

心不全時における左房駆出
動態：経食道ドップラー心
エコー図法による検討

Left atrial ejection per-
formance in heart
failure as assessed by
transesophageal Doppler
echocardiography

竹内陽史郎
横田 慶之
津村 泰弘
中谷 眞
川合 宏哉
志手 淳也
福崎 恒

Yoshio TAKEUCHI
Yoshiyuki YOKOTA
Yasuhiro TSUMURA
Makoto NAKATANI
Hiroya KAWAI
Junya SHITE
Hisashi FUKUZAKI

Summary

To investigate the left atrial ejection performance in heart failure, we observed both the trans-mitral (TMF) and pulmonary venous flow waves (PVF) by transesophageal Doppler echocardiography in 20 patients with heart failure (16 males, 4 females, 56 ± 13 years old). In 7 of 20 patients, pul-monary capillary wedge pressures (PC) were also obtained within 72 hours after the transesophageal Doppler echocardiographic examinations. A reversal flow on PVF during atrial systole (atrial backward ejection flow) was observed in all of the 20 patients. Corrected atrial pre-ejection period correlated significantly with PC ($r = -0.76$, $p < 0.05$), indicating that the period was shortened in accordance with left atrial Starling's law. This period correlated significantly with both the duration and the time velocity integral of atrial backward flow ($r = -0.72$, $p < 0.005$; $r = -0.55$, $p < 0.05$, respectively), but not with the atrial ejection time nor with the time velocity integral of atrial systole. These results suggest that in some cases of heart failure, left atrial contractile function is preserved despite the marked augmentation of left atrial afterload, resulting in a decrease of the left atrial forward ejection and an increase of the left atrial backward ejection.

Thus, the observations of TMF and PVF by transesophageal Doppler echocardiography are useful for assessing the left atrial ejection performance in patients with heart failure.

Key words

Left atrial backward ejection
Left atrial systolic time intervals

Left atrial function

Transesophageal Doppler echocardiography

神戸大学医学部 第一内科
神戸市中央区楠町 7-5-1 (〒650)

The First Department of Internal Medicine, Kobe
University School of Medicine, Kusunoki-cho 7-5-
1, Chuo-ku, Kobe 650

Received for publication December 27, 1990; accepted April 3, 1991 (Ref. No. 37-PS17)

序 文

虚血心や肥大心などの心機能障害を有する患者において, 左房 booster pump 機能の亢進は心拍出量の維持に重要であると考えられている¹⁻³⁾が, 高度な左室機能障害例では, しばしばその破綻が報告されている⁴⁻⁶⁾. しかしながら, この booster pump 機能の破綻が果たして左房収縮能の低下に基づくか否かの検討は数少なく, いまだ

結論をみていない⁷⁾. 今回我々は心不全患者における左房駆出動態を知るため, 経食道ドップラー心エコー図法を用い, 僧帽弁輪部左室流入血流速波形および肺静脈血流速波形より, 左房駆出動態を評価した.

対象と方法

対象は洞調律の心疾患 20 例(男 15 例, 女 5 例, 平均年齢 56.6±13.3 歳), 内訳は拡張型心筋症 8

Table 1. Clinical profile, Doppler and hemodynamic variables of subjects

No.	Name	Age (yrs)	Sex	Diagnosis	NYHA	TMF			PVF		Hemo-dynamics
						APEPc	AET (msec)	IA (cm)	AbT (msec)	IAb (cm)	PC (mmHg)
1	Y. T.	65	M	DCM	III	0.96	110	2.2	109	0.6	9
2	O. K.	42	M	DCM	II	1.13	136	3.4	36	0.3	3
3	H. T.	68	M	DCM	II	0.80	148	3.9	136	1.1	
4	K. S.	45	M	DCM	II	0.76	156	4.1	69	0.4	
5	O. S.	48	F	DCM	III	0.79	103	2.3	87	0.4	
6	H. S.	63	M	HCM	II	0.89	144	2.8	123	0.9	6
7	M. T.	66	M	HCM	II	0.65	206	3.2	116	1.2	15
8	G. K.	65	M	HCM	II	0.69	120	2.6	151	1.5	
9	U. M.	57	F	HCM	II	0.58	124	1.6	169	1.9	
10	F. S.	68	F	OMI	III	0.83	122	2.1	119	0.9	
11	Y. K.	70	M	HCM	II	0.70	164	4.5	115	1.1	
12	S. K.	77	M	HCM	III	0.88	112	4.6	109	0.8	
13	Y. K.	62	F	AS	II	0.74	125	2.1	170	2.0	10
14	I. K.	63	M	AS	II	0.74	150	4.9	138	1.3	15
15	K. T.	51	M	DCM	I	0.96	145	2.4	91	0.5	
16	S. J.	65	M	DCM	II	0.68	140	4.1	158	4.2	
17	U. M.	64	F	DCM	II	0.72	183	4.1	113	0.4	
18	T. I.	62	M	HCM	II	0.69	122	3.0	140	1.6	
19	N. T.	22	M	HCM	II	0.71	144	3.2	145	2.5	7
20	S. R.	38	M	HCM	II	0.70	99	1.4	172	3.2	
M		58				0.78	138	3.1	123	1.3	9.3
SD(±)		13				0.13	27	1.0	35	1.0	4.5

TMF=transmitral flow; PVF=pulmonary venous flow; NYHA=New York Heart Association functional class; APEPc=corrected atrial pre-ejection period; AET=atrial ejection time; IA=time velocity integral of atrial systole; AbT=atrial backward ejection time; IAb=time velocity integral of atrial backward ejection flow; PC=pulmonary capillary wedge pressure; DCM=dilated cardiomyopathy; HCM=hypertrophic cardiomyopathy; OMI=old myocardial infarction; AS=aortic stenosis; M=mean; SD=standard deviation.

例, 肥大型心筋症 9 例, 陳旧性心筋梗塞 1 例, 大動脈弁狭窄症 2 例で, いずれも著明な弁逆流を認めた例はなかった (Table 1). また, これら 20 例の NYHA 心機能分類重症度は I° 1 例, II° 15 例, III° 4 例であった. 使用装置は ALOKA 製 SSD 870 および経食道専用プローブ UST 5228S-5 を用い, 二次元カラー断層図観察下にドップラーフィルター 200 Hz, ペーパースピード 100 mm/sec で僧帽弁輪部および肺静脈血流速度波形を記録し, 以下のパルス・ドップラー諸指標の計測を行なった. すなわち, 十分な前処置 (咽頭麻酔および鎮静剤投与) を行なった後, 患者を左側臥位とし経食道プローブを挿入, 血圧, 脈拍数

が安定した (約 5 分) 後に僧帽弁輪部に sample volume を置き, 僧帽弁輪部パルス・ドップラー血流速度波形 (TMF) を記録, 引き続き左上肺静脈を描出し, 肺静脈の左房開口後部より約 2 cm 上流に sample volume を置き, 肺静脈血流速度波形 (PVF) を記録⁸⁾ し, TMF より Abe ら⁹⁾ の方法に基づき左房前収縮期時間を心電図 P 波幅で除して補正した修正左房前収縮期時間 (APEPc), 心房駆出時間 (AET) および心房収縮期波の時間速度積分 (IA) を求め, PVF より心房収縮期逆行波の持続時間 (AbT) およびその時間速度積分 (IAb) を求め, それぞれ APEPc を左房前駆出期の指標, AET, IA を左房前方駆出の指標,

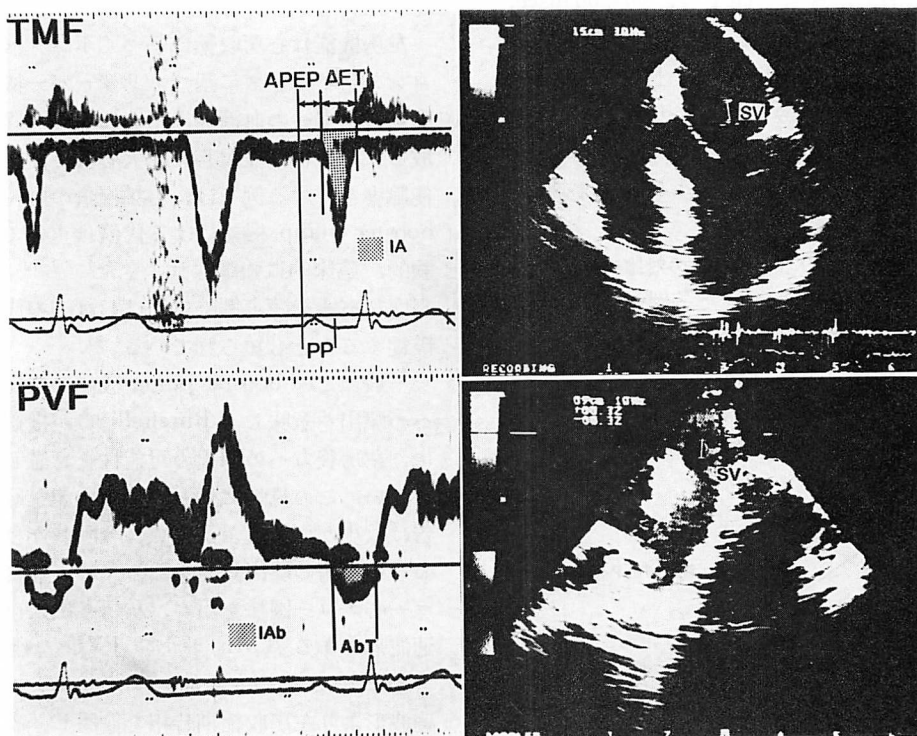


Fig. 1. Measurements of Doppler indexes.

Upper panels: pulsed Doppler echocardiogram of transmitral flow (left) and its sample site (right) by transesophageal echocardiography, lower panels: pulsed Doppler echocardiogram of pulmonary venous flow (left) and its sample site (right) by transesophageal echocardiography.

APEP=atrial pre-ejection period; PP=ECG P wave duration; SV=sample volume.

Other abbreviations: see Table 1.

AbT, IAb を左房後方駆出の指標として用いた (Fig. 1). またこれら 20 例中 72 時間以内に右心カテーテルが施行された 7 例では, 平均肺動脈楔入圧 (PC) と経食道ドップラー心エコー図諸指標とを対比検討した.

各計測値は 5 心拍の平均を用い, すべてのドップラー記録は半呼気位にて記録した. 統計学的には一次回帰を用い, $p < 0.05$ をもって有意とした.

結 果

1. ドップラー指標の計測値

対象 20 例のドップラー指標の計測値を Table 1 に示す. 左房前駆出期指標である APEPc は 0.65-1.13, 平均 0.78 ± 0.13 であった. また, 左房前方駆出指標である AET は 99-206 msec, 平均 138 ± 27 msec, IA は 1.4-4.9 cm, 平均 3.1 ± 1.0 cm であった. 全例で PVF 上心房収縮期に逆行波が観察可能であり, これより算出した左房後方駆出指標である AbT は 69-172 msec, 平均 123 ± 35 msec, IAb は 0.3-4.2 cm, 平均 1.3 ± 1.0 cm であった.

2. 血行動態とドップラー指標との対比

右心カテーテルの施行された 7 例では, APEPc は左房前負荷の指標である PC と負の相関を示した ($r = -0.76, p < 0.05$) (Fig. 2).

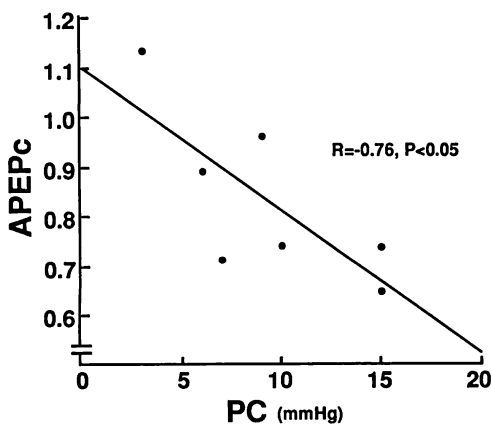


Fig. 2. Correlation between APEPc and PC. Abbreviations: see Table 1.

3. APEPc と左房前方駆出との対比

20 例全例において, APEPc は左房前方駆出指標 (AET, IA) とは有意な相関を示さなかったが (Fig. 3), 左房後方駆出指標である AbT, IAb とはそれぞれ $r = -0.72, p < 0.005, r = -0.55, p < 0.05$ と良好な負の相関を示した (Fig. 4).

4. 代表例 (Fig. 5)

症例は 38 歳の肥大型心筋症の男性である. 本例では左房前駆出期指標である APEPc は 0.70 と短縮していた. 一方, 左房前方駆出指標である AET, IA はむしろ低値で, 左房収縮能と前方駆出間に解離が見られた. しかしながら左房後方駆出指標の IAb, AbT は著明に増大していた.

考 按

左房機能は心房収縮に基づくポンプ機能, 心房コンプライアンスに基づくリザーバー機能, 肺静脈から左室への血液通過路としての導管機能より成る¹⁰⁻¹². 特に虚血心や肥大心など, 左室拡張機能障害を有する例では, 心拍出量の維持に左房の booster pump 機能による代償は重要であると実験的, 臨床的に強調されてきた^{1-7,9-12}. しかし, 高度左室機能障害例ではしばしばその代償機能が破綻することも知られている⁴⁻⁶.

一般にこの booster pump 機能は左房から左室への駆出を意味し, Burchell¹³ が指摘したように, 左房後方への駆出の可能性を考慮したのではない. この見地に立ち, 左房機能を評価した報告は数少ない. したがって, 今回我々は不全心における左房の駆出動態を知るため, 経食道ドップラー心エコー図法を用い, 左房の出入口部の血流速波形である TMF および PVF を観察した.

Abe らは僧帽弁輪部パルス・ドップラー血流速波形より左房収縮期時相を検討し, 高血圧心では Starling 機序により APEPc の短縮, AET の増大を観察した⁹. 一方, 本研究にて対象とした心不全例では, APEPc の短縮が見られたにもかかわらず, AET は必ずしも増大を示さず, これは左房後負荷のためと考えられる. 我々は既報に

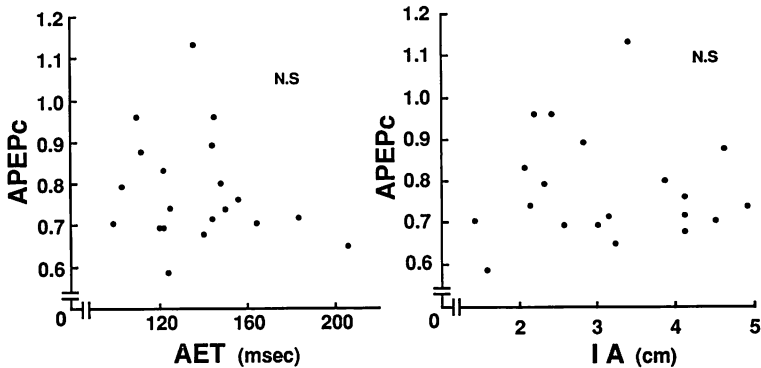


Fig. 3. Correlation between APEPc and AET or IA.
Abbreviations : see Table 1.

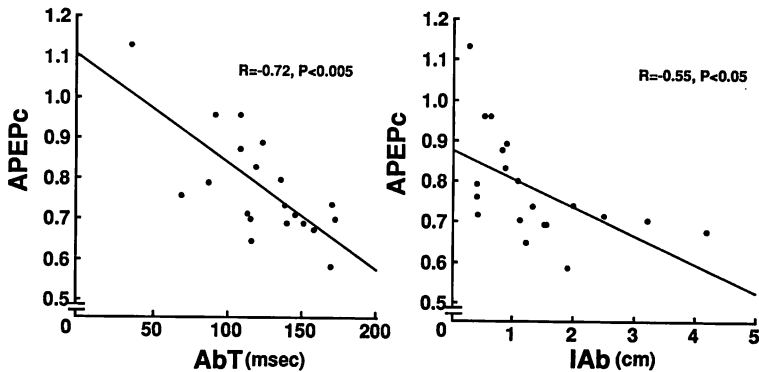


Fig. 4. Correlation between APEPc and AbT or IAb.
Abbreviations : see Table 1.

て、この APEPc は左房前駆出期（左室でいえば等容収縮期）時相の指標のため、比較的後負荷の影響を受けにくい左房収縮能の指標であり、左房の Starling 機序を介し短縮することを指摘した⁷⁾。

今回の研究結果は、心不全例において左房収縮能の指標である APEPc の延長は必ずしも見られず、左房収縮能が保持されていることを示す。しかしながら、左房 booster pump 機能である AET, IA は低下しており、APEPc との間に解離が見られた。

Braunwald ら¹³⁾は肥大心において、左室拡張

末期圧が平均肺動脈楔入圧を凌駕していることを指摘した。また、Nahas ら¹⁴⁾は心房中隔欠損症および部分肺静脈還流異常症例で、心房収縮期に肺静脈-左房圧較差が一過性に逆転することを報告しており、心房収縮能の亢進した不全心例でも左室拡張末期圧（前方抵抗）が肺静脈圧（後方抵抗）より高い場合が存在すると考えられる。さらに左房は解剖学的に心房収縮期に閉鎖系ではなく左室のみならず肺静脈へと開放しており、左房駆出は左室流入血流速波形に表現される前方駆出のみではなく、肺静脈血流速波形上の後方駆出としても表現され得ると思われる。

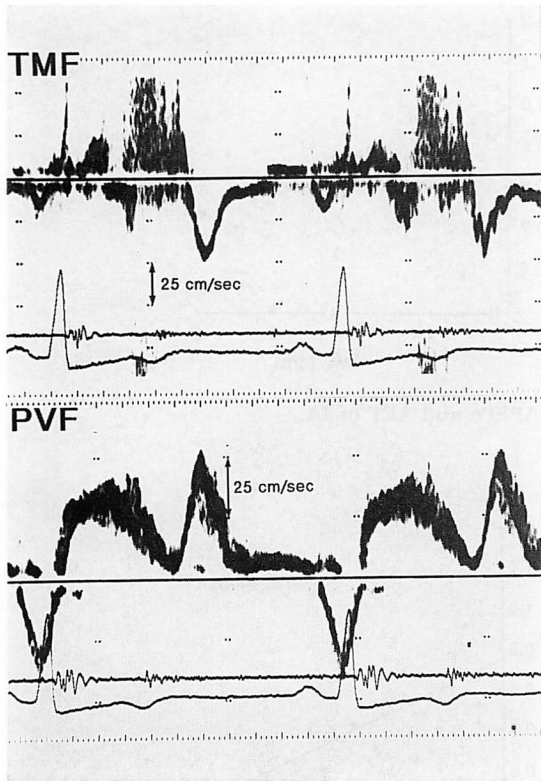


Fig. 5. Pulmonary venous and transmitral Doppler echocardiograms in a case with hypertrophic cardiomyopathy (38-year-old man).

Typical left atrial backward ejection flow was observed on pulmonary venous echocardiogram.

Abbreviations: see Table 1.

今回我々の検討において、左房収縮能の指標である APEPc は左房前方駆出指標と相関せず、左房後方駆出指標と良好な負の相関を示した。これは左室拡張末期圧の高度上昇例では、左房前方駆出指標に比し、より低圧系の肺静脈への後方駆出指標が左房自体の収縮能をより良好に反映するためと思われた。

このように左房は心房収縮期に前・後両方向に開放するという解剖学的特質を有し、しかも心不全病態により左房の駆出動態は大きく影響されるため、特に不全心では亢進した左房後負荷により前方駆出が減少し、後方駆出が増大するものと考

えられた。

1. APEPc の問題点

APEPc は Abe ら⁹⁾が初めて報告した指標であり、我々⁷⁾は本指標が、臨床上、左房収縮能の有用な一指標であることを報告した。我々が報告したごとく、APEPc は左房の pressure rising time を反映して短縮するものと思われる。しかし、パルス・ドップラー心エコー図法による APEPc の評価は low cut-off filter によりその値が左右される可能性があり、しかもその再現性に関する報告もなされていない。しかし、今回はドップラーフィルターを 200 Hz と一定にし、高い S/N 比を有する経食道心エコー図法を使用することにより、計測誤差の少ない、より明瞭な記録を得られるように努めた。またこの指標の intra-および interobserver variance はそれぞれ % 誤差が 5%, 8% であり、臨床的には再現性のあるものと考えられる。しかも本指標は非観血的に得られる心房収縮能の指標であり、従来左房機能の指標とされていた左房前方駆出の指標に比し、左房自体の収縮能をよりよく反映するという点で優れている。

2. 臨床的展望

1. 左房機能の評価

従来、左房の後方駆出はその存在を推定されつつも^{8,13)}、いわゆる肺静脈周囲の括約筋構造、myocardial sleeve の存在¹⁴⁾により临床上無視され得ると考えられてきた¹⁵⁾。しかし、今回の研究にて指摘したごとく、左房の代償性収縮能増大にもかかわらず、前方駆出が増大しない場合が存在し、今後、左房機能を論ずる場合には、左房前方駆出機能のみならず、後方駆出を考慮する必要がある。

2. 肺鬱血の機序

従来、左室前負荷の増大、カテコラミンの増大、頻脈の出現等、いわゆる心不全の代償機序が逆に悪循環につながっていることは良く知られているが、左房にもこの問題が当てはまる可能性があることを示した点で本研究は意義深い。特にこ

の心不全例での左房後方駆出の増大は、拡張末期の流入不全で生じる肺鬱血の増悪機序に一部重要な役割を果たしている可能性があり、今後の研究が待たれる。

結 語

心不全患者の左房駆出動態には左房前方駆出のみでなく、後方駆出も考慮にいれるべきと思われた。また、心不全患者の左房駆出動態の理解には、経食道ドップラー心エコー図法による僧帽弁輪部左室流入および肺静脈血流両者の観察が重要と思われた。

要 約

心不全患者における左房駆出動態を知るため、20例の心疾患患者に経食道ドップラー心エコー図法を行なった。僧帽弁輪部パルス・ドップラー血流速度波形(TMF)より得られた左房収縮能指標である修正左房前収縮期時間(APEPc)は、左房前方駆出指標であるTMF上の左房駆出時間(AET)および左房収縮期波の時間速度積分(IA)のいずれとも相関を示さなかった。しかし左房入口部の血流速度波形である肺静脈血流速度波形において、その心房収縮期逆行波の持続時間(AbT)およびその時間速度積分(IAb)と、それぞれ $r = -0.72$, $r = -0.55$ の相関を示した。心房収縮期には左房は前方(左室)のみならず後方(肺静脈)と交通しているため、心不全患者においては左房後方負荷により左房の代償性機能亢進が見られていても、必ずしも左房前方駆出となって表わされず、より低圧系の肺静脈への駆出が増大するものと思われた。すなわち、心不全患者の左房駆出動態の理解には、左房前方駆出のみならず、左房後方駆出も考慮にいれるべきと考えられ、経食道ドップラー心エコー図法による僧帽弁輪部左室流入波、および肺静脈血流波の両者の観察が重要と思われた。

文 献

- 1) Benchimol A: Significance of the contribution of atrial systole to cardiac function in man. *Am J Cardiol* **23**: 568-572, 1969
- 2) Rahimtoola SH, Ehsani A, Sinno MZ, Loeb HS, Rosen KM, Gunner RM: Left atrial transport function in myocardial infarction: Importance of its booster pump function. *Am J Med* **59**: 686-694, 1975
- 3) Matsuda Y, Toma Y, Ogawa H, Matsuzaki M, Katayama K, Fujii T, Yoshino F, Moritani K, Kumada T, Kusukawa R: Importance of left atrial function in patients with myocardial infarction. *Circulation* **67**: 566-571, 1983
- 4) Appleton CD, Hatle LK, Popp RL: Relation of transmitral flow velocity patterns to left ventricular diastolic function: New insights from a combined hemodynamic and Doppler echocardiographic study. *J Am Coll Cardiol* **12**: 426-440, 1988
- 5) Toeda T: Atrial contribution to ventricular filling in patients with coronary artery disease as assessed by cardiac pacing. *Jpn Circ J* **50**: 385-395, 1986
- 6) Sasayama S, Takahashi M, Osakada G, Hirose K, Hamashima H, Nishimura E, Kawai C: Dynamic geometry of the left atrium and left ventricle in acute mitral regurgitation. *Circulation* **60**: 177-186, 1979
- 7) Takeuchi Y, Yokota Y, Miki T, Tsumura Y, Nakatani M, Ueno H, Nomura H, Usuki S, Emoto R, Fukuzaki H: Left ventricular filling dynamics during atrial contraction in dilated cardiomyopathy: Assessment by angiotensin II loading echocardiography. *Jpn J Med Ultrasonic* **17**: 605-611, 1990 (in Japanese)
- 8) Nishimura RA, Abel MD, Hatle LK, Tajik AJ: Relation of pulmonary vein to mitral flow velocities by transesophageal Doppler echocardiography: Effect of different loading conditions. *Circulation* **81**: 1488-1497, 1990
- 9) Abe H, Yokouchi M, Deguchi F, Saitoh F, Yoshimi H, Arakaki Y, Natsume T, Kawano Y, Yoshida K, Kuramochi M, Ito K, Omae T: Measurement of left atrial systolic time intervals in hypertensive patients using Doppler echocardiography: Relation to fourth heart sound and left ventricular wall thickness. *J Am Coll Cardiol* **11**: 800-805, 1988
- 10) Hanrath P, Mathey DG, Siebert R, Bleifeld W: Left ventricular relaxation and filling pattern in

竹内, 横田, 津村, ほか

- different forms of left ventricular hypertrophy. An echocardiographic study. *Am J Cardiol* **45**: 15-23, 1980
- 11) Braunwald E, Frahm CJ: Studies on Starling's law of the heart: IV. Observation on the hemodynamic functions of the left atrium in man. *Circulation* **24**: 633-642, 1963
- 12) Tamitani M, Matsuzaki M, Tohma Y, Hiroyama N, Anno Y, Takahashi T, Hesaka K, Murata T, Yonezawa F, Okada K, Konishi M, Date T, Ogawa H, Matsuda Y, Kumada T, Kusakawa R: Studies on systolic performance of the left atrium. *J Cardiogr* **13**: 587-596, 1983 (in Japanese)
- 13) Burchell HB: A clinical appraisal of atrial transport function. *Lancet* **I**: 775-779, 1964
- 14) Nahas GG, Morgan EH, Burchell HB: Pressure gradients in the atria and pulmonary veins in man. *Proc Soc Exp Biol, NY* **74**: 737-741, 1954
- 15) Nathan H, Eliakim M: The junction between the left atrium and the pulmonary veins: An anatomic study of human hearts. *Circulation* **34**: 412-422, 1966
- 16) 平川千里, 荒川迪夫, 長野俊彦, 野田俊之: 心房の機能. *肺と心* **33**: 235-241, 1986