

特 集

経 食 道 心 エ コ ー
 ——開心術麻酔中のモニターとしての有用性——
 「冠動脈再建術」

加 藤 道 久*

1. はじめに

術中心筋虚血の検出には従来から心電図が主に用いられていたが¹⁾、近年麻酔科領域においても経食道心エコーが術中心筋虚血のモニターとして広く用いられるようになってきた。特に、冠動脈再建術では術中の局所壁運動異常 (Regional wall motion abnormality : RWMA) が術後心筋梗塞などの予後・合併症に大きく影響を与えるとされており²⁾、そのため冠動脈再建術では、術中の経食道心エコー法による連続的モニターが必須であり、術中患者管理を行う麻酔科医も経食道心エコーについての知識が要求されてくると思われる。

2. 心筋虚血の指標としての局所壁運動異常

Tennant ら³⁾ が1935年に左室心筋図を用いて冠動脈結紮の心筋収縮に及ぼす影響を詳細に報告して以来、数々の実験結果により冠動脈結紮後の局所壁運動異常が証明された。最近では、PTCA中の患者で冠動脈血流遮断の左室壁運動に及ぼす影響が調べられ、局所壁運動異常が12誘導心電図よりもより早く鋭敏な心筋虚血の指標であることが示された^{4,5)}。これらの所見は心筋虚血の検出には断層心エコー法が最も鋭敏な臨床的手段であることを示唆するものである。術中経食道心エコーの導入により、手術中に局所心筋血流の指標として局所壁運動を直接捉えることができるようになり、的確にかつ早期に術中の心筋虚血に対処可能となった。

3. 壁運動の評価

局所壁運動は、半定量的に normal, mild hypokinesis, severe hypokinesis, akinesis, dyskinesis の5段階に分けて評価される。Hypokinesis は心筋収縮が正常よりも弱く、一般的にゆっくりになり、壁厚増加も減少した状態をいう。Hypokinesis はその異常の程度に応じ、mild hypokinesis と severe hypokinesis に分けられる。Akinesis は壁運動が消失した状態を表し、即ち、収縮期の壁厚増加がなく心内膜の内方への運動もみられない状態である。Dyskinesis は内方運動をすべき収縮期の心筋の外方への異常運動と壁の菲薄化を意味する。分析は定量的方法も試みられているが、一般的には半定量的の評価であり、心内膜辺縁の動きと壁厚増加 wall thickening が視覚的に捉えられる⁶⁾。(表1) 新たに生じた局所壁運動異常は、いずれかの部分の壁運動が2段階あるいはそれ以上に増悪した場合と定義されている。

表1 Criteria for qualitative scoring of regional wall motion abnormality. (London M. J., Tubau J. F., Wong M. G., et al: The "natural history" of segmental wall motion abnormalities in patients undergoing noncardiac surgery. Anesthesiology. 73:644-655, 1990. より引用)

Grade	Endocardial excursion	Wall thickening
Normal	>30%	+++
Hypokinesis		
Mild	10~30%	++
Severe	<10%	+
Akinesis	Absent	Absent
Dyskinesis	Outward bulging	Systolic thinning

*徳島大学医学部附属病院集中治療部

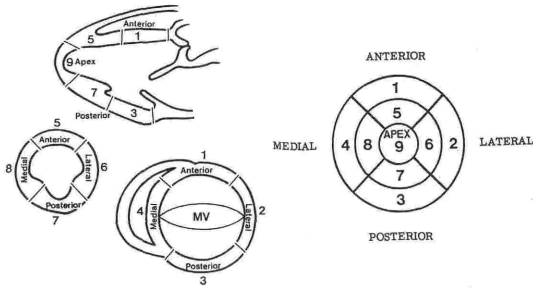


図1 Heger らによる左室セグメントの分類 (Heger J. J., Weyman A. E., Wann L. S., et al: Cross-sectional echocardiography in acute myocardial infarction: Detection and localization of regional left ventricular asynergy. Circulation 60:531-538. 1979. より引用)

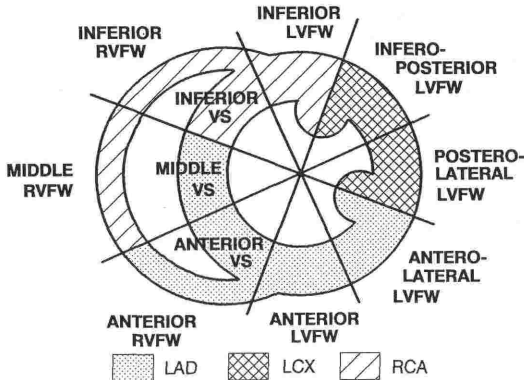


図2 乳頭筋レベル左室短軸像の模式図。左室は8つの部分に分けられる。典型的な3本の冠動脈の血流分布も示した。LVFW: 左室自由壁, RVFW: 右室自由壁, VS: 心室中隔, LAD: 左前下行枝, LCX: 回旋枝, RCA: 右冠動脈。

壁運動は心室のセグメント毎にそれぞれ評価されるが、セグメントの分け方としては Heger らの分類がある⁷⁾。(図1)しかしながら、術中絶えずプローブを動かして各断面を観察することは、連続的モニタリングの際には困難であり、Heger らは3本の冠動脈がそれぞれ灌流する心筋を含む乳頭筋レベルでの左室短軸像が心筋虚血に伴う局所壁運動異常のモニタリングに最も適した像であると示した。もちろん、乳頭筋レベルだけをモニタリングすることは、それ以外の部位に生じた局所壁運動異常を見落とす可能性があり⁸⁾、定期的にもた異常発生時には心尖部から心基部までを連

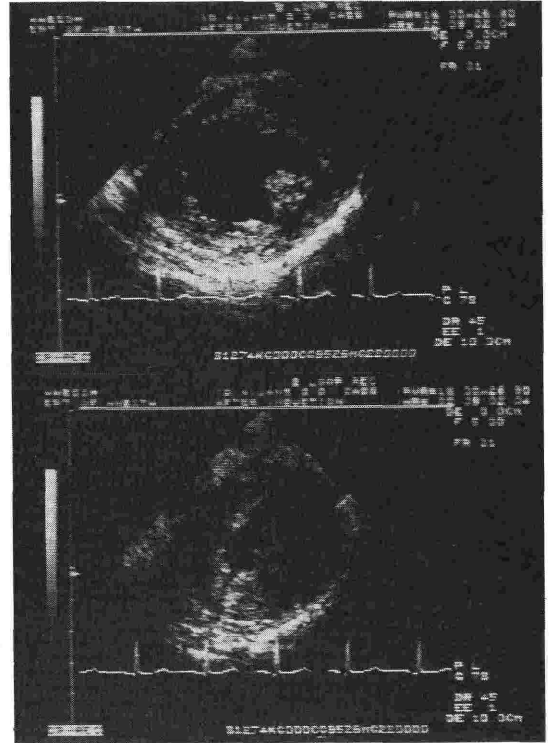


図3 症例: 麻酔導入後の左室短軸像。上段が拡張末期, 下段が収縮末期。局所壁運動異常は認められない。

続的に評価することも必要である。我々は American Society of Echocardiography (ASE) の分類に従い乳頭筋レベルでの左室短軸像を8つの部分に分けて評価を行っている⁹⁾。(図2)

4. 術中心筋虚血の検出

ここで症例を提示する。症例は56歳女性。前下行枝の狭窄にて左内胸動脈によるバイパス術が予定された。上段が拡張末期, 下段が収縮末期の左室短軸像である。麻酔導入後、局所壁運動異常は認められず、心機能は良好であった。(図3)しかしながら、体外循環離脱15分後 ST 低下の心電図変化とともに、矢印で示したように anterior septum から anterior wall にかけて severe hypokinesia をきたした。(図4)左内胸動脈グラフトのスパズムを疑い、直ちにニフェジピン舌下、ニトログリセリンの持続静注を開始したところ、壁運動および心電図変化の改善がみられた。この症例は術後合併症もなく、経過良好であった。(図5)



図4 症例：体外循環後の新たな局所壁運動異常 (矢印)。

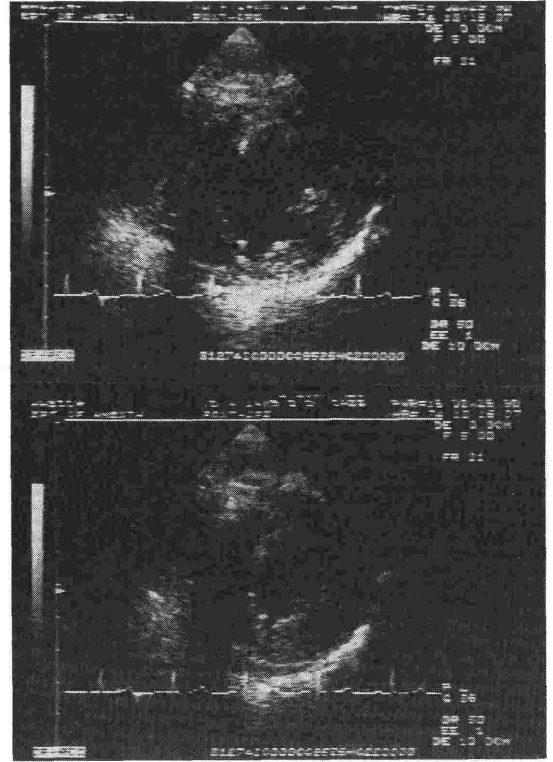


図5 症例：ニフェジピン，ニトログリセリン投与により局所壁運動異常は改善した。

5. 術中心筋虚血検出と術後心筋梗塞

アルバート・アインシュタイン医科大学で行なわれた経食道心エコーによる心筋虚血検出の頻度および術後心筋梗塞などの術後合併症との関連性を検討した結果を報告する¹⁷⁾。

方法：冠動脈再建術56症例を対象にした。食道疾患や弁膜症の診断を受けていたものは除外した。麻酔の導入・維持はスフェンタニール (25 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)，ジアゼパム (0.4 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) で行い，筋弛緩はベクロニウムまたはパンクロニウムを用いた。血圧コントロールのため，必要に応じイソフルレンを投与した。麻酔導入後，経食道心エコープローブ (5 MHz, PEF-511SA, 東芝) を挿入，乳頭筋レベルの左室短軸像を術中連続的に観察し，約15分毎に VHS テープに録画した。同時に，心電図，心拍数，動脈圧，拡張期肺動脈圧，心拍出量を測定・記録した。

左室を8セグメントに分割し，それぞれ局所壁

運動を半定量的に(1)normal, (2)mild hypokinesis, (3)severe hypokinesis, (4)akinesis, (5)dyskinesis の5段階に評価した。心筋虚血の指標としての局所壁運動異常は，いずれかのセグメントの壁運動が2段階あるいはそれ以上増悪した場合と定義した。心電図変化は J ポイントから 60 msec での 0.1 mV 以上の ST 低下か，J ポイントでの 0.2 mV 以上の ST 上昇とした。術後心筋梗塞は $\text{CK}\geq 700 \text{ U/L}$ ， $\text{CK-MB}\geq 7\%$ ，12誘導心電図にて診断した。

結果：56症例中，6症例は乳頭筋レベルでの左室短軸像が不鮮明なため除外された。冠動脈再建術50例中 (男性27例，女性23例)，17例 (34%) に21回の局所壁運動異常を認めた。体外循環前に4例に4回の，体外循環後に15例に17回の局所壁運動異常を認めた。一方19例に20回の心電図変化を認め，3回は体外循環前に，17回は体外循環後に認めた。14例は局所壁運動異常と心電図変化の両方が検出された。局所壁運動異常はどのセグメ

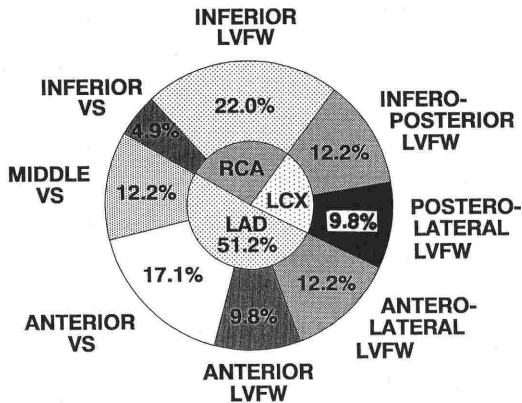


図6 Schematic diagram of the spatial distribution of newly developed intraoperative ischemia.

ントにも生じたが, inferior wall が最も多かった。(図6)

体外循環後に局所壁運動異常を認めた15例中6例に術後合併症をきたした。そのうち4例は術後心筋梗塞, 1例は術後7日目に心室性不整脈, 心原性ショック, MOF にて死亡, 他の1例は心室性頻拍にて術後3日目に突然死した。冠動脈に血栓を認め, これが原因と考えられた。この症例を術後心筋梗塞に含めて, 術後心筋梗塞と局所壁運動異常および心電図変化との関連をみると, 両者とも体外循環後後のみ関連性を認めた。(表2)

術中心筋虚血の診断により, 外科医および麻酔科医の判断により, 適切な処置が講じられた。体

表2 The relationship between intraoperative ischemic episodes and postoperative myocardial infarction.

myocardial infarction		pre-CPB ischemia		post-CPB ischemia	
		TEE	ECG	TEE	ECG
+	5	0	0	5	5
-	45	4	3	10	12
Fisher's exact test		NS	NS	P<0.005	P<0.005

外循環後の局所壁運動異常を認めた15例に対し, 3例は左内胸動脈グラフトに替え伏在静脈グラフトの追加, 1例は右冠動脈に新たに伏在静脈グラフトを追加, 9例には IABP 挿入, 3例にはニフェジピンの舌下投与, 13例にはニトログリセリン投与が行なわれた。これらの処置により手術終了時には15例中11例で局所壁運動異常の改善が認められた。局所壁運動異常が改善した症例のなかに, 合併症をきたした6例が含まれていた。局所壁運動異常の改善が認められなかった4例には特に術後合併症は生じなかった。(表3)

局所壁運動の評価は術後再度行い, その信頼性を確かめた。一致率は87%, 2段階以上異なるものは1%の頻度であった。また, 観察者間の相違についても評価を行い, 一致率は81%, 2段階以上異なるものは2%の頻度であった。(表4)

考察: 術中の局所壁運動異常と術後合併症の関連性について述べた Leung らの報告²⁾ によれば, 50例の冠動脈再建術患者で, 経食道心エコーと2

表3 The postoperative cardiac complications and intraoperative ischemic episodes.

Pt#	Ischemic episodes			Treatments				Improvement		Postoperative cardiac complications			
	TEE		ECG	NTG	NIF	IABP	Graft	+/-	+/-	Death	MI	CK: MB%	ECG
	pre-CPB	post-CPB											
#8	I, IS, MS	MS, AS	+	NTG		IABP	Graft	-/+	+				
#49		IP, PL, AL, A	+	NTG		IABP		+	-	+			
#26		IP, PL, AL	+	NTG		IABP	Graft	+	-	+	1134:20%		anterolateral
#31		I, IP	+	NTG	NIF	IABP		+	-	+	1100:7%		inferior
#45		I, I	+				Graft***	+	+	+	764:9%		anterolateral
#46		IP, PL	+	NTG		IABP		+	-	+	1554:15%		inferolateral
#2		AS	-	NTG	NIF			+					
#6	AS	MS	-	NTG		IABP		+					
#15	PL, AL		+	NTG		IABP		+	-				
#19		AL, A	+	NTG	NIF	IABP	Graft	+	+				
#25		AL, A, AS	+	NTG				+	+				
#28	A, AS		-	NTG				+					
#34		I	+	NTG				-	-				
#41		AS, MS, IS, I	+	NTG				+	-				
#43		I	+					-	-				
#48		AS, MS	+	NTG				+	V. Pacinq				
#50		I, IP, I	+	NTG		IABP		-	LBBB				

*: died of ventricular arrhythmia, cardiogenic shock, sepsis, and acute renal failure on POD #7.
 **: died of fatal ventricular tachycardia on POD #3. His sequential graft to the first diagonal and left anterior descending artery noted to be thrombosed. Thrombectomy was performed at bedside, but resuscitation was not successful.
 NTG: nitroglycerine, NIF: nifedipine, IABP: intra-aortic balloon pumping, Graft: left internal mammary artery was changed to a saphenous vein graft. ***: added a vein graft to right coronary artery.
 I: inferior left ventricular free wall (LVFW), IP: inferoposterior LVFW, PL: posterolateral LVFW, AL: anterolateral LVFW, A: anterior LVFW, AS: anterior ventricular septum (VS), MS: middle VS, IS: inferior VS.

表4 The intraobserver and interobserver variability.

INTRAOBSERVER VARIABILITY

	NORMAL	MILD HYPOKINESIS	SEVERE HYPOKINESIS	AKINESIS	DYSKINESIS
	NORMAL	1617	58	2	0
MILD HYPOKINESIS	131	229	9	2	0
SEVERE HYPOKINESIS	7	62	92	3	0
AKINESIS	1	1	22	37	2
DYSKINESIS	0	0	0	1	9

Intraobserver accuracy was 87%and its concordance was 99%.

INTEROBSERVER VARIABILITY

	NORMAL	MILD HYPOKINESIS	SEVERE HYPOKINESIS	AKINESIS	DYSKINESIS
	NORMAL	808	38	1	0
MILD HYPOKINESIS	98	48	14	0	0
SEVERE HYPOKINESIS	17	30	53	0	0
AKINESIS	0	3	11	0	0
DYSKINESIS	0	0	0	0	0

Intraobserver accuracy was 81%and its concordance was 98%.

誘導の Holter 心電図を用いて研究を行い、周術期の心筋虚血検出の頻度は体外循環前が心エコーで20%、心電図で7%、体外循環後は心エコーで36%、心電図で25%、そして ICU では心エコーで25%、心電図で16%であった。そして、体外循環後の経食道心エコーによる心筋虚血のみが術後の合併症と関連があったとした。一方、ハイリスクな非開心術156例で、London ら⁶⁾ は経食道心エコーの左室短軸像と12誘導心電図を連続的に記録し、術中心筋虚血の頻度を調べた。新たな局所壁運動異常は20%に見られたが、血管外科手術中に生じた局所壁運動異常は術後合併症とは関連が認められなかった。今回の冠動脈再建術症例50例の検討では体外循環後の局所壁運動異常および心電図における ST 変化はともに術後心筋梗塞などの術後合併症と関連のあることが認められた。心電図の ST 変化と局所壁運動異常の診断は必ずしも一致しないことが示されており¹⁰⁾、Leung らの報告では心電図変化は術後合併症と関連が無いとされたのかもしれない。いずれにしても、体外循環後は心筋虚血発生の最も危険な時期であり、経食道心エコーによる局所壁運動異常の有無は術後心筋梗塞などの合併症の予測に優れていると思われる。

今回、術中局所壁運動異常に対し積極的治療が

なされ、伏在静脈グラフトの追加や IABP の挿入などの処置を講じ、局所壁運動異常が改善したにもかかわらず、術後心筋梗塞を起こした症例が5例あった。この原因について考えられることは、(1)他のレベルでの病変を見落としていたのか。乳頭筋レベル左室短軸像では観察できない心基部や心尖部での病変が主であったため、まだ完全には改善しておらず、病変が残存しているのを見落とした可能性がある。Shah ら⁸⁾ は biplane probe を使い、35%が心基部や心尖部の病変であったと報告している。今回の症例では、5例中4例で、術後心筋梗塞の部位と局所壁運動異常の部位の一致を見ていたので、比較的可能性としては高くないと思われる。(2)収縮力・負荷状態の変化。カテコラミンなどの薬剤により、また IABP などの機械的補助により収縮力・負荷状態が変化すると局所壁運動異常を過少評価することがある¹²⁻¹⁴⁾。すなわち、周辺が Hyperkinesis になり akinesis を severe hypokinesis と診断することもありうる。逆に、tethering effect により境界領域の収縮が傷害されて、局所壁運動異常を過大評価することもある。(3)ICU において25%の患者に局所壁運動異常を認めた Leung ら²⁾ の報告から考えると ICU にての新たな発生も否定できないと思われる。(4)局所壁運動異常診断の信頼度。Abel

ら¹¹⁾が1987年に発表した報告では、2段階以上異なる評価の頻度は同一観察者で1.1%、観察者間で2.5%であり、今回の検討とほぼ同じ頻度であった⁶⁾。よい相関が得られているが、数%の頻度で2段階以上の差があり診断を誤る可能性があり、注意深い観察、複数の観察者による確認が必要となってくる。逆に、体外循環後、冠動脈再建術が成功したにもかかわらず、体外循環後に局所壁運動異常が生じることがあるが、これは血流の再開にもかかわらず壁運動異常が持続する stunned myocardium のような機構が考えられる。

6. 終わりに

以上、冠動脈再建術中の経食道心エコー法について、特に局所壁運動異常の検出について述べた。冠動脈再建術における経食道心エコーのモニターとしての有用性については、1.局所壁運動異常の検出、2.左心機能の評価、3.僧帽弁逆流の評価、4.心筋コントラストエコー法などが考えられる。左心機能の評価としては、MモードやBモード法による左室拡張末期容積の測定、左室駆出率の測定などがあげられる¹⁵⁾。僧帽弁逆流の評価については、特に術前より局所壁運動異常の認める症例では、体外循環後の僧帽弁逆流の増悪に注意しなければならない¹⁶⁾。心筋コントラストエコー法は冠動脈やグラフトに直接 microbubble を注入することにより心筋輝度の増加として心筋血流を可視化する方法であり、手術効果の判定のため冠動脈再建術中にも試みられるようになってきたが、侵襲的であるため、今後経静脈投与が可能なコントラスト剤の開発されることによりその術中応用がさらに進むと期待されている。

参考文献

- 1) Slogoff, S., Keats, A. S.: Does perioperative myocardial ischemia lead to postoperative myocardial infarction? *Anesthesiology* 62:107-114, 1985.
- 2) Leung, J. M., O'Kelly, B., Browner, W. S., et al.: Prognostic importance of postbypass regional wall-motion abnormalities in patients undergoing coronary artery bypass graft surgery. *Anesthesiology*. 71:16-25, 1989.
- 3) Tennant, R., Wiggers, C. J: The effect of coronary occlusion on myocardial contraction. *Am J Physiol*. 112:351-361, 1935.
- 4) Hauser, A. M., Gangadharan, V., Ramos, R. G., et al.: Sequence of mechanical, electrocardiographic and clinical effects of repeated coronary artery occlusion in human beings: echocardiographic observations during coronary angioplasty. *J Am Coll Cardiol*. 5:193-197, 1985.
- 5) Wohlgelemer, D., Jaffe, C. C., Cabin, H. S., et al.: Silent ischemia during coronary occlusion produced by balloon inflation: relation to regional myocardial dysfunction. *J Am Coll Cardiol*. 10: 491-498, 1987.
- 6) London, M. J., Tubau, J. F., Wong, M. G. et al.: The "natural history" of segmental wall motion abnormalities in patients undergoing noncardiac surgery. *Anesthesiology*. 73:644-655, 1990.
- 7) Heger, J. J., Weyman, A. E., Wann, L. S., et al.: Cross-sectional echocardiography in acute myocardial infarction: Detection and localization of regional left ventricular asynergy. *Circulation* 60: 531-538. 1979.
- 8) Shah, P. M., Kyo, S., Matsumura, M., et al.: Utility of biplane transesophageal echocardiography in left ventricular wall motion analysis. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 5:316-319, 1991.
- 9) Henry, W. L., DeMaria, A., Feigenbaum, H., et al.: Report of the American Society of Echocardiography committee on nomenclature and standards: Identification of myocardial wall segments. 1982.
- 10) Nomura, M., Utida, K., Ashikari, E., et al.: Detection of myocardial ischemia by electrocardiography and transesophageal echocardiography. *Circ Cont*. 13:427-431, 1992.
- 11) Abel, M. D., Nishimura, R. A., Callahan, M. J., et al: Evaluation of intraoperative transesophageal two-dimensional echocardiography. *Anesthesiology*. 66:64-68, 1987.
- 12) Ross, J.: Assessment of ischemic regional myocardial dysfunction and its reversibility. *Circulation* 74:1186-1190, 1986.
- 13) Kerber, R. E., Abboud, F. M., Marcus, M. L., et al.: Effect of inotropic agents on the localized dyskinesia of acutely ischemic myocardium; An experimental ultrasound study. *Circulation* 49: 1038-1046, 1974.
- 14) 藤井諄一, 澤田 準, 久保木正夫, 他: 超音波心断層法による心筋梗塞症の Asynergy の定性的・定量的評価. 呼と循 30: 301-308, 1982.
- 15) 加藤道久, 丘 やす: 術中経食道心エコー, 心機能の評価. 臨床麻酔 15: 1297-1304, 1991.
- 16) Kato, M., Oka, Y.: Evaluation of mitral regurgitation during coronary artery bypass surgery by transesophageal color Doppler imaging. *Circ Cont*. 13:145-151, 1992.
- 17) Kato, M., Nakashima, Y., Levine, J., et al.: Does transesophageal echocardiography improve postoperative outcome in patients undergoing coronary artery bypass surgery? *J Cardiothorac Vasc Anesth* 7:285-289, 1993.