

心臓・大血管手術における術中経食道心エコー法の有用性

－1011 症例での検討－

Impact of intraoperative transesophageal echocardiography in
cardiac and thoracic aortic surgery: Experience in 1011 cases

山口大学大学院医学系研究科 応用医工学系専攻

器官制御医科学講座 博士後期課程

器官病態内科学（内科学第二）

大下 千景

平成 23 年 1 月

目次

第 1 章 緒言	3
1.1 背景	3
1.2 目的	3
第 2 章 方法	4
2.1 対象	4
2.2 術中経食道心エコー法	4
2.3 術中の異常イベント検出の評価法	4
第 3 章 結果	5
3.1 術中経食道心エコー施行症例の術式	5
3.2 術中異常イベントの検出率	6
3.3 手術術式による異常イベント検出率の評価	6
3.4 手術術式および異常イベント検出率の年次変化	8
3.5 冠動脈バイパス術単独術式での検討	9
3.6 経カテーテル的ステントグラフト留置術での検討	9
3.7 心臓弁膜症手術での検討	9
第 4 章 考察	11
第 5 章 結語	13
第 6 章 謝辞	14
第 7 章 参考文献	15

第1章 緒言

1.1 背景

術中経食道心エコー法は心臓大血管手術で広く用いられ、周術期の外科医の術式の決定において有用な影響を与えていることが知られている¹⁾⁴⁾。心臓手術の前の経食道心エコー検査では、術前に診断されていなかった病変や疾患を指摘し、これにより治療方針の修正をすることが可能であり、また人工心肺からの離脱時には、新たな壁運動異常の出現や残存した弁逆流、その他大動脈の合併症などを検出することが可能である。術中経食道心エコー法は心臓・大血管手術の様々な術式で導入され、その有用性は確立されたものとなっているが、周術期に経食道心エコー検査で発見される異常の検出率については明らかではない。

1.2 目的

本研究の目的は、1011症例の心臓・大血管手術の際に行われた術中経食道心エコー検査の記録を検証し、術中経食道心エコー法の有用性を評価・検討することである。

第2章 方法

2.1 対象

山口大学医学部附属病院で1998年1月から2007年12月までの10年間に施行された予定・緊急の心臓・大血管手術のうち、術中経食道心エコー法によるモニターを実施した症例を対象とした。その大部分の症例では、人工心肺の導入前、導入中、離脱後に術中経食道心エコー検査を施行した。患者、あるいは家族に対して、術前に経食道心エコー施行に関するインフォームドコンセントを得た。

2.2 術中経食道心エコー法

5MHzのマルチプレーン経食道心エコープローベと超音波診断装置(SSD-2200, SSD-5500, α -5, ALOKA Ltd., Tokyo, Japan)を使用した。全身麻酔導入の後に循環器内科医あるいは麻酔科医がプローベを挿入した。経食道心エコーによる観察は、胸骨切開前、人工心肺導入前、人工心肺からの離脱後の他、術中に必要に応じ適宜行った。全ての画像イメージはS-VHSビデオあるいはDVDにデータベースとして保存し、オフラインでの検証や結果の解析に使用した。術中経食道心エコー検査の際には、心電図モニターの同時記録も実施した。術中経食道心エコー検査の手技に関しては、アメリカ心エコー学会(ASE)と心臓血管麻酔学会(SCA)の周術期経食道心エコーのガイドラインに基づいて行った⁵⁾⁶⁾。術中経食道心エコーの操作および診断は、3年以上の経食道心エコーの経験を有する循環器内科医が実施した。

2.3 術中の異常イベント検出の評価法

人工心肺の導入前、導入中、離脱後に以下の項目に関する術中イベントの発生率を検証した。

- (1) 新たな壁運動異常の出現
- (2) 経カテーテル的大動脈ステントグラフト留置術後のエンドリーク(ペリグラフトリーク)
- (3) 大血管の内膜の損傷
- (4) 形成弁あるいは人工弁機能不全
- (5) 人工心肺からの離脱困難
- (6) その他のイベント

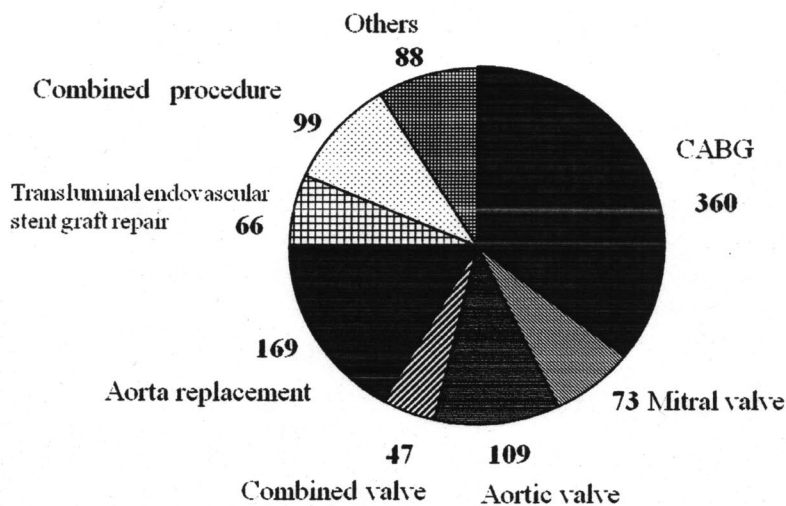
第3章 結果

3.1 術中経食道心エコー施行症例の術式

調査期間のうち、1079例の心臓大血管手術が行われ、このうちの1011例に術中経食道心エコー検査を施行した。全1011例において経食道心エコーのプローベの挿入は可能であり、術中経食道心エコープローベの挿入に伴う合併症は認めなかった。術中経食道心エコー検査を施行した症例の内訳は、冠動脈バイパス術：360症例、弁膜症単独手術：229症例（僧帽弁：73例、大動脈弁：109例、2弁以上の弁：47例）、胸部大動脈人工血管置換術：169症例、経カテーテル的大血管ステントグラフト留置術：66症例、複合術式：99症例（弁手術＋大動脈人工血管置換術：39例、冠動脈バイパス術＋弁手術：24例、弁手術＋その他の手術：14例、冠動脈バイパス術＋弁手術＋大動脈人工血管置換術：10例、冠動脈バイパス術＋その他の手術：9例、冠動脈バイパス術＋弁手術＋人工血管置換術＋その他の手術の組み合わせ：3例）であり、その他様々な心臓・大血管手術の術式：88症例であった（図1）。

図1. 術中経食道心エコー検査を施行した1011症例での手術術式

CABG：冠動脈バイパス術， Mitral valve：僧帽弁手術， Aortic valve：大動脈弁手術
 Combined valve：2弁以上の弁膜症手術 Aorta replacement：胸部大動脈人工血管置換術
 Transluminal endovascular stent graft repair：経カテーテル的大血管ステントグラフト留置術
 Combined procedure：複合術式



3.2 術中異常イベントの検出率

全 1011 例中 115 例 (11.4%) で異常所見が検出された (表 1)。

表 1. 術中経食道心エコーにて検出された異常イベント (115 イベント)

Occurrence of a new wall motion abnormality	42	(4.2%)
Perigraft leakage after transluminal endovascular stent-graft repair	16	(1.6%)
Intimal tears or flaps of aorta	14	(1.4%)
Valve dysfunction	12	(1.2%)
Difficulty in weaning from CPB	6	(0.6%)
Other	25	(2.5%)

CPB: cardiopulmonary bypass

最も多く観察された異常所見は人工心肺離脱後の新たな壁運動異常の出現、続いて経カテーテル的大動脈ステントグラフト留置の際のエンドリークであった。術中経食道心エコー検査の情報が術式変更の決定に関与した症例は 59 例 (5.8%) であった (表 2)。

表 2. 変更された手術術式 (59 症例の変更)

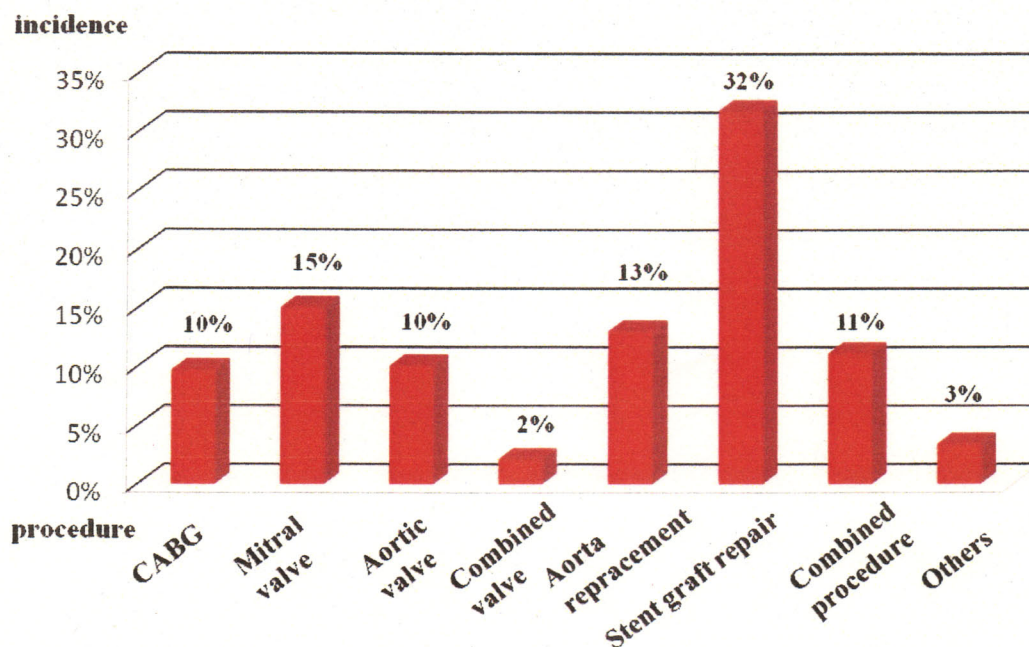
Additional aortic stenting	12	(20%)
IABP/PCPS insertion	11	(19%)
Vascular repair	8	(14%)
Valve repair	8	(14%)
Revision of graft	6	(10%)
Other	14	(24%)

3.3 手術術式による異常イベント検出率の評価

術中経食道心エコー検査による新たな術中イベント検出率を術式別に示す (図 2)。

図 2. 術式別にみた異常イベント検出率

(略語は図 1 参照)



心臓・大血管手術の術式別の術中経食道心エコー法によって検出されたイベントの内訳を表 3 に示す。

表 3. 術中経食道心エコー法で検出された異常イベント数

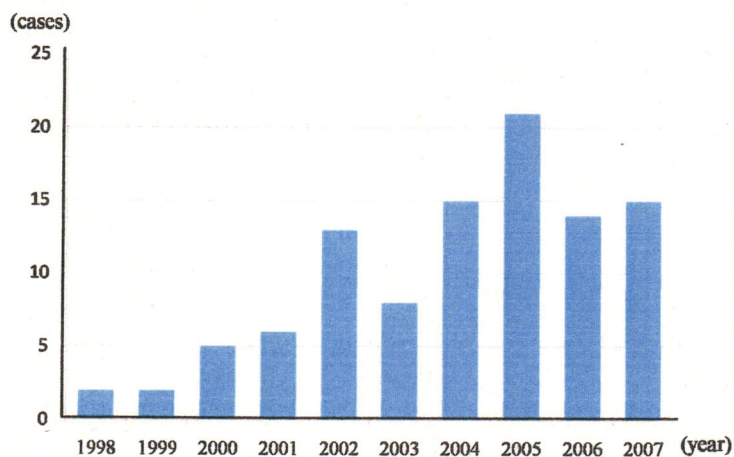
Event	Procedure								
	CABG	Mitral valve	Aortic valve	Combined valve	Aorta-replacement	Stent graft repair	Combined procedure	Others	
	(360)	(73)	(109)	(47)	(169)	(66)	(99)	(88)	
Occurrence of a new wall motion abnormality	17	4	5	1	9	0	5	1	
Perigraft leakage after transluminal endovascular stent graft repair	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	16	(-)	(-)	
Intimal tears or flaps of aorta	6	0	1	0	4	2	1	0	
Valve dysfunction	0	5	3	0	1	0	3	0	
Difficulty in weaning from CPB	2	1	0	0	1	0	1	1	
Other	10	1	2	0	7	3	1	1	
	35	11	11	1	22	21	11	3	
	(10%)	(15%)	(10%)	(2%)	(13%)	(32%)	(11%)	(3%)	

経カテーテル的大動脈ステントグラフト留置術を除く全ての術式において、術中経食道心エコー検査により検出された最多の異常所見は、新たな壁運動異常の出現であった。

3.4 手術術式および異常イベント検出率の年次変化

複合術式が行われた患者数の年次推移を図3に示す。冠動脈バイパス術+弁形成術をはじめとする複合術式は10年間で徐々に増加していた。

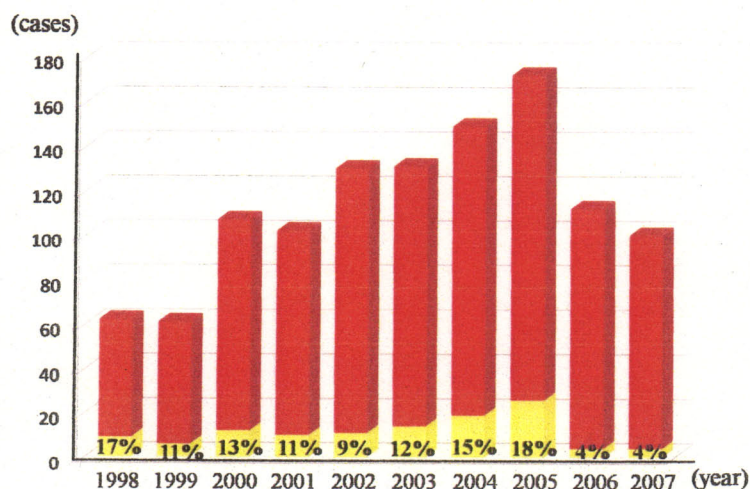
図3. 複合術式が行われた患者数の年次推移



異常イベントの発生率の年次推移を図4に示す。1998年から2005年までの間、異常イベントの検出率は徐々に増加していたが、2006年にはイベント発生率は減少し、2007年には4%に減少していた。

図4. 術中経食道心エコー施行症例数と異常イベント検出率の年次推移

術中経食道心エコー検査施行症例数 (red bar) およびイベント発生率 (yellow bar) の年次推移



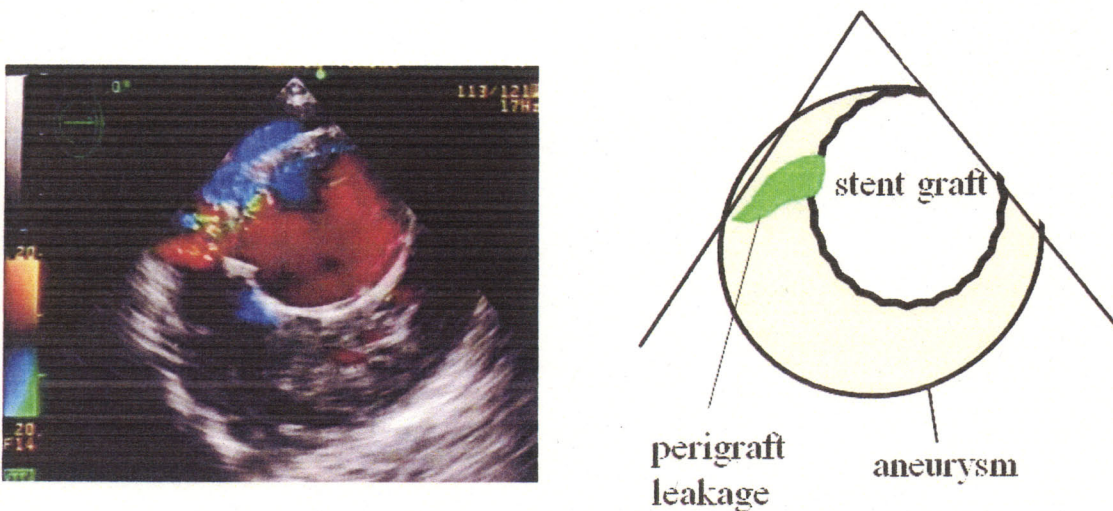
3.5 冠動脈バイパス術単独術式での検討

冠動脈バイパス術を行われた 360 症例のうち、術前には認めなかった新たな局所壁運動異常を検出した症例は 17 例 (4.7%) であった (表 3)。17 例中 15 例では、注意深い経過観察中に壁運動異常は改善した。冠動脈バイパスグラフトの修正を要した症例は 2 例(0.6%)のみであった。この 2 症例では、バイパスグラフトの修正の結果、壁運動異常は改善した。

3.6 経カテーテル的大動脈ステントグラフト留置術での検討

経カテーテル的大動脈ステントグラフト留置術を行われた症例の内訳は、遠位弓部大動脈瘤: 19 症例、胸部下行大動脈瘤: 21 症例、急性大動脈解離 (Stanford B) : 25 症例、肺癌の大動脈浸潤 : 1 症例であった。経カテーテル大動脈ステントグラフト留置術の術式での異常イベントの検出率は 32% であり、他の術式と比較してイベント検出率は最も高値であった (図 2)。この異常イベントの大部分 (76%) はステントグラフトからのエンドリークであった (表 3、図 5)。大動脈内ステント留置術を施行された症例のうち、経食道心エコー検査の結果、12 例で追加のステント留置が行われた。

図 5. 胸部大動脈瘤に対してステントを留置した際に認めたペリグラフトリーク



3.7 心臓弁膜症手術での検討

3.7.1 僧帽弁関連手術

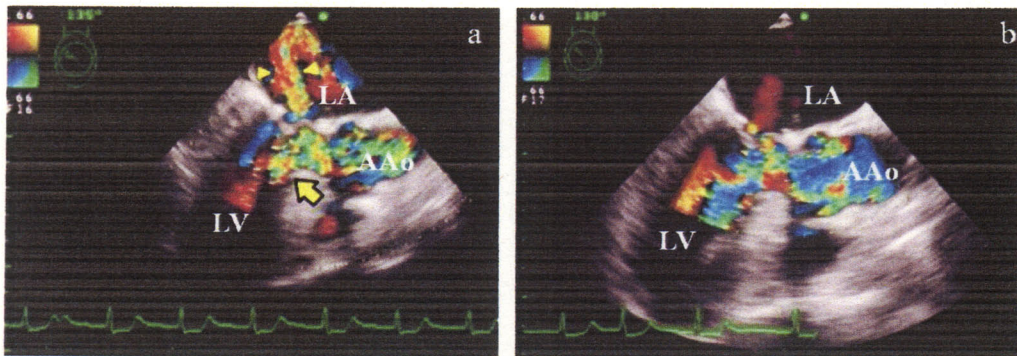
僧帽弁関連の手術は 132 例に実施された。その内訳は、僧帽弁単独の手術 : 73 例、僧帽弁 + 大動脈弁手術 : 19 例、僧帽弁 + 三尖弁手術 : 22 例、僧帽弁手

術＋冠動脈バイパス術：9例、僧帽弁手術＋大動脈人工血管置換術：7例、僧帽弁＋大動脈弁＋三尖弁手術：2例であった。132例中6例では、人工心肺離脱後に術中経食道心エコーで得られた所見により、再度人工心肺下での修復を要した。僧帽弁形成術の施行後に重度の僧帽弁逆流が残存した症例では、追加の修復、あるいは僧帽弁置換術が施行された。1例は人工心肺離脱後に重度の僧帽弁逆流の残存が検出されたが、僧帽弁前尖の収縮期前方運動を認めていた。この僧帽弁逆流は左室径の縮小・頻脈・左室の過収縮などにより、左室流出路の狭窄（図6a）が原因になっていると考えられた。この症例ではカテコラミンの投与を中止し、補液により血管内・心室内の血液量を増加させることにより、頻脈や左室流出路狭窄の改善に伴い重度の僧帽弁逆流は消失した（図6b）。

図6. (a) 左室流出路狭窄 (arrow) に伴って生じた重度の僧帽弁逆流 (arrow head)

(b) 左室流出路狭窄の解除後に僧帽弁逆流は消失した

LV: left ventricle, LA: left atrium, AAO: ascending aorta



3.7.2 大動脈弁、複合弁手術

大動脈弁手術および複合弁の手術において最多の異常イベントは新たな壁運動異常の出現であった。その発生率は、僧帽弁手術と比較すると低値であった。

第4章 考察

本研究では、1011例での心臓・大血管手術中の経食道心エコー所見を検証することにより、術中経食道心エコーの臨床的有用性を評価した。本検討では、人工心肺導入前あるいは術中に施行した経食道心エコー所見により術式変更を要した症例数は、59症例（5.8%）であった。Eltzschigら⁷⁾は12566症例の心臓・大血管手術中の経食道心エコー所見を検討し、術式変更決定へ影響した異常エコー所見は、人工心肺導入前では7.0%、離脱後は2.2%であったと報告している。今回の研究では人工心肺の導入前と離脱後の別々の割合は評価していないが、術中異常所見の検出率はEltzschigらの報告とほぼ同様であった⁷⁾。

本研究の対象には、開胸心・大血管手術に加えて、経カテーテル的大動脈ステントグラフト留置術が対象全体の6.5%を占めていた。大動脈瘤や大動脈解離に対する大動脈内ステント留置術での術中経食道心エコーの有用性に関しては、いくつかの報告がなされているが⁸⁾、本研究においてもこの術式における異常イベントの検出率は最も高率であった（図2）。開胸での術式の場合と異なり、弓部大動脈や胸部下行大動脈における経カテーテル的ステントグラフト留置術では、術者は術野を直視下に見ることができないため、術中経食道心エコー法によるステントグラフトの位置の確認は必須のものと考えられる。

冠動脈バイパス術のほぼ全症例において術中経食道心エコー検査を実施した。冠動脈バイパス術中経食道心エコー検査の要否に関して、特に予定された冠動脈バイパス術のような手術リスクの比較的低い症例での術中経食道心エコーの施行に関しては、未だ論議されている⁹⁾。Eltzschigら⁷⁾、Mishraら¹⁰⁾は、冠動脈バイパス術施行例の0.8%でグラフトの修正が必要であったと報告しているが、本研究においては、360例中17例（5%）の症例において人工心肺離脱後に新たな領域の壁運動異常の出現を検出し得た。これらの症例の多くは、再度人工心肺下での修正や、バイパスグラフト追加を行う必要はなく、20-30分間の経過観察中に、壁運動異常の改善を認めた。グラフトの修正を要した症例は2例（0.6%）であり、この割合は従来のデータとほぼ同様であった^{7,9)}。これらの所見から、グラフトの屈曲や冠攣縮、空気塞栓などに関連した心筋虚血の検出のために、冠動脈バイパス術においてもやはり経食道心エコーの施行が望ましいと考えられた。

一方、僧帽弁手術における経食道心エコーの必要性はすでに確立されている⁶⁾。アメリカ心エコー図学会（ASE）や心臓血管麻酔学会（SCA）の術中経食道心エコー検査に関するガイドラインでは、僧帽弁疾患の形成手術には術式の決定に有用な情報を与えるとして、術中の経食道心エコー検査が推奨されている¹¹⁾。術中経食道心エコー法により人工心肺離脱前の情報のみならず、人工心肺離

脱後の残存逆流の有無やそのメカニズムについての有用な情報を得ることが可能である。本研究では僧帽弁関連手術を施行された 132 例中 7 例で弁逆流の残存を検出した。このうち 6 例では再度人工心肺下で僧帽弁の修復が行われたが、1 例は人工心肺離脱後早期に重度の僧帽弁逆流とともに僧帽弁前尖の収縮期前方運動を認めていた。この症例では、重度の僧帽弁逆流の原因は僧帽弁前尖の収縮期前方運動と左室流出路狭窄であると考えられたため、カテコラミンの中止と補液を行い、僧帽弁逆流は消失した。僧帽弁形成術後の僧帽弁前尖の収縮期前方運動と左室流出路狭窄の発生率は、2-16%と報告されている^{12)・14)}。Maslow ら¹⁴⁾は、変性した僧帽弁の形成手術後の左室流出路狭窄を来たしややすい症例の僧帽弁構造に関する経食道心エコーの所見を検討し、左室流出路狭窄を来たしややすい症例では、後尖に対する前尖の長さの比が小さいと報告している。この所見は、人工心肺離脱前に左室流出路狭窄の出現を予測することに有用であるが、経食道心エコー検査によりモニターを行い、僧帽弁逆流の有無を評価することは残存逆流の出現メカニズムを知る上でも必須であると考えられる。

近年、リアルタイム 3D 経食道心エコーが臨床に用いられるようになり、特に僧帽弁の診断における有用性が報告されている^{15)・18)}。術中にリアルタイム 3D 経食道心エコーを使用することにより、僧帽弁を立体的に観察可能であり、特に僧帽弁逸脱の際には手術の術式決定に有益な情報を提供可能である。今後、心臓大血管手術における術中モニタリングにおいても、2D の経食道心エコーは 3D 経食道心エコーによる評価へ技術発展していくものと思われる。

経食道心エコーの合併症として、嚥下痛、歯の損傷、気管挿管チューブの移動、上部消化管の出血、食道穿孔などがこれまでに報告されている¹⁹⁾。今回の研究においては、10 年間にこれらの大きな合併症は認めなかった。操作に熟練した循環器内科医が注意深く操作したことや、特に細径 (径 9mm) のプローベを使用したことで、経食道心エコーの手技に関連した合併症を予防可能であったと考えられた。

第5章 結語

心臓・大血管手術中に経食道心エコー検査を施行した 1011 例の術中心エコー所見を検討し、11.4%に術中異常イベントを検出し、5.8%の症例に術式変更に影響する異常イベントを認めた。このことから、術中経食道心エコーは、様々な術式の心臓・大血管手術において手術の合併症を減少させ、術式に関する意思決定に影響を与える有益な情報を提供可能であると考えられた。

第6章 謝辞

稿を終えるにあたり、ご指導を賜った山口大学大学院器官病態内科学講座（第二内科）松崎益徳教授、山口大学医学部附属病院検査部 村田和也先生に感謝致します。また、術中経食道心エコーの検査および記録にご協力を頂きました同講座の田中申明先生、小野史朗先生、友近康明先生、刀禰尚先生、室愛子先生、國近英樹先生、藤野隆先生、岩立光生先生、谷川武人先生、上田佳代先生、久岡隆行先生、木村和美先生、原田希先生、劉金耀先生、澤陽子先生、赤川英三先生、橋本亮先生に感謝申し上げます。

第7章 参考文献

1. Matsumoto M, Oka Y, Strom J, Frishman W, Kadish A, Becker RM, et al. Application of transesophageal echocardiography to continuous intraoperative monitoring of left ventricular performance. *Am J Cardiol* 1980; 46(1): 95-105.
2. Beaupre PN, Kremer PF, Cahalan MK, Lurz FW, Schiller NB, Hamilton WK. Intraoperative detection of changes in left ventricular segmental wall motion by transesophageal two-dimensional echocardiography. *Am Heart J* 1984; 107(5 Pt 1): 1021-1023.
3. Dubroff JM, Clark MB, Wong CY, Spotnitz AJ, Collins RH, Spotnitz HM. Left ventricular ejection fraction during cardiac surgery: a two-dimensional echocardiographic study. *Circulation* 1983; 68(1): 95-103.
4. Matsuzaki M, Toma Y, Kusukawa R. Clinical Applications of Transesophageal Echocardiography. *Circulation* 1990;82:709-22.
5. Practice guidelines for perioperative transesophageal echocardiography. A report by the American Society of Anesthesiologists and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists Task Force on Transesophageal Echocardiography. *Anesthesiology* 1996; 84(4): 986-1006.
6. Shanewise JS, Cheung AT, Aronson S, Stewart WJ, Weiss RL, Mark JB, et al. ASE/SCA guidelines for performing a comprehensive intraoperative multiplane transesophageal echocardiography examination: recommendations of the American Society of Echocardiography Council for Intraoperative Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists Task Force for Certification in Perioperative Transesophageal Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 1999; 12(10): 884-900.
7. Eltzhig HK, Rosenberger P, Loffler M, Fox JA, Aranki SF, Shernan SK. Impact of intraoperative transesophageal echocardiography on surgical decisions in 12,566 patients undergoing cardiac surgery. *Ann Thorac Surg* 2008; 85(3): 845-852.
8. Abe S, Ono S, Murata K, Tomochika Y, Kimura K, Fujino T, et al. Usefulness of transesophageal echocardiographic monitoring in transluminal endovascular stent-graft repair for thoracic aortic

- aneurysm. *Jpn Circ J* 2000; 64(12): 960-964.
9. Sutton DC, Kluger R. Intraoperative transoesophageal echocardiography: impact on adult cardiac surgery. *Anaesth Intensive Care* 1998; 26(3): 287-293.
 10. Mishra M, Chauhan R, Sharma KK, Dhar A, Bhise M, Dhole S, et al, Kasliwal RR, Trehan N. Real-time intraoperative transesophageal echocardiography--how useful? Experience of 5,016 cases. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1998; 12(6): 625-632.
 11. Savage RM, Cosgrove DM. Systematic transesophageal echocardiographic examination in mitral valve repair: the evolution of a discipline into the twenty-first century. *Anesth Analg* 1999; 88(6): 1197-1199.
 12. Jebara VA, Mihaileanu S, Acar C, Brizard C, Grare P, Latremouille C, et al. Left ventricular outflow tract obstruction after mitral valve repair. Results of the sliding leaflet technique. *Circulation* 1993; 88(5 Pt 2): II30-34.
 13. Lee KS, Stewart WJ, Lever HM, Underwood PL, Cosgrove DM. Mechanism of outflow tract obstruction causing failed mitral valve repair. Anterior displacement of leaflet coaptation. *Circulation* 1993; 88(5 Pt 2): II24-29.
 14. Maslow AD, Regan MM, Haering JM, Johnson RG, Levine RA. Echocardiographic predictors of left ventricular outflow tract obstruction and systolic anterior motion of the mitral valve after mitral valve reconstruction for myxomatous valve disease. *J Am Coll Cardiol* 1999; 34(7): 2096-2104.
 15. Watanabe N, Ogasawara Y, Yamaura Y, Kawamoto T, Toyota E, Akasaka T, et al. Quantitation of Mitral valve Tenting in Ischemic Mitral Regurgitation by Transthoracic Real-Time Three-Dimensional Echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 2005 ;45 :763-9.
 16. Sugeng L, Shernan SK, Weinert L, Shook D, Raman J, Jeevanandam V, et al. Real-Time 3D Transesophageal Echocardiography in Valve Disease: Comparison With Surgical Findings and Evaluation of Prosthetic Valves. *J Am Soc Echocardiogr* 2008; 21: 1347-1357.
 17. Hirata K, Pulerwitz T, Sciacca R, Otsuka R, Oe Y, Fujikura K, et al. Clinical utility of new real time three-dimensional transthoracic echocardiography in assessment of mitral valve prolapse. *Echocardiography*

2008; 25(5): 482-488.

18. Masaki N, Iwatsuka R, Nagahori W, Ohno M, Arakawa T, et al. Three-dimensional echocardiography could distinguish a ventricular septal defect adjacent to asymptomatic ruptured sinus of Valsalva aneurysm. *Journal of Cardiology* 2008;51,139-143.
19. Ian J. Kallmeyer, Charles D. Collard, John A Fox, Simon C. Body, Stanton K Shernan. The Safety of Intraoperative Transesophageal Echocardiography: A Case Series of 7200 Cardiac Surgical Patients. *Anesth Analg* 2001;92:1126-30.