

特集

小児先天性心疾患手術における術中経食道心エコー図モニターの臨床的意義

許 俊 鋭* 小林 俊 樹** 小 池 一 行**
 高 索 映 子** 朝 野 晴 彦* 荻 原 正 規*
 常 本 實* 尾 本 良 三*

1. はじめに

1950年代に超音波が心臓領域に応用¹⁾されて以来、今日では心臓病の非侵襲的初期診断法として、超音波心エコー法は临床上極めて重要な診断法となってきた。1983年にカラードプラ法が臨床に導入され得られる診断情報が飛躍的に増加したこと、更にカラードプラ法を用い得る各種経食道探触子が開発されたことにより心臓外科手術における術中心機能モニター手段として今日ではほぼ確立された地位を占めるに至った。心エコー図の術中応用は1972年、Johnson ら²⁾により心臓に体表検査用の探触子を直接当てる epicardial 法が開始され、1980年には Matsumoto ら³⁾により今日広く普及を見ている経食道心エコー図法が術中応用された。1984年に我々はカラードプラの術中応用 (epicardial 法) を開始し^{4,5)}、1985年末には経食道カラードプラ法を術中モニターとして臨床に導入した^{6,7)}。経食道カラードプラ法による診断技術の向上と Biplane 経食道探触子^{8,9)} や小児用経食道探触子¹⁰⁻¹³⁾ の開発により、経食道心エコー図の診断制限要因が徐々に取り除かれていく過程で、我々の施設では術中モニターとしての経食道法の優れた点が認識され、epicardial 法による術中評価は減少した (図1)。しかしながら、術中心機能モニター手段として経食道心エコー法が未熟児・新生児がかなりの症例を占める先天性心疾

患手術症例の術中モニター手段となりえるか否かに関してはこれまで十分検討されて来なかった。1988年、我々は 3 kg 程度の乳児症例にも臨床使用可能な小児用経食道探触子を開発し臨床応用した。更に1990年には体重 2~3 kg の未熟児・新生児にも安全な使用が可能な経食道ドプラ断層探触子 (新生児用) を開発し、臨床的有用性を検討してきた (図2)¹²⁾。本研究の目的はこれまで開発してきた成人用・小児用経食道探触子臨床応用し、小児先天性心疾患手術における術中経食道心エコー図モニターの臨床的意義および安全性に検討を加えることである。

2. 方法ならびに対象

対象は1988年10月-1993年1月までの4年3ヶ月

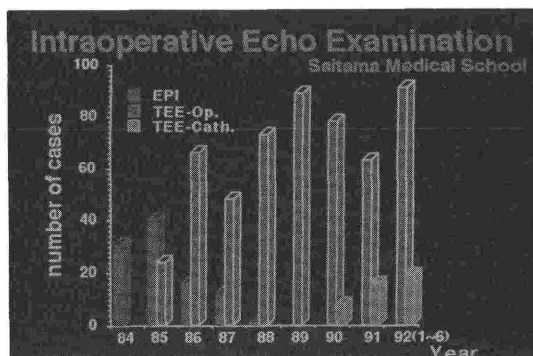


図1 カラードプラ法による心臓外科・カテーテル・インターベンション術中心機能モニター件数の年次別推移

*埼玉医科大学第一外科

** 同 小児科

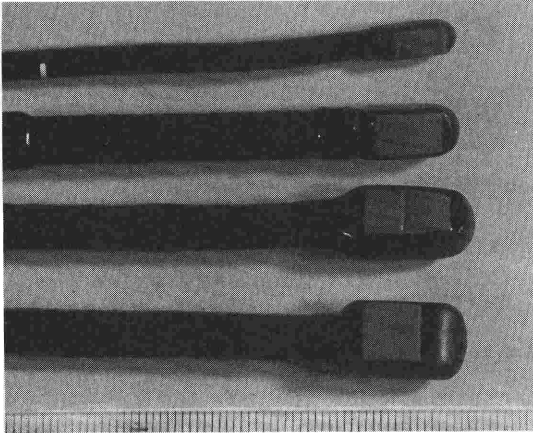


図2 各種小児用経食道探触子
 新生児用探触子
 シャフト外径 4 mm
 小児用探触子 (single plane)
 シャフト外径 6.8 mm
 小児用探触子 (biplane)
 シャフト外径 6.8 mm
 小児用探触子 (matrix-biplane)
 シャフト外径 6.8 mm

月の間に経食道心エコー図モニター下施行した15才以下の小児先天性心疾患手術連続100例である。開心術61例，非開心術39例であり，年齢は生後5日から15才で平均年齢は 3.3 ± 4.3 才であった。1ヶ月未満の症例8例，1ヶ月以上1才未満の症例38例，1才以上の症例54例であった。体重は2.0 kg から 49.0 kg で平均体重 13.8 ± 12.1 kg で3 kg 未満の症例6例，3 kg 以上 6 kg 未満の症例31例，6 kg 以上 11 kg 未満の症例7例，11 kg 以上の症例46例であった。使用した経食道探触子はシャフト外径 4 mm の新生児用 single plane 探触子 (5 MHz, 17素子) を8例に用いた。シャフト外径 6.8 mm の小児用探触子 (5 MHz, 24素子) は single plane 探触子を14例，biplane 探触子 (5 MHz, 24素子) を43例，matrix biplane 探触子 (5 MHz, 24素子) を13例に用いた。シャフト外径 9 mm の成人用探触子 (5 MHz, 32素子) は biplane 探触子を15例，matrix-biplane 探触子 (5 MHz, 32素子) を7例に用いた。新生児用探触子使用症例の平均体重は 3.4 ± 1.1 kg，小児用探触子使用症例の平均体重は 10.3 ± 8.3 kg，成人用単色子使用症例の平均体重は 29.6 ± 11.8 kg であ

表1 姑息手術症例内容

B-T shunt	12例
Central shunt	3例
Glenn shunt	3例
肺動脈絞扼術	5例
Brock 手術	6例
その他	1例
合計	28例

表2 心内修復手術症例内容

Fontan 手術	3例
Jatene 手術	2例
VSD	21例
VSD+右室流出路形成	9例
CoA comex	5例
ASD	13例
弁置換・弁形成	4例
TAPVC	4例
PDA	6例
TOF	3例
ECD	2例
CABG	1例
合計	72例

った。手術は新生児・乳児期に全身状態の改善のために施行された姑息手術が28例，根治手術を目的とした心内修復術が72例であった (表1, 2)。

3. 結 果

技術的問題による経食道探触子挿入不能例は1例もなく挿入は容易で，100例全例で術中連続心機能モニターが可能であった。更に食道内膜損傷による出血などの合併症，あるいは麻酔管理上呼吸循環動態に問題が生じた症例は1例もなかった。但し，初期の症例で3 kg 以下の2症例にシャフト外径 6.8 mm の小児用 single plane 探触子を挿入したところ，麻酔科医は呼吸抵抗がやや増加した (麻酔科医が押すジャクソンリースバッグの加圧抵抗がやや増加した) 印象を持ったが手術終了時まで術中の連続心機能モニターは可能であった。Blalock-Taussig shunt 手術が施行された1症例 (1才，男児) では，術中 shunt flow は確認されたものの flow は不良であった。術後も経食道心エコー図により follow up したところ3日後に shunt flow は確認されなくなり，血液

ガス分析で酸素分圧も低下したため再 shunt (人工血管を用いた Central shunt) を施行した. 術中評価で Central shunt の shunt flow が極めて良好であることが確認された. 姑息手術28例中この1例 (3.6%) が手術近接期に経食道心エコー図診断に基づいて再手術を施行した. 心内修復術72例中5例 (6.9%) で術中経食道心エコー図評価により心内修復不良と診断された. これら5例中4例は経食道心エコー図所見に基づき, 体外循環下に再修復が行われ術後経過は順調であった. しかし, 総肺静脈還流異常 (TAPVC) の1例は, 体外循環離脱後も血行動態が安定していたため再修復せず術後経過を見たが, 3カ月後に心不全が再発し死亡した.

術中経食道心エコー図評価で心内修復不良と診断された症例 (表3)

(1) ASD の1例 (13 y, 女児) の手術は, 最初二次孔欠損に対し直接縫合閉鎖を行った. 体外循環離脱後の経食道心エコー図検査で, 術前とほぼ同じ大きさ ASD が検出されたため再度体外循環下に右房切開したところ縫合線に沿った心房中隔組織の裂開を確認した. 再度の修復は Dacron Patch による Patch 閉鎖を施行した.

(2) 膜性部中隔に2箇所欠損が存在した VSD の1例 (1 y, 男児) は新生児期に肺動脈絞扼術を受けていた. 肺動脈絞扼術により左右心室圧はほぼ等圧になっておりカラードプラによる短絡血流の詳細な術前評価は困難であった. 手術時 8 mm の主たる欠損孔を閉鎖して体外循環を離脱したところ経食道心エコー図検査で更に 5 mm の欠損孔が検出されたため再度体外循環下に閉鎖した.

(3) 1型 VSD に大動脈弁逆流 (AR) が合併した1例 (13 y, M) は, 術前1度の AR が心内修復 (VSD パッチ閉鎖+大動脈弁形成) 後の経

食道心エコー図検査で2度と増強したため再修復を施行した. 再修復後は術前と同程度の AR 1度まで改善し手術を終了した.

(4) 川崎病に起因した虚血性心疾患の1例 (7 y, 男児) は左右内胸動脈を用いた冠動脈バイパス手術 (CABG) を施行した. 右冠動脈 (#2) に右内胸動脈グラフトを置き, 左冠動脈 (#7) に左内胸動脈グラフトを置いた. 体外循環離脱直後の経食道心エコー図検査で左室前壁心尖部側が akinetic になり, 血行動態も不安定であったため左内胸動脈グラフト流量の不足と考え更に左冠動脈末梢 (#8) に大伏在静脈グラフトを用いてバイパスを追加した. バイパスグラフト追加後は良好な左室機能が回復し安定した血行動態で体外循環を離脱した. 術後のドプラ血流計測では左右の内胸動脈グラフト血流は共に良好であった.

(5) Cardiac type の TAPVC の1例 (3ヶ月, 男児) では体外循環離脱時の経食道心エコー図検査では総肺静脈から左房への部が 10×5 mm とやや狭く, TEE 検者 (小児科医) は再修復を推奨した. しかし, 血行動態は極めて安定していたため流入部の再修復は行わなかった. 術後7日目に安定した血行動態で小児科病棟に帰宅し, 3週間後に退院した. 外来で経過観察していたところ3ヶ月目に顔色不良, 経口摂取不良となりショック状態で再入院してきた. 再入院時の経食道心エコー図所見で総肺静脈から左房への流入部が 3 mm 程度と高度狭窄に陥っていた. ショック状態改善せず入院翌日死亡した.

経食道心エコー図モニターを用いた15才以下の小児心臓外科手術連続100例中姑息手術1例心内修復術5例の合計6例 (6%) で術中経食道心エコー図により修復・再建不良と診断され, 再修復を施行した5例は順調な術後経過を取ったが, 再修復を施行しなかった1例は3カ月後に死亡した.

表3 術中経食道心エコー図により心内修復不良と診断された症例

症例	(年齢, 性)	心内修復不良部位	再修復の有無	結果
1. ASD	(13 y, F)	直接縫合閉鎖部裂開	再修復	生存
2. VSD	(1 y, M)	VSD 2箇所 (1箇所閉鎖せず)	再修復	生存
3. VSD+AR	(13 y, M)	弁形成後 AR 増強	再修復	生存
4. CABG	(7 y, M)	左室前壁運動異常 (akinesis)	バイパス追加	生存
5. TAPVC	(3 m, M)	左房流入路狭窄	経過観察	死亡 (3カ月後)

4. 考 案

心臓外科手術時に患者が体外循環離脱困難に陥った場合、麻酔も含めた手術手技全体のなかで何が問題なのか迅速に判断し適切に対応することが、患者の救命に極めて重要である。しかし、従来の血行動態を主体とした術中心機能モニター手段は手術時の解剖学的な修復状況に関しては間接的な指標であり、問題点を適切に診断し、再修復を必要とするか否かを判断することは必ずしも容易ではない。1972年 Jonson ら²⁾は、血行動態指標に加え術中の心機能診断に心エコー図を臨床応用した。1980年には Matsumoto ら³⁾は経食道心エコー法を術中心機能モニター手段として臨床導入した。経食道心エコー図による心機能評価は左室壁運動や心内の構造異常の検出¹⁵⁾に留まらず、カラードプラ法と合体することにより心内血流異常の診断にも応用され僧帽弁形成手術に置ける手術効果の術中評価^{16,17)}や、人工弁機能不全の診断に極めて有力な診断手段^{18,19)}となっており、心臓弁膜症術中の心機能モニター手段として重要な地位を占めてきた。

先天性心疾患においては、弁膜症以上に複雑な心内構造の修復を必要とする症例が多く、経食道心エコー図診断は極めて有効と考えられてきた²⁰⁾が、経食道探触子のサイズが大きすぎたために 15 kg 以下の小児例への臨床応用は困難であった。それゆえ1988年までは小児先天性心疾患においては術中心エコー図の臨床応用は epicardial 法が主流を占めていた。Ungerleider⁴⁾の epicardial 法による検討では、273例の先天性心疾患に術中心エコー図モニターを行い、47例で心内修復直後に残存短絡・残存逆流などの不満足な手術結果をカラードプラにより観察した。このうち26例で再修復を行い、21例で再修復を行わずに放置した。放置群と再修復群の成績を検討した結果、再手術率(42% vs. 3%)、早期死亡率(29% vs. 10%)ともに放置群で有意に高かったとして、術中心エコー図診断の必要性を報告している。

今日市販されている成人用の経食道探触子は全身麻酔下の術中・術後の状態ならば体重 15 kg までの小児症例に使用可能であるが、新生児症例も含めたあらゆる年齢・体重の先天性心疾患児に経食道心エコー図を手術モニターとして臨床応用

すべく1988年、我々は 3 kg 程度の乳児症例にも臨床使用可能な外径 6.8 mm で 5 MHz 24素子をもつ小児用経食道ドプラ断層探触子(図3)を開発した^{10,11)}。我々はこの小児用経食道ドプラ断層探触子を 3 kg 前後の乳幼児症例にまで臨床応用を試みたが、症例によっては探触子の気管圧迫により気管内挿管・人工呼吸下で気道抵抗が上昇する事が麻酔科医により指摘された。そこで体重 2~3 kg の未熟児・新生児にも安全な使用が可能な外径 4 mm (5 MHz, 17素子)の新生児用探触子を開発し臨床使用を試みてきたが、新生児用探触子は従来のものに比べ気管内挿管下の新生児症例においても挿入は極めてスムーズであり、また術前・術後の外来あるいは病棟における覚醒下の経食道心エコー図検査も咽頭の局所麻酔のみで容易に行なうことも可能となった¹²⁾。我々は1988年に小児用経食道探触子を開発するとともに、従来の single-plane 探触子に食道軸と平行する断面(縦断面)が得られるもう1つの transducer を加えた bi-plane 経食道探触子(成人用)を開発した^{8,9)}。この bi-plane 経食道探触子の開発により心内構造の三次元的把握が容易となり経食道心エコー図の診断技術は格段に向上した。特に先天性心疾患の中でもバリエーションの多い複雑心奇形の評価には biplane 経食道探触子は必須のものと考えられ、1990年外径 6.8 mm の小児用 biplane 経食道探触子を開発し臨床応用を開始した¹³⁾。更に1つの transducer で2つの断層心エ

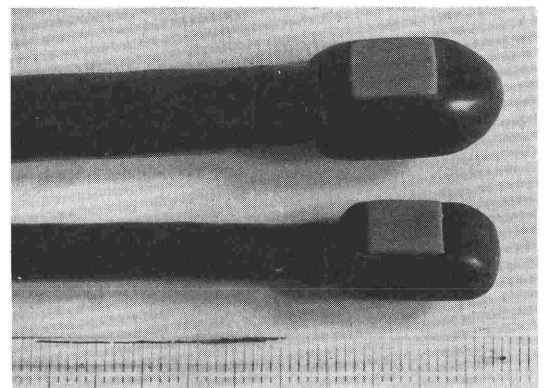


図3 Matrix-biplane 経食道探触子
成人用探触子 シャフト外径 9 mm
小児用探触子 シャフト外径 6.8 mm

コー図が得られ、実時間で同時に2つの断面が side-by-side で表示される matrix-biplane 経食道探触子の開発に取組み、1989年に成人用 matrix-biplane 経食道探触子を開発し^{8,9)}、ついで小児用 matrix-biplane 経食道探触子を開発した(図3)¹³⁾。これらの小児用経食道探触子の開発により新生児まで含めた術中心機能モニターが可能となり臨床応用範囲は飛躍的に増大した。今回の連続小児心臓手術症例100例の検討では挿入不能例や術中心機能モニター継続不能例は全く無く、適切な経食道探触子を選択すれば術中経食道心エコー図モニターは全く安全な手法と考えられ、また3kg以上の体重であれば小児用 biplane 経食道探触子も安全に使用可能であると考えられた。また、体外循環終了時に心内修復が不十分と判断された症例は直ちに再修復することによって良好な予後が得られることも明らかになった。しかしながら、小児の複雑心奇形の経食道心エコー図診断に関してはなお習練期にあり、今後更に高い診断力を持つ装置の開発と共に、ソフトウェアとしての診断知識の蓄積が計られなければならない。その1つの試みとして matrix-biplane 経食道探触子を更に回転可能とし、自由な直交する biplane 断面が得られる variomatrix-biplane 経食道探触子を開発し²¹⁾、臨床試験を開始した。小児用はまだ開発途上であるが、複雑な心内構造を持つ複雑心奇形の診断精度を向上させるものとして期待が持たれる。

5. 結 論

- (1) 種々のサイズの経食道探触子を開発することにより、体重2kg以上の症例で挿入不能例はなく、ほぼすべての先天性心疾患手術症例の術中 TEE モニターが可能となった。
- (2) 術中 TEE モニターは手術修復結果の迅速な評価に有効であり、先天性心疾患の手術成績向上に貢献した。

文 献

- 1) Side, C. G., Gosling, R. G. Non-surgical assessment of cardiac function. *Nature* 232:335, 1971.
- 2) Johnson, M. L., Holmes, J. H., Spangler, R. D., Paton, B. C.: Usefulness of echocardiography in patients undergoing mitral valve surgery. *J Thorac Cardiovasc surg* 64:922, 1972.

- 3) Matsumoto, M., Oka, Y., Strom, J. Frishman, W., Kaish, A., Becker, R. M., Frater, R. W. M., Sonneblick, E. H.: Application of transesophageal echocardiography to continuous intraoperative monitoring of left ventricular performance. *Am J Cardiol* 46:95, 1980.
- 4) Takamoto, S., Kyo, S., Adachi, H., Matsumura, M., Yokote, Y., Omoto, R.: Intraoperative color flow mapping real-time two-dimensional Doppler echocardiography for evaluation of valvular and congenital heart and vascular disease. *J Thorac Cardiovasc Surg* 90:802-812, 1985.
- 5) Kyo, S., Omoto, R., Takamoto, S., Takanawa, E., Shime, H., Yamada, I., Yokote, Y.: Two yeas experience and clinical significance of color flow mapping real-time two-dimensional Doppler echo and its intraoperative use in congenital heart diseases. *Pediatric Cardiology*, Deyle, E. F., et. al. ed, 108-112, Springer-Verlag, New York, 1985.
- 6) Takamoto, S., Omoto, R.: Visualiztion of thoracic dissecting aortic aneurysm by traqnesophageal Doppler color flow mapping. *Herz* 12:187-193, 1987.
- 7) Kyo, S., Takamoto, S., Matsumura, M., Asano, H., Yokote, Y., Motoyama, T., Omoto, R.: Immediate and early postoperative evaluation of results of cardiac surgery by transesophageal two-dimensonal Doppler echocardiography. *Circulation* 76(Suppl 5):113-121, 1987.
- 8) Omoto, R., Kyo, S., Matsumura, M., Shah, P., Adachi, H., Matsunaka, T.: Biplane color Doppler transesophageal echocardiography: Its impact on cardiovascular surgery and further technological progress in the probe, a matrix phased-array biplane probe. *Echocardiograaphy* 6(5):423-430, 1989.
- 9) Omoto, R.: New trend in transesophageal echocardiographic technology: Use of biplane transesophageal probe. *Circultion* 82:1507-1509, 1990.
- 10) Kyo, S., Omoto, R., Matsumura, M., Shah, P., Ito, H.: Intraoperative transesophageal echocardiography in pediatric patients. *J Thorac Cardiovasc Surg* 99(2):373-375, 1990.
- 11) Kyo, S., Koike, K., Takanawa, E., Kobayashi, T., Matsumura, M., Shap, P., Omoto, R.: Impact of transesophageal Doppler echocardiography onpediatric cardiac surgery. *International J Cardiac Imaging* 4, 41-42, 1989.
- 12) 許 俊鋭, 松村 誠, 伊藤寿夫, 尾本良三: 未熟児・新生児に使用可能な経食道ドプラ断層探触子の開発と最初の臨床使用経験. 日本超音波医学会講演論文集 57: 543-544, 1990.
- 13) 許 俊鋭, 小林俊樹, 尾本良三, 松村 誠, 伊藤寿夫, 松中敏行: 小児用 biplane 経食道ドプラ断層探触子の開発—標準 Biplane 探触子と Matrix 探触子の有用性の検討—. *Jpn J Med Ultrasonics* 18 (suppl 1):387-388, 1991.
- 14) Ungerleider, R. M., Greeley, W. J., Sheikh, K. H., Kisslo, J. A., Sabiston, D. C., Jr: The use of

- intraoperative echo with Doppler color flow imaging to predict outcome after repair of congenital cardiac defects. *Ann Surg* 210:526-533, 1989.
- 15) Nellessen, U., Schnittger, I., Appleton, C. P., Masuyama, T., Bolger, A., Fischell, T. A., Tye, T., Pop, R. I.: Transesophageal two-dimensional echocardiography and color Doppler flow velocity mapping in the evaluation of cardiac valve prosthesis. *Circulation* 78:848-855, 1988.
 - 16) Khandheria, B. K., Seward, J. B., Oh, J. K., Freeman, W. K., Tajik, A. J.: Mitral prosthesis malfunction: utility of transesophageal echocardiography. *J Am Coll Cardiol (Suppl A)* 13:69, 1989.
 - 17) Matsuzaki, M., Toma, Y., Anno, Y., Hiroyama, N., Yonezawa, F., Tamitani, M., Maeda, T., Katayama, K., Matsuda, Y., Kumada, T., Kusukawa, R.: Esophageal echocardiographic analysis of atrial dynamics. *Am Heart J* 109:355-362, 1985.
 - 18) Aschenberg, W., Schuter, M., Kremer, P., Schroder, E., Siglow, V., Bleifeld, W.: Transesophageal two-dimensional echocardiography for the detection of left atrial appendage thrombus. *J Am Coll Cardiol* 7:163-166, 1986.
 - 19) 稲田英一, 青木啓一, 高田博之, 澤田 準, 古田昭一, 加藤和之, 小山晋太郎: 麻酔科領域における経食道心エコー図法の応用とその限界. *麻酔* 38:1498-1504, 1989.
 - 20) 松村 誠, 許 俊鋭, 安達秀雄, 今福博司, 山村優子, 横手祐二, 尾本良三: 成人先天性心疾患の診断, 治療に対する経食道ドプラ断層の応用とその有用性. *日本超音波医学会講演論文集* 58:391-392, 1991.
 - 21) Omoto, R., Kyo, S., Matsumura, M., Yamada, E., Matsunaka, T.: Variomatrix Newly developed transesophageal echocardiography probe with a rotating matrix biplane transducer. *Echocardiography* 10:79-84, 1993.