

特集

先天性心疾患を有する小児に対する
術中経食道エコーの有用性と問題点赤木 美智男* 石沢 瞭** 小池 一行**
小林 順*** 磯田 貴義**

I. 緒 言

経食道エコー（以下 TEE）の臨床応用は、1976年に Frazin¹⁾らによって始められた。当時は、M-mode 画像のみであり、手順の煩雑さや侵襲的性格から、あまり普及しなかったが、1980年初めには、電子セクタ型の probe が開発されて二次元の画像が得られるようになり、さらにカラードップラー法と結びつく事によって、広く臨床に应用されるようになった。小児の分野では、probe のサイズの問題から、最初その使用は年長児に限られていたが、1988年に尾本・許ら²⁾が、アロカ社と共同で、小児用の細い probe を開発して以来、新生児を含む多くの症例に用いられるようになってきた。特に心臓の手術中にも術野を妨げずに持続的に心臓を観察できることから、術中のモニターや診断に使用され始めている。

著者らは、1989年の秋以来、国立小児病院心臓血管外科にて心臓の手術（主として開心術）を受けた患者に、術中の形態診断および心機能モニターを目的として、経食道エコーを行ない、その有用性と問題点について検討したので報告する。なお、本論文の概要は第12回日本循環制御学会総会にて発表した。

II. 対象と方法

対象は、1989年11月から1991年3月までの期間に手術を施行された男児33例・女児34例で、年齢

は32日から18歳、最小体重は 2.5 kg であった。病変の内訳を Table 1 に示す。

Table 1 194 Lesions in 67 Patients

Lesion	No.
Atrial septal defect	10
Patent foramen ovale	3
Ventricular septal defect	
Subarterial	5
Perimembranous	29
Muscular	5
Tetralogy of Fallot	6
Atrioventricular septal defect	
Partial	2
Complete	4
Univentricular heart	4
Transposition of great arteries	4
Double outlet right ventricle	9
Mitral regurgitation	6
Tricuspid regurgitation	3
Pulmonary stenosis	11
Pulmonary atresia	2
Double chambered right ventricle	2
Subaortic stenosis	3
Aortic regurgitation	6
Coarctation/Interruption of aorta	7
Patent ductus arteriosus	11
Patent left superior vena cava	5
Single coronary artery	2
Dextrocardia	2
Post pulmonary artery banding	10
Post Blalock-Taussing shunt	9
Pulmonary hypertension	15
Others	19

*東京大学医学部附属病院小児科

**国立小児病院循環器科

***トロント小児病院

術中の経食道エコーの主たる目的は、以下の通りである。

- 1) 術中の心機能のモニター。
- 2) 手術前の最終診断. 特に, TTE や心血管造影では得難い情報を得ることにより, より診断を正確にすること。
- 3) 心臓の修復の状態を術中に評価し, 手術の進行について (例えば, 修復がうまくいっていない場合に再修復を勧めるなど), 外科医に適切な advice を与えること。

具体的には, 次のような手順で実施した。

- 1) 麻酔導入後, CVP ライン挿入などの術前処置が終了してから, probe を挿入する. 挿入は, 麻酔科医に依頼した。
- 2) まず probe を胃の中まで挿入し, 左室短軸像を得る. この断面において M-mode で左室短軸径を計測し, 左室駆出率を Pombo 法³⁾に従って算出する (Fig. 1)。
- 3) 次にゆっくり引き抜きながら, 術前の最終的な形態診断・血流診断を行ない, 新しい情報があれば外科医に伝える。

- 4) 手術中は左室短軸像または四腔断面像に固定して, 心室壁運動をモニターする。
- 5) 加温が進んで, ある程度の心拍出量が得られるようになったら, 修復の状態の評価を行なう. もし, 重大な問題が残っていれば, それを外科医に伝え, 必要があれば再修復を勧めた。
- 6) 加温が終わる頃から手術終了時まで, 2) と同様にして, 時々心機能をチェックする。
- 7) なお, 経胸壁エコー (以下 TTE) による左室内径の測定値と比較するために, TEEprobe 挿入直前と抜去直後に, TTE での測定もあわせて行なった。

使用した機材は, エコー本体がアロカ社製 SSD-870 で, これに経食道 probe の UST-5220VS または UST-5234S を接続して用いた. probe 先端のサイズは, 前者が 12 mm×10 mm, 後者が 7 mm である. 太い方の probe は, 体重が 20 kg 以上の患者に限り使用した. いずれも搬送周波数 5 MHz で, transverse axis type, すなわちシャフトに対して垂直方向の scanning plane を持つ single plane の probe で

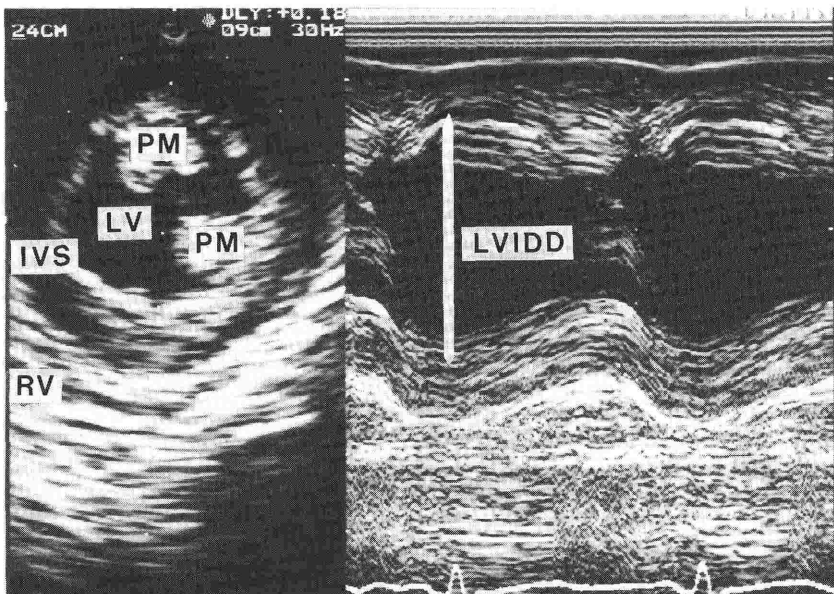


Fig. 1 Measurement of the internal dimension of the left ventricle. Ejection fraction of the left ventricle (LVEF) is calculated as follows:

$$LVEF = 1 - (LVIDS/LVIDD)^3 \quad (\text{Pombo, 1961})$$

IVS=interventricular septum; LV=left ventricle; LVIDD=left ventricular internal dimension in diastole; LVIDS=left ventricular internal dimension in systole; PM=papillary muscle; RV=right ventricle.

ある。手元のハンドルで前後方向にのみ約90度曲げることができる。

Ⅲ. 結 果

1. probe の挿入、器械の操作

最初の数例は、喉頭鏡を用いて直視下に probe を挿入したが、麻酔科医が手技に習熟するに従い、ブラインドでも容易に挿入し得た。

画像はおおむね満足できるものであったが、年長児に細い方の probe を入れると、食道と密着性が悪いために、良好な画像が得られないことがあった。食道聴診器も挿入していることが、密着性を妨げる原因であるかもしれない。

probe の操作は、患者の頭部側、麻酔科医の隣に立って行なった。麻酔科医の両側にはポリグラフなどのモニター類やレスピレーターが置かれているために、エコー本体は唯一空いた場所である術者の後ろの所に置かざるを得なかった。このため、本体パネルのスイッチの操作と probe の操作を同時に行なうことができず、助手がいなかったときには非常に不便であった。

2. 形態診断

心房中隔欠損は、経食道エコーが最も威力を発揮する病変で、位置、大きさ、および大静脈や大動脈など、周囲の構造物との関係がよく観察できた (Fig. 2)。心内膜床欠損の一次口欠損も、同様に明瞭に描出された。

心室中隔欠損は、膜様部から流入路側の欠損は、四腔断面像でよく観察できた (Fig. 3)。これに対して、Transverse axis の probe では、右室流出路の観察が困難なため、流出路の欠損は描出しえないことが多かった。

房室弁は、形態・血流ともに良好に観察できた (Fig. 4)。僧帽弁に比べて、三尖弁ではビームがやや斜めになるので、若干精度が落ちるようであった。

肺動脈は、主肺動脈から右肺動脈の形態および血流はよく観察できたが、左肺動脈は、気管支の介在のため分岐部のごく近辺しか見えないことが多かった。動脈管開存は主肺動脈がよく見える深さから、もう少し probe を引き抜き、上から見おろすようにすると観察できた。しかし、細い動脈管の有無の診断は易しくなかった。

3. 修復の評価

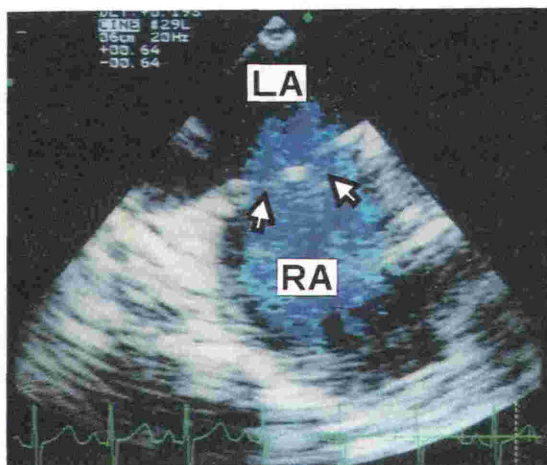


Fig. 2 Transesophageal view of an atrial septal defect. Due to a Chiari network crossing the atrial septal defect, there seems to be two small defects (arrows). LA=left atrium; RA=right atrium.

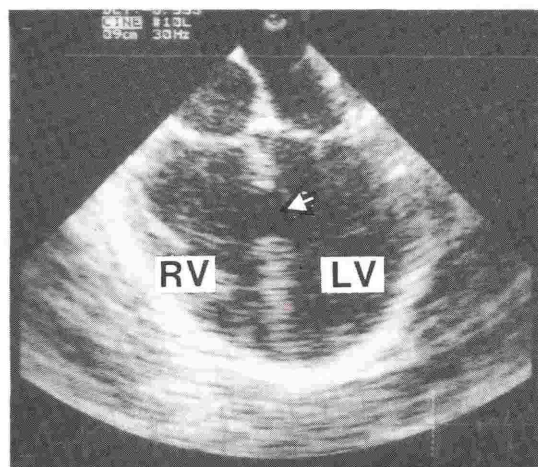


Fig. 3 Transesophageal view of a muscular ventricular septal defect in the inlet interventricular septum (arrow). LV=left ventricle; RV=right ventricle.

術前の形態診断と同様に、心房中隔の観察は容易で、心房中隔欠損閉鎖後の遺残短絡の有無は正確に診断できた。心房中隔欠損を閉鎖した10例中下静脈洞欠損パッチ閉鎖の1例にのみ術中より遺残短絡を認め、退院時のTTEおよび、退院後の心カテーテル検査にて確認された。

しかし、心室中隔欠損の遺残短絡については、その診断精度は良くなかった。すなわち、心室中隔欠損・ファロー根治などで心室中隔欠損を閉鎖

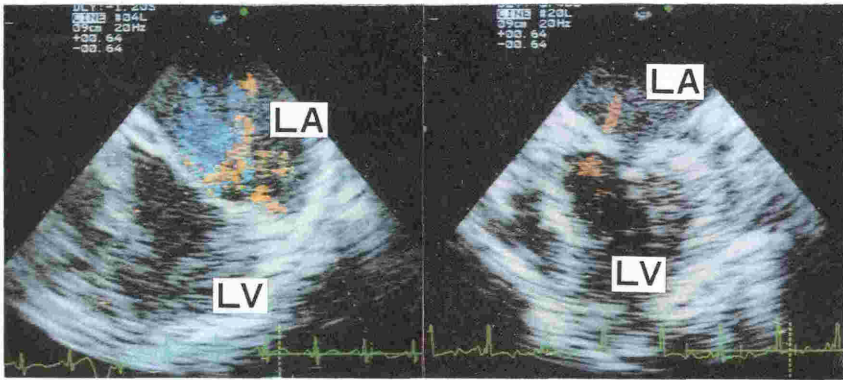


Fig. 4 Preoperative and postoperative mitral regurgitation demonstrated by transesophageal cross-sectional imaging and color flow mapping. Compared with the left panel (preoperative state), the right panel (post-anuloplasty) shows much smaller regurgitation. LA=left atrium; LV=left ventricle.

した症例40例中、退院時の経胸壁エコーで、僅かでも遺残短絡が認められたのは、16例であったが、このうち術中に経食道エコーで診断されていたのは3例に過ぎなかった。

形成術や人工弁置換術などの、房室弁の修復術の評価は、術前と同様に容易で正確であった。房室弁に対して操作が加えられた症例は、心内膜床欠損根治手術を含め14例であったが、術後早期に死亡した症例を除き、退院時の TTE での評価とよく一致していた。術中 TEE による評価に従って再開心・修復を行なった症例を2例経験した。1例は先天性僧帽弁狭窄の3歳女児で、僧帽弁交連切開を行なって心拍を再開したが、TEE により僧帽弁逆流が高度であると判断されたため、僧帽弁置換術に踏み切り救命し得た。もう1例は、腱索断裂による三尖弁逆流の1歳女児で、TEE により修復不十分と診断し、再修復を行なったが、第1病日に low output syndrome のため死亡した。

肺動脈の debanding などの狭窄性病変の解除の評価は、断層像とパルスドップラー法にて可能であったが、連続波ドップラーが使えないので、速い流速すなわち大きな圧較差が残っている場合には、その正確な評価が困難であった。

4. 心機能の評価

心室壁運動や、開心術後にしばしばみられる心室中隔の奇異性運動は、左室短軸断面でよく観察できた。

TTE と TEE との、左室短軸径の測定値を比較すると、拡張期および収縮期の左室内径の相関係数はそれぞれ0.76, 0.61, それらから算出される駆出率については0.65であり、いずれも比較的良好な相関を示した (Fig. 5)。

5. 合併症に関して

消化管出血などの重篤な合併症は認められなかった。術後24時間以内に死亡した症例の剖検 (2.5 kg の新生児を含む4例) で、食道粘膜に異常は認められなかった。

IV. 考 察

1. 機材および手技に関して

経食道エコー法は、経胸壁エコー法に比して侵襲的性格の強い検査法であるので、David ら⁴⁾は、検査はその実施に先だてて内視鏡部門で一定期間教育を受けるべきである、と主張している。著者はその機会を持つ事ができなかったので、probe の挿入は、患者の全身管理の責任者であり、気道や食道への挿管操作に慣れている麻酔科医に依頼した。probe と食道の軸を一致させるのが、スムーズに挿入するコツで、慣れれば喉頭鏡は必要ないと思われた。

2. 形態診断に関して

諸家^{5,6,7)}の報告のごとく、transvers axis のみの probe でも、心房中隔や房室弁の病変は正確な診断が可能であった。従って、次のような疾患の診断には、経食道エコーが有用であると思われ

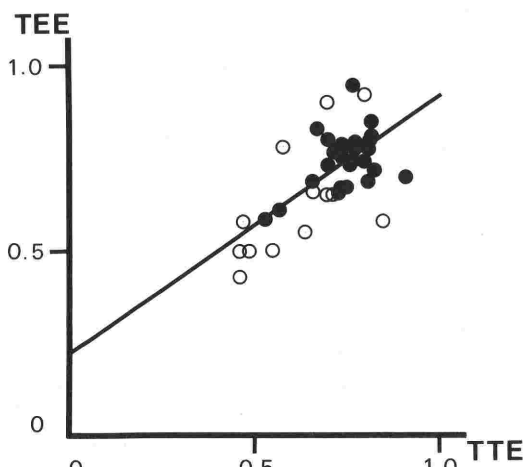


Fig. 5 The ejection fraction of the left ventricle measured by transesophageal echocardiography and transthoracic echocardiography.

Number of the patients: 38, correlation coefficient: 0.65, regression line: $y=0.68x+0.23$

TEE=transesophageal echocardiography; TTE=transthoracic echocardiography. Closed circle=measured at the beginning of the operation; open circle=measured at the end of the operation.

- る。
- a. 年長児や成人の心房中隔欠損の部位・大きさの術前診断
- b. 房室弁や検索の形態診断, および弁形成術あるいは弁置換術の術中評価
- c. 心内膜欠損根治手術の術中評価

これに対して, 右室流出路に関係する病変, 例えばファロー四徴症の右室流出路狭窄や心室中隔欠損 I 型, 肺動脈弁逆流などの診断は, このタイプの probe の最大の弱点といえる。先天性心疾患には, この部位の病変が多いので, 重大な問題である。Longitudinal axis の probe は, 右室流出路の描出に適しているので, 正確な形態診断のためには, biplane の probe の使用が望ましい。但し, 小児用の biplane の probe は, 先端径 7 mm のものが造られてはいるが, 現時点では生産が需要に追いつかず, 容易に手に入れる事ができない状況である。

心室中隔欠損の遺残短絡の診断精度は, Muhiudeen ら⁶⁾ は臨床的に有意の遺残短絡を見逃す事はなかったと述べているが, 著者らの経験では, 術中の経食道エコーでの診断精度は, 退院時の経胸壁エコーに比べるとかなり悪かった。ただし, 退院時にごく僅かの遺残短絡があっても, 経過観察中に消失する症例も多いので, 術後一定期間を経過した後の検討が必要である。

3. 心機能に関して

左室の収縮性の指標としては, 左室短軸径の計測値から Pombo 法によって算出した駆出率を用いた。駆出率は, 後負荷や心拍数の影響を受けるため, 純粋な収縮性の指標とはいえないが, 算出が容易で広く用いられており, 術中・術後管理の参考にするには十分有用であると考えた。経胸壁エコーによる測定値との相関は比較的良好であるので, 術前と術後の, 経胸壁エコーによって算出した左室駆出率と, 術中に経食道エコーによって算出したそれとは, 同一の指標とみなすことができ, その時間的経過を見ることは, 術中・術後管理において意義があると考えられる。

誤差の発生する要因のひとつとして, 経胸壁エコーと経食道エコーでは, 左室短軸像で M-mode カーソルが通る位置が異なるということが考えられる。すなわち, 経胸壁エコーのカーソルは心室中隔と左室後壁を通るが, 経食道エコーのカーソルはそれよりも約 60 度ずれた直径を通ることになる。このため, 正常の心臓のように, 左室短軸像が円形に近い場合には両方法での測定誤差は僅かであるが, 右室による圧迫などで左室が変形した場合や, 壁運動に異常のある場合には, 大きな誤差を生じる可能性がある。

手術前後の左室駆出率の変化については, 心筋保護の成否, 大動脈遮断時間, 疾患の重症度などが関係するのではないかと思われたが, 対象とした疾患と手術術式が多様であったためか, 一定の傾向は見いださなかった。今後症例数が増加したらさらに検討したい。

V. 結 論

今回用いた transverse axis/single plane の probe で, 心房中隔・流入路心室中隔・房室弁・主肺動脈・右肺動脈などは, よく観察できた。しかし, 右室流出路・流出路中隔の病変は観察が困難

で、この部位を含めた正確な形態診断のためには、**biplane** の **probe** が必須であると考えられた。

経食道エコーにて求めた左室駆出率は、経胸壁エコーで求めたものと良好な相関を示した。したがって、左室駆出率は、個々の症例の周術期の心機能の変化を経時的に評価する指標として有用であると思われた。

結論として、術中経食道エコーは小児心疾患の手術成績の向上に寄与しうるものと考えられた。

Ⅶ. 謝 辞

術中経食道エコーを施行するにあたって、御協力いただいた国立小児病院麻酔科の宮坂勝之先生、近藤陽一先生はじめ諸先生に感謝いたします。また、使用機材や操作のテクニックに関して御教授いただいた埼玉医科大学小児科の小林俊樹先生に篤く御礼申し上げます。

文 献

- 1) Frazin, L., Talano, J. V., Stephanides, M. S., et al.: Esophageal echocardiography. *Circulation* 54(1):102-108, 1976.
- 2) Pombo, J. F., Troy, B. L., Russell, R. O. Jr.: Left ventricular volumes and ejection fraction by echocardiography. *Circulation* 43(4):480-90, 1971.
- 3) Kyo, S., Omoto, R., Matsumura, M., et al.: Intraoperative transesophageal echocardiography in pediatric patients [letter]. *J Thorac Cardiovasc Surg* 99(2):373-5, 1990.
- 4) Fleischer, D. E., Goldstein, S. A.: Transesophageal echocardiography: What the gastroenterologist thinks the cardiologist should know about endoscopy. *J Am Soc Echo* 3(5): 428-434, 1990.
- 5) Stumper, O. F. W., Elzenga, N. J., Hess, J., et al.: Transesophageal echocardiography in children with congenital heart disease: An initial experience. *J Am Coll Cardiol* 16(2):433-441, 1990.
- 6) Muhideen, I. A., Roberson, D. A., Silverman, N. H., et al.: Intraoperative echocardiography in infants and children with congenital cardiac shunt lesions: Transesophageal versus epicardial echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 16(7): 1687-1695, 1990.
- 7) Dan, M. D., Bonato, R., Mazzucco, A.: Value of transesophageal echocardiography during repair of congenital heart defects. *Ann Thorac Surg* 50:1990 to 643, 1990.

Intraoperative transesophageal echocardiography in infants and children with congenital heart disease

M. Akagi*, A. Ishizawa**, K. Koike**
J. Kobayashi*** and T. Isoda**

*Dept. of Pediatrics, The University of Tokyo

**Division. of Cardiology, National Children's Hospital

***Hospital for sick children, Toronto

Intraoperative transesophageal echocardiography (TEE) was performed in 67 children with congenital heart disease who underwent cardiac surgery at the National Children's Hospital in Tokyo, to determine the utility and limitations of TEE.

Lesions in the interatrial septum, the atrioventricular valves, the inlet and membranous interventricular septum, the main pulmonary artery, and the right pulmonary artery were correctly identified. But lesions that involved the right ventricular outflow tract and the left pulmonary artery were often difficult to identify with transverse axis transesophageal probe.

Tee was useful in assessing the adequacy of surgical repair, especially the repair of the atrioventricular valve and the atrioventricular

septal defect.

TEE was also used as a monitor of the ventricular performance. Ventricular wall motions were well observed in the short axis view. A good correlation was obtained between the ejection fraction of the left ventricle using TEE and that using transthoracic echocardiography ($r=0.65$).

In conclusion, TEE was useful in preoperative diagnosis, in monitoring of the ventricular performance, and in assessing the adequacy of the surgical procedure. But transverse axis probe had some limitations in detecting the lesions in the right ventricular outflow tract and left pulmonary artery. There were no complications in any of the patients.

Key words: Transesophageal echocardiography, Intraoperative echocardiography, Children, Congenital heart disease, Ventricular performance