教育講演

心機能モニターとしての経食道ドプラ心エコー図法

尾本良三*

I はじめに—経食道ドプラ心エコー図法の歴史的背景

心エコー図法は本来が無侵襲的な方法であったが、この方法の拡大として、ちょうど内視鏡のように、その先端に超音波トランスジューサーを装着して、経食道的に心機能を検査する半侵襲的なアプローチが経食道心エコー図法(trans-esophageal echocardiography, TEE)といわれるものである。TEEのルーツは1976年のFrazinの報告にさかのぼることができる。Frazinは従来の胸壁からの心エコー図と同様にTEEの臨床応用が可能であることをはじめて示した¹⁾。その後、Matsumoto, Okaらは、TEEを術中の心機能モニターとして応用することを報告し、TEEを麻酔科領域で使用する方向付けとなった²⁾。TEEのはじめは、“Mモード”のみであったが、その後は“断層”も可能になった。すなわち、まずHisanagaら³⁾がメカニカルスキャンによって、次にHanrathら⁴⁾が電子スキャンによってTEEをMモードから“断層”方法へと進歩させた。無侵襲的な心エコー図法をわざわざ半侵襲的な経食道的手法へ拡大させた理由にはいろいろある。その目的の主

なものは、①心機能モニター（左室壁運動の分析）、②大動脈瘤—特に解離性大動脈瘤—の診断と術中評価、③弁形成術の術中評価、④冠動脈の映像化、⑤各種の心臓大血管手術の術中評価、⑥巨大左房の検索、⑦左房血栓の検出、⑧僧帽弁位人工弁患者の左房検索（人工弁機能不全の検査）などがあった。確かに、TEEにはいろいろのメリットがあるが、特に“左房と食道とが接している”ことのメリットは、上記の③、⑥、⑦、⑧で認められている。また一方、“下行大動脈と食道とが接している”ことのメリットは、上記の②、⑤で認められている。一方、手術野に対して感染の危険なしに連続的にモニターできることから、①、⑤の応用が重要である。特に①の術中心機能モニターとしての応用はTEEの最も大切な応用であって、Matsumoto, Okaらに始まるこの方面の研究は大変めざましいもので、その後のTopolら⁵⁾、Smithら⁶⁾、Kremerら⁷⁾、Abeら⁸⁾、Gewertzら⁹⁾の業績は重要である。

確かに前述の①～⑧のメリットは大きいですが、TEEが急速に普及をみたのは、ドプラ断層法（カラードプラ法）の技術とTEEとのドッキングがなされた1986年以降である^{10),11)}。それ以後は“TEE”が“カラードプラTEE”となり、今日ではきわめて実用的な検査法として、どの施

*埼玉医科大学第一外科

図1 成人用から乳児用までの各種 TEE プローブの先端部

図2 成人用バイプレーン TEE プローブの全形 (アロカ社 UST-5228-4)

先端部のトランスジューサ 2 個のうち、一番の先の方が transverse scan 用で、その上に 1.5 ミリ離れて longitudinal scan 用が装着されている。トランスジューサ相互は中心から中心までの距離は 1 センチである。

設でも必須なものとなりつつある。

カラー TEE と、それ以前の TEE との差は、単にカラーの有無ではなく、両者の臨床的意義の差はきわめて大きいものである。カラー TEE の導入によって TEE はきわめて特殊な検査方法という地位からごくありふれた、しかもぜひ必要な検査方法へとその位置付けが変化した。得られた情報量の大きさゆえに、あえて侵襲的なアプローチであるのかかわらず急速な普及を示しつつある。カラー TEE によって“断層”による形態診断からさらに進んで、心・大血管の血流映像が診断情報として提供されるようになった。今日では、用語のうえからは経食道心エコー図法、経食道ドプラ心エコー図法、経食道カラードプラ法、TEE 法等はすべて同意である。

テクノロジーからみて TEE では、もう一つ大きな進歩がなされた。それは、従来の TEE がシングルプレーン TEE (transverse scan) であったものが、transverse scan と longitudinal scan の直交 2 断面の同時映像化を可能としたバイプレーン TEE の開発とその普及であ

る^{12)~14)}。バイプレーン TEE は、はじめ off-line で使用されたが、技術の進歩はこの方法を on-line で使用することを可能とした。また 1 個のトランスジューサでバイプレーンの scan を可能とする“matrix phased-array”も開発され、実用レベルに達している¹⁵⁾。またサイズの小さい TEE プローブによる小児、乳児、新生児における TEE の応用は、1988 年以降に行なわれ¹²⁾、その後、この方面の研究も熱心に続けられている¹⁶⁾。

II TEE 検査

1. TEE プローブ

TEE プローブは目的に応じて多種類のものが使用される(図 1, 2)。シングルプレーンの TEE プローブは多くのメーカーから各種のものがすでに市販されている。バイプレーン TEE プローブや matrix biplane TEE プローブは目下のところアロカ社製が中心となっているが、

いずれは国内外の各社より市販されるようになることが期待されている。成人用プローブのサイズは外径が13ミリ程度あるが、小児用は外径6.8ミリ、新生児用は外径4ミリである。新生児用プローブは体重2.5kg以上ならば安全に使用される。

2. TEE の適応

特に重要なものを以下に列挙する。

A：心臓血管外科における術中あるいは手術近接期での応用

1. 心機能のモニター（術中および術直後ICUにおいて）
2. 弁形成の術中評価
3. 解離性大動脈瘤の診断、特に急性解離の治療方針の決定、術中評価

B：心臓外科以外のハイリスク患者の術中心機能モニター

C：一般的に心臓病学領域における応用

1. 僧帽弁人工弁機能の検査
2. 巨大左房症例における左房検査（左房血栓の検出等）
3. 冠状動脈基部病変の検出

麻酔科領域では、特に心臓外科患者あるいは心臓以外の外科患者の心機能モニターとしてのTEEの適応が中心となる。しかし当然、心機能と心臓大血管の病態あるいは心臓構造の修復とは直接関連している。この意味からは、心機能モニターの立場から弁形成術の評価等も左室壁運動評価と同様に重要なモニターすべき情報となる。

3. TEE の実施

心臓血管外科における応用では、TEEの挿入は気管内麻酔下で行なわれるので、特別の問題はない。TEEプローブの先端に、リドカイン・スプレーをかけるのみできわめて容易に挿入さ

れる(図3)。プローブの挿入それ自身には、麻酔医あるいは胃ファイバースコープの挿入に熟練している医師によって行なわれる場合には、特別な技術を必要としない。問題はTEEによって得られる心臓や大血管の映像の解剖学的オリエンテーションに十分に精通することである。通常の心エコー図では、前胸壁から心臓を眺めているが、TEEでは心臓の裏側(左房後壁あるいは下行大動脈)から眺めていることになる。この場合、繰り返しになるが、食道は、“左房のすぐとなり”であり、また“下行大動脈のすぐとなり”でもあることを常に念頭におくべきである。全身ヘパリン化する心臓手術では、プローブの挿入はヘパリン投与前に行ない、全身ヘパリン化の後には、プローブの移動を行わず、この間必要なデータをとる。体外循環中(開心術中)は用心のためプローブのパワーを切り、体外循環が終了し心拍動が再開してのち、再びデータをとるべきである。これらは、食道の機械的あるいは熱による損傷を避けるための用心である。

全身麻酔下でない場合の一般的なTEEの挿入は、消化管内視鏡の場合と同じ操作であり、ある意味では全身麻酔下よりもむしろ安全であると考えられている。なぜなら不都合な事態に対して、患者が直ちに反応するからである。プローブの挿入はリドカイン・ゼリーによる咽頭麻酔のみで十分である。急性解離性大動脈瘤の患者ではTEEプローブの挿入による血圧上昇の心配があるが、著者らの経験ではマンシットによる経時的な測定で20～30mmHgの上昇にとどまることがわかっている¹⁷⁾。TEEによる危険はゼロではないが、TEE検査の遂行が治療方針決定のためにより重要である場合には、ためらうべきではない。著者らの施設で現在までに

図3 術中 TEE 検査の実際図

A: TEE プロブを取り扱っている熟練した医師

B: 通常の市販心エコー図装置

矢印(↑): TEE プロブのシャフト

約4年間で全身麻酔下で約400例, それ以外の患者と合わせて合計約1,000例の TEE 検査を実施したが, 食道出血, あるいは, それによって惹起されたとと思われる合併症は全く経験されていない。当然のこととして TEE プロブの挿入に際して必ず患者および家族から informed consent をとることが必要である。可能性としてたとえまれであるにしろ合併症の可能性がありうるからである。

III TEE から得られる情報

1. 心機能のモニター

もともと TEE は心機能のモニターから始まったものである。現在なお, TEE は心臓手術中の心機能モニターとしての価値が高い。術中の心機能モニターの目的には大きく二つのことがある。すなわち① global cardiac function としての心機能で, 主として左心室の geometry (心

室径, 心室容積, ejection fraction, あるいは心拍出量等) のモニターと②左室局所壁運動のモニター(segmental wall motion analysis)である。その両方ともが術中管理にとって同様に重要であるが, 特に②が術中心筋虚血の予防と迅速な診断, またそれに対する一瞬でも早い対応のために重要である。それは TEE による左室の局所壁運動異常が心筋虚血による心電図変化に先行して起こるからである。この場合, TEE の心筋虚血検出能力は大変に敏感で, 心電図と比較して約4倍であると報告されている⁶⁾。また, TEE による左室壁運動分析において, systolic wall thickening が良い指標となることを強調した報告もある¹⁸⁾。実際に冠動脈バイパス手術によって術中直ちに局所壁運動が改善することが TEE で認められている⁵⁾。このように TEE による左室局所壁運動分析は, 術中に発生するかもしれない心筋虚血の早期検出法と

図4 バイプレーン TEE による心機能の評価 (transgastric scan)

A: 正常心機能例 B: 心尖部心室瘤例 A': Aのシェーマ B': Bのシェーマ

T=transverse view L=longitudinal view Ant=左室前壁, Post=左室後壁, LA=左房,

LV=左室, PPM=後乳頭筋, APM=前乳頭筋

して臨床的に重要な役割を果たしうるわけである。心機能モニターの実際をバイプレーン TEE プローブによる所見で示す (図4)。図4-Aは正常心機能の例であり、図4-Bは心尖部心室瘤で低心機能の例である。バイプレーンの使用で、心臓全体のポンプ機能の評価が、より正確な segmental wall motion analysis の評価によって可能となる。図4の longitudinal view (L) は左室の経胃長軸像 (transgastric scan) であるが、心機能評価では特に経胃左室長軸像は有用である。次に実際に私どもの経験から術中 TEE による左室壁運動異常検出能に関するデータを示す¹⁹⁾。94例の心臓血管外科患者 (弁膜症38例、虚

血性心疾患27例、解離性大動脈瘤25例、成人先天性心疾患4例) において、37例が手術中に、57例がICUにおいてバイプレーン TEE で左室局所壁運動がモニターされた。まず第一に、左室局所壁運動異常の検出能力については、バイプレーンの両方のプレーンを利用しなければ正しい検出ができないことが明らかになった (表1)。次に新しく検出された左室局所壁運動異常と心筋虚血の関係が検討された。そして94術中で左室局所壁運動異常が TEE で検出された20例のうち、6例で術後3日以内にCPK-MB データと12誘導心電図所見から心筋梗塞の発生が認められた (表2)。前述の通り周術期の

表1 左室局所壁運動異常の検出能力

断層プレーン (scan)	No.
transverse plane	4 (20%)
longitudinal plane	7 (35%)
biplane	9 (45%)

心筋虚血の早期検出の重要さはなにも心臓血管外科に限るものではなく、ハイリスクの全身麻酔手術患者にとっても同様に重要である。

2. 心機能モニター以外の他の重要なモニター

1) 僧帽弁形成術における術中評価

弁置換術においては通常は、弁機能そのものの手術効果の評価は特に問題とはならない。なぜなら、人工弁は完全な弁機能をもつものとし

表2 新しい左室局所壁運動異常(SWMA)の発生

グループ	診断	No.	SWMAS
術中	IHD	20	9 (3)
	VHD	10	5 (1)
	AD	3	—
	CHD	4	—
ICU	IHD	7	4 (2)
	VHD	28	1
	AD	22	1

カッコ内は術後心筋梗塞発生の患者数, IHD=虚血性心疾患, VHD=弁膜症, AD=解離性大動脈瘤, CHD=成人先天性心疾患

て考えられているからである。しかし弁形成術において状況は全く別であって、弁形成術の効果を術中、開胸前に評価することがぜひ必要で

図5 バイプレーン TEE による僧帽弁後尖逸脱の映像

同じ僧帽弁後尖の逸脱であっても、バイプレーン映像では、それが anterior scallop か posterior scallop かを区別することができる。

(a) : 僧帽弁後尖の anterior scallop の逸脱

(a') : (a) のシェーマ

(b) : 僧帽弁後尖の posterior scallop の逸脱

LA : 左房, LV : 左室, PML : 僧帽弁後尖,

AML : 前前尖, Ao : 大動脈, RV : 右室, RA : 右房

Ⓓ : transverse scan, Ⓔ : longitudinal scan, (Omoto R, et al, Circulation 1992 : 85 : p.1244, Figure 10より)

ある。もし弁形成が不成功であるならば、直ちに弁置換術に術式を変更しなければならない。カラー TEE では左房の映像は明瞭であり、また僧帽弁逆流のメカニズムの映像化においても十分に敏感である。TEE 所見によって弁形成の前後で僧帽弁逆流ジェットを評価し、閉胸前に弁形成の成果を知ることができることの意義はきわめて大きい。この場合、バイプレーン映像は僧帽弁尖の異常構造を詳細にまた 3 次元的な理解のために特に有利である (図 5, 6)。

2) 解離性大動脈瘤における術直前・術中評価

解離性大動脈瘤の診断において、カラー TEE は特に有用である。急性解離で患者の状態が不良のときカラー TEE は CT やアンジオグラフィに代る第一選択の診断アプローチとなる。状況によっては、アンジオグラフィをバイパスしてエコー検査室から、直接手術室へ患者を送ることも可能となる。カラー TEE によって、解離の病型が DeBakey I・II 型 (A 型) か III 型 (B 型) かの判別が多くの場合に可能となる。DeBakey III 型ならば、まず血圧のコントロールによって保存的に患者を管理するであろうし、また DeBakey I・II 型ならば、心タンポナーデによる突然死を避けるために直ちに手術の適応が検討される。カラー TEE では、真腔と偽腔の判別は容易であり、特に DeBakey III 型においては entry, re-entry の検出は容易である (図 7, 8)。

3) 左房血栓、特に左心耳血栓の検出と人工弁異常の検査

経食道的なアプローチでは左房はプローブからきわめて近い距離にあり、左房の病変の検出には特に有利である。胸壁からのエコーでは、しばしば検出が困難な左心耳血栓が容易に映像化される。巨大左房では、胸壁からの検査では

図 6 僧帽弁後尖逸脱による僧帽弁逆流の matrix biplane TEE プローブによるバイプレーン映像

略語は図 5 と同じ。

(Omoto R, et al, Echocardiography. 1991, 8 : p.716, Figure 3 より)

距離が大きくなるために超音波信号の感度不足が起こることがある。しかし経食道アプローチではこのようなことは起こらない。僧帽弁位人工弁置換患者で弁不全が疑われたとき、もしアーティファクトがカラードブラの映像を妨げる場合には、麻酔下であるかどうかに限らず外来的検査法としても TEE 検査は正当化されるものである。この場合、きわめて高い精度で人工弁異常の存在を評価することができる。

図7 急性解離性大動脈瘤 (De Bakey III型) のバイプレーン TEE 所見

entry (En) は左鎖骨大動脈直下にあるが、解離は上行一弓部一下行大動脈に及んでいる。

TL : 真腔, FL : 偽腔, IF : intimal flap

L

図8 急性解離性大動脈瘤 (De Bakey I型) のバイプレーン TEE 所見

略語は図5～図7と同じ。

IV 今後の展望

現在は正直のところ TEE は普及の途上であるといえる。最近になって従来のシングルプレーンのほかに直交2画面 (バイプレーン) の映

像が可能になった。バイプレーン TEE プロープによって、ちょうどバイプレーンのアンジオグラフィのように、心室壁運動の分析や異常な心内血流の分析が三次元的に理解されるようになった。従来のシングルプレーンのプロープに

しろ、新しく開発されたバイブレーションのプローブにしる、その有用性は明らかであって、今後さらに広く単に心臓血管外科領域のみでなく、もっと一般に心臓病学領域や麻酔科領域で利用されるようになるものと考えられている。特に麻酔科領域は、本来 TEE のルーツである。今なおそれは TEE の最大の適応であると思われる。今後は TEE による心機能モニターは最もあたりまえの術中心機能モニターのひとつになることが予想される。その場合、サイズをもっと小さくするなどプローブの更なる改良と、システムがもっと安価になることなどが必要条件となるであろう。

参考文献

- 1) Frazin L, Talano JV, Stephanides L, Loeb HS, Kopel L, Gunnar RM : Esophageal echocardiography. *Circulation* 54 : 102~108, 1976
- 2) Matsumoto M, Oka Y, Strom J, Frishman W, Kadish A, Becker RM, Frater RWM, Sonnenblick EH : Application of transesophageal echocardiography to continuous intraoperative monitoring of left ventricular performance. *Am J Cardiol* 46 : 95~105, 1980
- 3) Hisanaga K, Hisanaga A, Hibi N, Nishimura K, Kambe T : High speed rotating scanner for transesophageal crosssectional echocardiography. *Am J Cardiol* 46 : 837~842, 1980
- 4) Hanrath P, Kremer P, Langenstein BA, Matsumoto M, Bleifeld W : Transösophageale Echokardiographie : Ein Neues Verfahren zue Dynamischen Ventrikelfunktionsanalyse. *Deutsch Med Wochenschr* 106 : 523~525, 1981
- 5) Topol EJ, Weiss JL, Guzman PA, Dorsey-Lima S, Blanck TJJ, Humphrey LS, Baumgartner WA, Flaherty JT, Reitz BA : Immediate improvement of dysfunctional myocardial segments after coronary revascularization : Detection by intraoperative transesophageal echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 4 : 1123~1134, 1984
- 6) Smith JS, Cahalan MK, Benefiel DJ, Byrd BF, Lurz FW, Shapiro WA, Roizen MF, Bouchard A, Schiller NB : Intraoperative detection of myocardial ischemia in high-risk patients : Electrocardiography versus two-dimensional transesophageal echocardiography. *Circulation* 72 : 1015~1021, 1985
- 7) Kremer P, Cahalan M, Beanpre P, Schroder E, Hanrath P, Heinrich H, Ahnefeld FW, Bleifeld W, Hamilton W : Intraoperative monitoring by two-dimensional echocardiography. *Anaesthesist* 34 : 111~117, 1985
- 8) Abel MD, Nishimura RA, Callahan MJ, Rehder K, Ilstrup DM, Tajik AJ : Evaluation of intraoperative transesophageal two-dimensional echocardiography. *Anesthesiology* 66 : 64~68, 1987
- 9) Gewertz BL, Kremser PC, Zarins CK, Smith JS, Ellis JE, Feinstein SB, Roizen MF : Transesophageal echocardiographic monitoring of myocardial ischemia during vascular surgery. *J Vasc Surg* 5 : 607~613, 1987
- 10) Goldman ME, Thys D, Ritter S, Hillel Z, Kaplan J : Transesophageal real time Doppler flow imaging : A new method for intraoperative cardiac evaluation (abstract). *J Am Coll Cardiol* 7 : 1, 1986
- 11) Takamoto S, Kyo S, Matsumura M, Hojo H, Yokota Y, Omoto R : Total visualization of thoracic dissecting aortic aneurysm by transesophageal Doppler color flow mapping (abstract). *Circulation* 74 (suppl II) : II-132, 1986
- 12) Omoto R, Kyo S, Matsumura M, Shah PM, Adachi H, Matsunaka T, Tachikawa K : Recent technological progress in transesophageal color Doppler flow imaging with special reference to newly developed biplane and pediatric probes, in Erbel R, Khandheria BK, Brennecke R, Meyer J, Steward JB, Tajik AJ (eds) : *Transesophageal Echocardiography*. Heidelberg, Springer-Verlag, 1989, p21~26
- 13) Omoto R, Kyo S, Matsumura M, Shah PM, Maruyama M, Adachi H, Yokota Y : Critical evaluation of biplane color Doppler transesophageal echocardiography in 150 patients (abstract). *Circulation* 80 (suppl II) : II-475, 1989
- 14) Omoto R, Kyo S, Matsumura M, Shah PM, Adachi H, Yokota Y, Kondo Y : Evaluation of biplane color Doppler transesophageal echocardiography in 200 consecutive patients. *Circulation* 85 : 1237~1247, 1992
- 15) Omoto R, Kyo S, Matsumura M, Maruyama M, Yokota Y : Future technical prospects in biplane transesophageal echocardiography ; Use of adult and pediatric biplane matrix probes. *Echocardiography* 8 : 713~720, 1991
- 16) Kyo S, Koike K, Takanawa E, Kobayashi T, Matsumura M, Shah P & Omoto R : Impact of transesophageal Doppler echocardiography on pediatric car-

- diac surgery. Int J card Imaging 4 : 41~42, 1989
- 17) 松村誠, 許俊鋭, 尾本良三, 安達秀雄, 高本真一, 横手祐二 : 経食道心エコー図検査と安全性 : 適切な検査方法の設定に関する設定. 超音波医学 18 : 297~308, 1991
- 18) Ren J, Kotler M, Hakki A, et al. : Quantitation of regional left ventricular function by two-dimensional echocardiography in normals and patients with coronary artery disease. Am Heart J 110 : 552~560, 1985
- 著者連絡先 尾本良三
〒350-04 埼玉県入間郡毛呂山町毛呂本郷38
埼玉医科大学第一外科