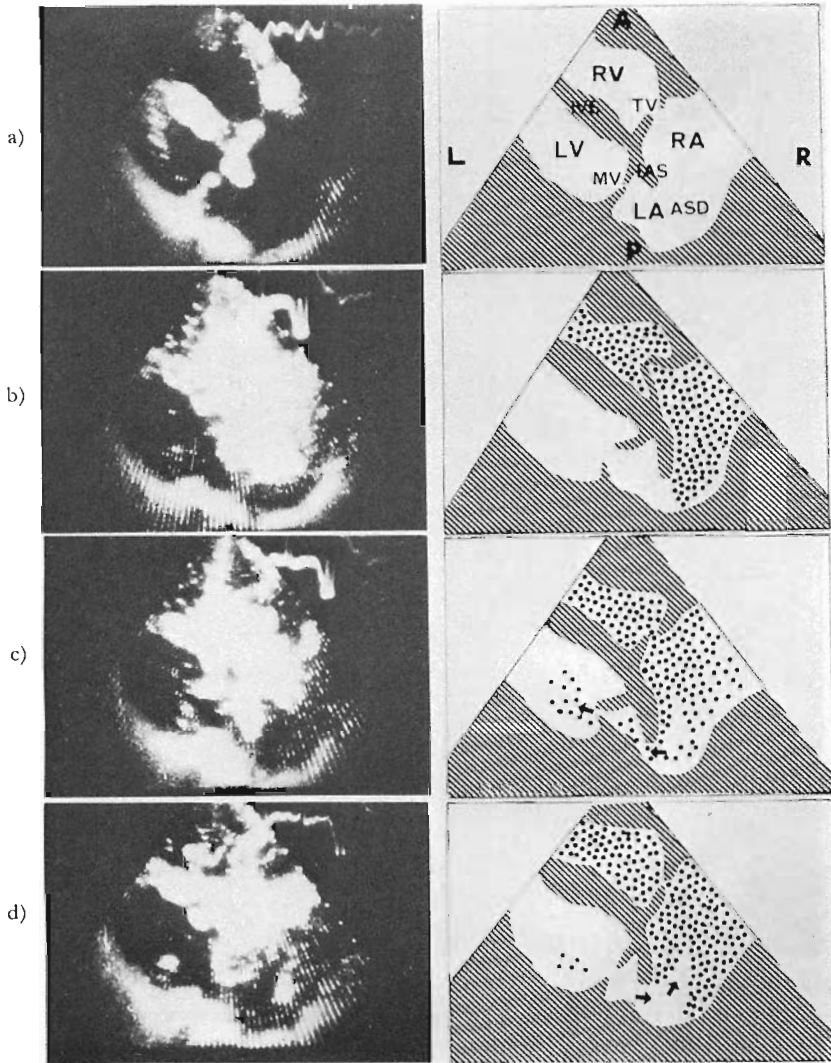


Fig. 6. Atrial septal defect (ASD).

After peripheral vein injection of indocyanine green dye, contrast echo appears initially in the right atrium and then in the right ventricle through the tricuspid funnel. Interatrial L-R shunt is demonstrated by the negative contrast echo in early diastole and small R-L shunt is demonstrated in end systole to early diastole.

RA=right atrium, LA=left atrium, IAS=interatrial septum, TV=tricuspid valve, MV=mitral valve, RV=right ventricle, LV=left ventricle, IVS=interventricular septum, ASD=atrial septal defect.

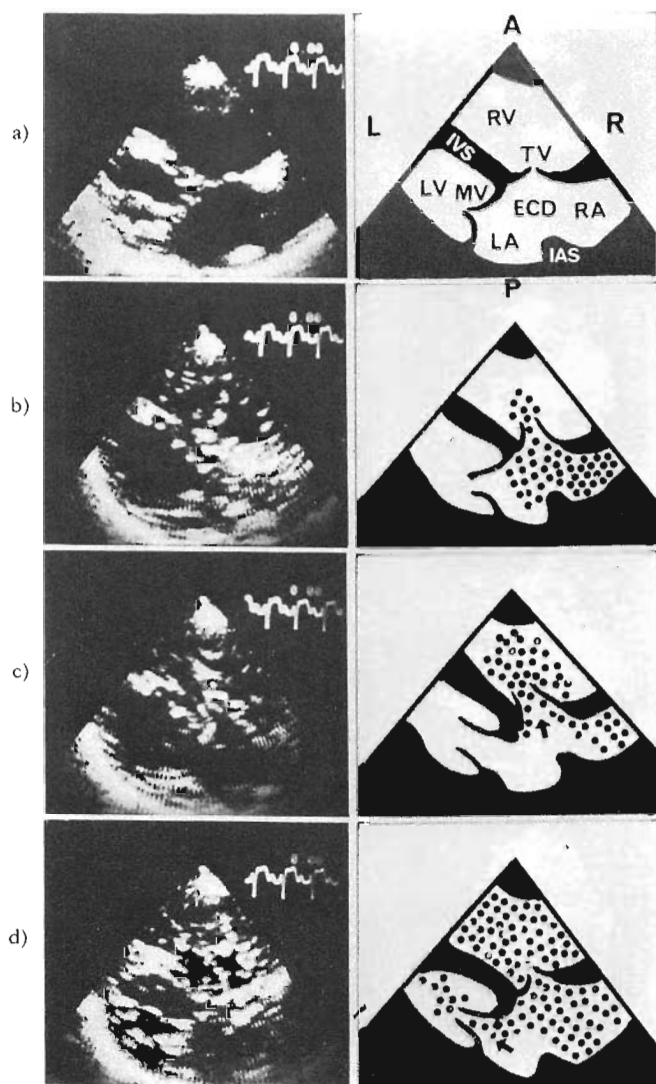


Fig. 7. Endocardial cushion defect (ECD).

After peripheral vein injection of indocyanine green dye, contrast echo appears in the right atrium and then right ventricle. The negative contrast echo is shown in the lower portion of atrial septum just near the A-V valves in early diastole and R-L shunt is recognized in end systole to early diastole.

RV=right ventricle, LV=left ventricle, IVS=interventricular septum, TV=tricuspid valve, MV=mitral valve, RA=right atrium, LA=left atrium, ECD=endocardial cushion defect.

(b) 末梢静脈より ICG を注入すると, contrast echo は右房, 右室に出現している。

(c) End-systole から early-diastole にかけて, 心房での右-左短絡のため左房, 左室に少量の

contrast echo が記録できる。

(d) Early-diastole には心房での左-右短絡のため, 右房内に楔状の negative contrast echo を認める。

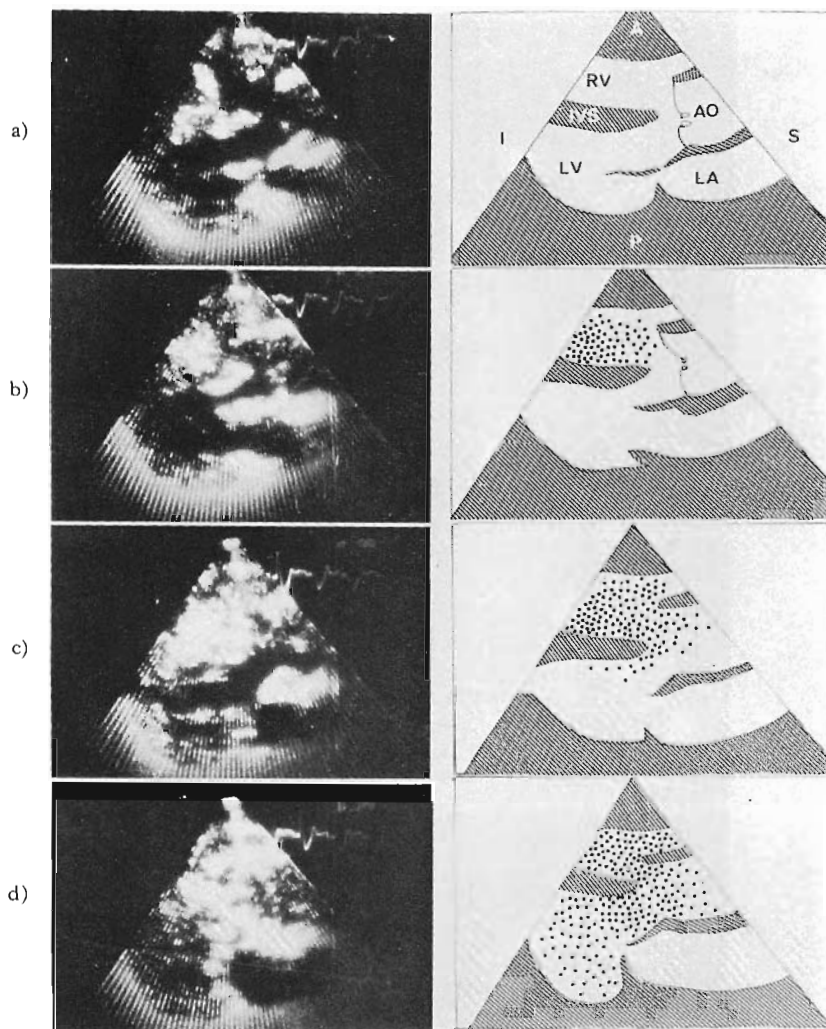


Fig. 8. Tetralogy of Fallot (T/F).

After peripheral vein injection of indocyanine green dye, contrast echo appears initially in the right ventricle and then flows into the left ventricle through ventricular septal defect. During ventricular systole, contrast echo appears in the aortic root.

RV=right ventricle, IVS=interventricular septum, LV=left ventricle, AO=aorta, LA=left atrium.

3) 心内膜床欠損 (Fig. 7)

Fig. 7 は両房室弁を含む水平断面像である.

(a) ICG 注入前の心断層図で, 三尖弁 (TV), 僧帽弁 (MV), 右室 (RV), 左室 (LV), 心室中隔 (IVS), 心房中隔 (IAS) が記録され, 心内膜

床欠損 (ECD) の部分がわかる.

(b) 末梢静脈より ICG を注入すると, contrast echo は右房に出現する.

(c) Early-diastole には心房での左-右短絡のため, 右房内に negative contrast echo を認め

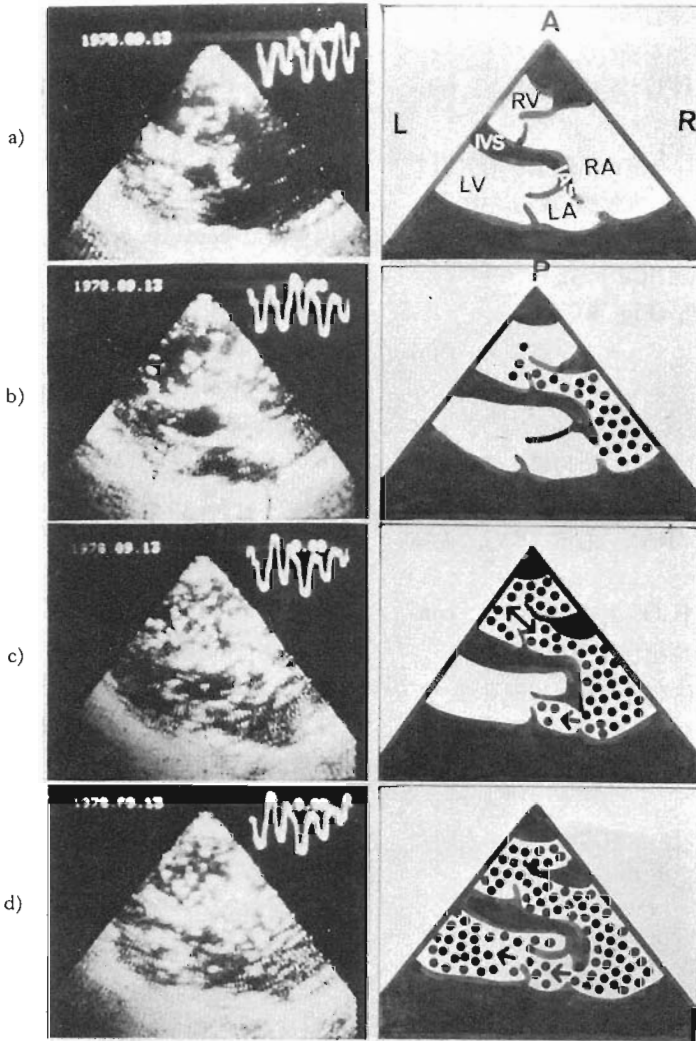


Fig. 9. Ebstein's anomaly with tricuspid regurgitation.

After peripheral vein injection of indocyanine green dye, contrast echo stays in the right atrium and right ventricle for a long time and back and forth movement of the contrast across the tricuspid valve is recognized.

RV=right ventricle, LV=left ventricle, RA=right atrium, LA=left atrium, IAS=interatrial septum.

るが、心房中隔欠損 (Fig. 6) の場合より房室弁に近い部分で、三尖弁方向に向っている。

(d) End-systole から early-diastole にかけて、心房での右-左短絡のため左房、左室に contrast echo を認める。

4) ファロー四徴 (Fig. 8)

Fig. 8 は大動脈、僧帽弁を含む左室長軸断面像である。

(a) ICG 注入前の断層図である。大きな右室 (RV), 大動脈 (AO), 小さな左室 (LV), 左房

(LA) が記録される。大動脈前壁が心室中隔を override しているのがわかる。

(b) 末梢静脈より ICG を注入すると, contrast echo は右室に出現する。

(c) Contrast echo は右室から心室中隔欠損を通過して, 左室に出現する。大動脈にわずかに出現している。

(d) 左室から大動脈に出現する。

3. 弁逆流に対する診断 (Fig. 9)

三尖弁逆流を伴ったエプスタイン奇型で, 両房弁を含む水平断面像である。

(a) ICG 注入前の心断層図であるが, 三尖弁中隔尖 (STL) が心尖部(下方)に付着しているのがわかる。左房 (LA), 心房中隔 (IAS), 僧帽弁 (MV), 拡大した右房 (RA), 右室 (RV), 左室 (LV) が記録できる。

(b) 末梢静脈より ICG を注入すると, contrast echo はまず右房に出現する。

(c) Contrast echo は右房から三尖弁を通過して右室に出現するが, 右房, 右室での停滞時間が長く, 三尖弁を contrast echo が往復するのが観察できた。

(d) また, 心房での右-左短絡のため, 左房左室にも contrast echo の出現を認めた。

考 案

超音波心断層法に contrast 法を組み合わせ, angiography 的な表現をすることは (contrast echoangiography), 各種先天性心疾患における血流診断に対し, つぎのような意義を有すると考えられる。

1. 心房-心室配列異常に対する診断

三尖弁閉鎖の場合, 従来, 右房からの angiography により間接的な診断がなされていた。しかし, 本法を行うと, 直接, 閉鎖した三尖弁を観察しながら, 同時に血流動態を観察でき, 心内構造物と血流の関係が直接診断できる (Fig. 1)。

単心室の場合, common A-V valve と double inlet type の場合があり, 外科的修復を考えるう

えで鑑別を要する。従来, angiography, M モード心エコー図により診断していたが, 房室弁の形態を観察するのは超音波心断層法がより多くの情報を与えてくれる。さらに, contrast 法を加えると, common A-V valve の場合, 末梢静脈より ICG を注入すると, 房室弁の中全体より単心室内全体に contrast echo が拡がっていくのに対し, double inlet type の場合, 房室弁は 2 個(三尖弁と僧帽弁)記録でき, その三尖弁側より contrast echo が単心室内に拡がっていくのが観察される。この contrast echo の拡がり方(出現部位)の差により鑑別診断が可能である。また, 左房に echo free space を残しているか否かで, 単心房であるか心房中隔が intact であるか鑑別できる。

また, 心内構造物との関係が直接観察できる。

Mustard 手術後の D-TGA の場合, 心房での血流の switching がうまくいっているかどうか, 臨床的にも診断できるが, 本法を行うことにより確実な診断が可能である。つまり, 末梢静脈から注入した ICG が buffle 内を通り左室に出現するのが観察できる。この所見は criss-cross heart でも同様で, 有力な診断法と思われる。また buffle に leak があるかどうか確認ができる。

以上のように, 心内構造物と血流動態の関係が直接観察でき, 従来の angio にはないメリットがあると考えられる。

2. 心内短絡に対する診断

右心系からコントラスト物質を注入した場合, そのコントラスト効果は肺血管床を通過すると消失することより, contrast echocardiography は右-左短絡の評価に有用な方法である。しかし, 左-右短絡の診断には困難であった。

本法を行うことによって, 心房中隔欠損, 心内膜床欠損で, 心房での左-右短絡を negative contrast echo として表現できた。

Qp/Qs > 2.0 の心房中隔欠損, 心内膜床欠損, 全例に negative contrast echo を認め, その時相は early-diastole であった。

また, 心内膜床欠損の場合, negative contrast

echo の出現部位が心房中隔欠損より房室弁に近く、三尖弁方向に向っていた。

心房中隔欠損、心内膜床欠損の全例に、O₂ saturation で検出できないほどの少量の右-左短絡を認め、その時相は end-systole から early-diastole にかけてみられた。

Control 群(正常例)では心室中隔、心房中隔を界に、右房、右室にのみ contrast echo を認め、negative contrast echo はみられなかった。

以上のように、心房での左-右短絡を negative contrast echo として観察でき、心房中隔欠損、心内膜床欠損の診断に有用な方法である。また、両者の鑑別をする場合、negative contrast echo の出現する部位と方向を観察することが重要である。また、心房中隔欠損、心内膜床欠損で、オキシメーターで検出できないほどの少量の右-左短絡を認めることは興味ある所見である。

3. 弁逆流に対する診断

三尖弁逆流に対する診断は、従来、右室からの angiography によりなされていたが、三尖弁を通して右室にカテーテルを挿入するため、カテーテルの影響がみられ、また、造影剤の高圧注入のための不整脈の発生で、人工的な三尖弁逆流がみられるため確定診断が困難な場合もある。そこで本法を行うと、右心系(右房、右室)での contrast echo の停滞時間が長いこと、三尖弁を中心に contrast echo の往復がみられることより、診断が可能である。この所見は、Lippe ら¹²⁾の報告した、下大静脈に contrast echo の逆流がみられること、三尖弁を中心に contrast echo の往復がみられることなど、我々の経験した所見とよく似ている。このように、本法では造影剤の影響、高圧注入による危険性、カテーテルの影響をなくすことができ、false positive をもなくすことができる。

Contrast echo の発生源については、我々はとくに検討していないが、血液と注入物質の音響学的インピーダンスの差、注入時の乱流、micro-bubbles などの関与が考えられている。Kremkau

ら¹³⁾は cavitation 現象が contrast echo の発生源と考え、また Weinstein ら¹⁴⁾はイヌの実験で、indocyanine green dye、炭酸水、炭酸ガス、エーテルは生理食塩水やブドウ糖より強い contrast echo が得られ、これは ICG、炭酸水がそれ自体で多量の微細気泡を含有すること、炭酸ガス、エーテルが注入時に気泡化することが、この contrast 効果に影響をもたらすと報告している。しかし、この contrast echo の発生源が何であるか、今後の検討が必要と思われる。

結 語

1) 超音波心断層法と contrast 法を組み合わせ、angiography 的な表示 (contrast echoangiography) を行うことにより、各種先天性心疾患に対する血流診断が可能であった。

2) 心内構造物と血流の関係が直接観察でき、より精度の高い診断が可能である。

3) Qp/Qs>2.0 の心房中隔欠損、心内膜床欠損の心房での左-右短絡を negative contrast echo として表現できた。その時相は early-diastole であった。

4) 心房中隔欠損、心内膜床欠損の全例に、end-systole から early-diastole にかけて、少量の右-左短絡を認めた。

5) 三尖弁逆流の診断に対し、末梢静脈より本法を行うことにより、生理的状态で観察でき、false positive をなくすことができる。

文 献

- 1) Gramiak R, Shah PM, Kramer DH: Ultrasound cardiography: Contrast studies in anatomy and function. *Radiology* **92**: 939-948, 1969
- 2) Kerber RE, Koscho 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
- 3) Valdes-Cruz LM, Pieroni DR, Rorand JMA, Schematec JP: Echocardiographic detection of intracardiac right-to-left shunt following peripheral vein injection. *Circulation* **54**: 558-562, 1976

- 4) Seward JB, Hagler DJ, Ritter DG: Peripheral venous contrast echocardiography. *Amer J Cardiol* **39**: 202-212, 1977
- 5) Sahn DJ, Terry RO, Rourke R, Friedman WF: Multiple crystal cross-sectional echocardiography in diagnosis of cyanotic congenital heart disease. *Circulation* **50**: 230-238, 1974
- 6) Henry WL, Maron GJ, Griffith JM, Redwood DR, Epstein SE: Differential diagnosis of anomalies of the great arteries by real-time two-dimensional echocardiography. *Circulation* **51**: 283-291, 1975
- 7) Maron BJ, Henry WL, Griffith JM, Freedom RM, Kelly DT, Epstein SE: Identification of congenital malformations of the great arteries in infants by real-time two dimensional echocardiography. *Circulation* **52**: 671-677, 1975
- 8) Henry WL, Maron BJ, Griffith JM: Cross-sectional echocardiography in the diagnosis of congenital heart disease: Identification of the relation of the ventricle and great arteries. *Circulation* **56**: 267-273, 1977
- 9) Lieppe W, Scallion R, Behar VS, Kisslo JA: Two-dimensional echocardiographic findings in atrial septal defect. *Circulation* **56**: 447-456, 1977
- 10) Silverman NH, Schiller NB: Apex echocardiography: A two dimensional technique for evaluating congenital heart disease. *Circulation* **57**: 503-511, 1978
- 11) Ports TA, Silverman NH, Schiller NB: Two-dimensional echocardiographic assessment of Ebstein's anomaly. *Circulation* **58**: 337-342, 1978
- 12) Lieppe W, Behar VS, Scallion R, Kisslo JA: Detection of tricuspid regurgitation with two-dimensional echocardiography and peripheral vein injection. *Circulation* **57**: 128-132, 1978
- 13) Kremkau FW, Gramiak R, Carstensen EL, Shah PM, Kramer DH: Ultrasonic detection of cavitation at catheter tip. *Amer J Roentogenol* **110**: 117-183, 1970
- 14) Weinstein DP, Lynch PR: Contrast agents for diagnostic ultrasound. *Invest Radiol* **7**: 500-505, 1972