

超音波パルス・ドップラー法
による左房収縮期時相分析:
左房の前負荷, 後負荷およ
び急性左室圧負荷との関連

Left atrial systolic time
intervals: Their relations
to left atrial preload,
afterload and acute left
ventricular pressure
loading

岡本 光師
坪倉 篤雄
横手 祐司*
中川 博*
森近 直子*
網岡 英世*
山形 東吾*
土岡由紀子*
松浦 秀夫*
梶山 梧朗*

Mitsunori OKAMOTO
Tokuo TSUBOKURA
Yuji YOKOTE*
Hiroshi NAKAGAWA*
Naoko MORICHIKA*
Hideyo AMIOKA*
Tohgo YAMAGATA*
Yukiko TSUCHIOKA*
Hideo MATSUURA*
Goro KAJIYAMA*

Summary

Using pulsed Doppler echocardiography, the left atrial pre-ejection period (LAPEP) and left atrial ejection time (LAET) were studied in relation to left atrial loading and acute left ventricular pressure loading conditions in 17 patients with various heart diseases. LAPEP was defined as the time interval from the onset of a right atrial pacing pulse to the upstroke in the atrial contraction phase on the mitral flow velocity pattern; LAET was defined as the duration of left ventricular filling due to atrial contraction.

1. LAPEP did not correlate significantly with mean pulmonary capillary wedge pressure (mPCWP) indicating preload for the left atrium, nor with left ventricular end-diastolic pressure (LVEDP) indicating afterload for the left atrium. There were significant inverse correlations of LAET with mPCWP ($r = -0.72$) and with LVEDP ($r = -0.75$).

2. LAPEP, LAET and LAPEP/LAET correlated significantly with the ratio of the peak velocity in the atrial contraction phase and to that in the rapid filling phase ($r = -0.62$, -0.50 and -0.59 , respectively). There was a significant inverse correlation of LAPEP/LAET with the left ventricular ejection fraction ($r = -0.62$).

広島大学医学部 臨床検査医学
*同 第一内科
広島市南区霞 1-2-3 (〒734)

*Division of Clinical Laboratory and the First Department of Internal Medicine, Hiroshima University School of Medicine, Kasumi 1-2-3, Minami-ku, Hiroshima 734

Received for publication January 26, 1989; accepted April 19, 1989 (Ref. No. 36-K26)

3. When left ventricular systolic pressure became elevated by 25% of its basal value at a constant right atrial pacing rate, LAPEP decreased from 110 ± 21 msec to 103 ± 22 msec ($p < 0.05$), LAET increased from 123 ± 33 msec to 129 ± 24 msec and LAPEP/LAET decreased from 0.95 ± 0.37 to 0.84 ± 0.32 ($p < 0.01$).

Thus, the left atrial systolic time intervals were influenced by the change of left atrial loading conditions due to left ventricular systolic and diastolic dysfunction and by the ratio of active emptying volume during early diastolic left ventricular filling.

Key words

Left atrial function Systolic time intervals Doppler echocardiography Afterload

はじめに

従来、心房の機能は正常心や高血圧心、虚血心などにおいて臨床的あるいは実験的に検討され、conduit, reservoir および active atrial emptying の三つの要素から成り立つことが明らかにされている¹⁻⁵⁾。このうち、左室拡張末期の active emptying 機能は左室の拡張障害を代償し、心拍出量を保つ上で重要な役割を担う^{6,7)}。この拡張末期の左房収縮による流入量は、左室造影^{1,4-6)}、RI 心プール法²⁾、心エコー図法³⁾、超音波パルス・ドップラー法⁸⁾によって知ることができる。さらに、最近、Abe らは超音波パルス・ドップラー法を用いて高血圧心における左房の収縮期時相分析 (left atrial pre-ejection period : LAPEP, left atrial ejection time : LAET) を行っている⁹⁾。しかし、彼らの研究における LAPEP 測定では心房の電氣的興奮の始まりを心電図 P 波の開始としているが、P 波の立ち上がりは症例によって必ずしも明瞭ではない。また、左房収縮期時相における左房の loading condition の関与は明らかでなく、急性圧負荷時におけるこれらの変化も解明されていない。本研究では右房ペースングにより心房の電氣的興奮の開始を明らかにし、心房収縮期心時相である LAPEP, LAET を測定、左房の後負荷と考えられる左室拡張末期圧、前負荷と考えられる肺動脈楔入圧との関連、および急性左室圧負荷時のこれらの変化を検討した。

対象および方法

対象は心臓カテーテル検査を施行した各種心疾患患者 17 例 (狭心症 2 例, 心筋梗塞 4 例, 拡張型心筋症 5 例, 肥大型心筋症 3 例, その他 3 例) で、平均年齢は 52 ± 14 歳, 男性 11 例, 女性 6 例である。全例洞調律で、PQ 時間は正常であった。6F の 2 極の電極カテーテルを高位右房に挿入し、自己の心拍数よりわずかに速いペースングレート (60~100/分, 平均 70/分) でペースングを行った。同時にスワンガンツカテーテルおよびピッグテイルカテーテルを挿入し、それぞれ肺動脈楔入圧、左室圧を測定した。また超音波パルス・ドップラー法を用い、心尖部アプローチにより左室流入血流パターンを紙送り速度 50 mm/sec ないし 100 mm/sec で記録した (Fig. 1)。この血流パターンより、急速流入期最高流速 (R), 心房収縮期最高流速 (A), およびペースング・パルスから心房収縮期流入の開始までの時間 (LAPEP), 心房収縮期流入時間 (LAET) を測定し、LAPEP/LAET を算出した。また、メトキサミンを持続静注 (0.01 mg/kg/min) し、左室収縮期圧を約 25% 上昇させた前後で、上記のパラメーターの変化を検討した。以上の検査の終了後、血行動態の安定を待って左室造影を施行し、area-length 法によって左室駆出率を求めた。超音波の使用装置は東芝製 SSH-40A で、探触子の基本周波数は 2.5 MHz, パルス繰り返し周波数は 4 KHz または 6 KHz であった。

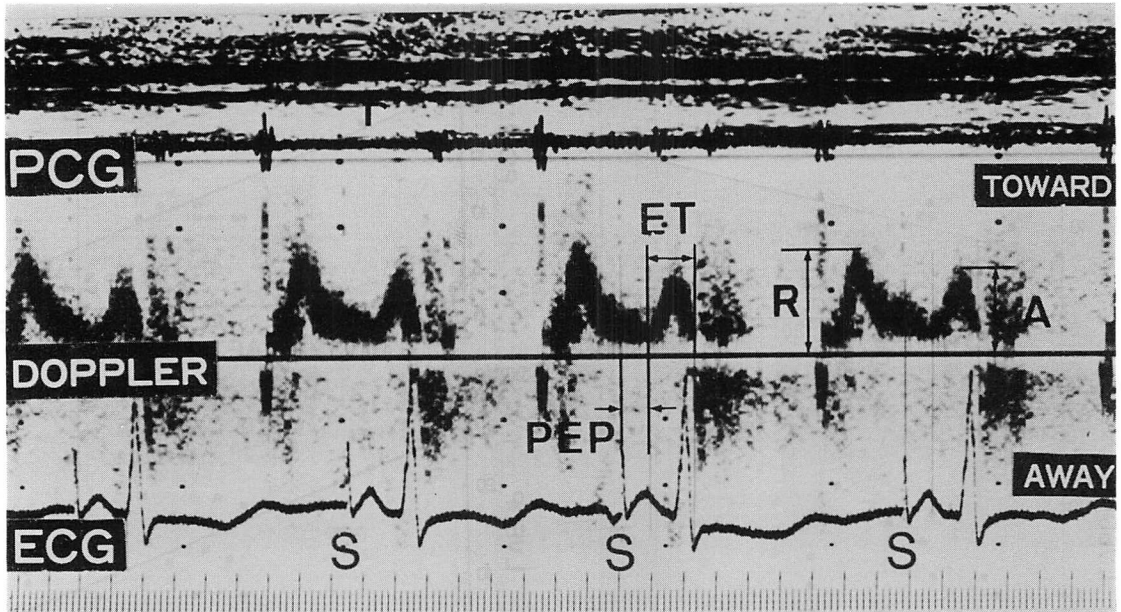


Fig. 1. Mitral flow pattern obtained by pulsed Doppler echocardiography and determination of the parameters.

R=peak velocity in the rapid filling phase; A=peak velocity in the atrial contraction phase; PEP=left atrial pre-ejection period; ET=left atrial ejection time; S=right atrial pacing stimuli; TOWARD and AWAY=flow components toward and away from the transducer.

計測値は 5~7 心拍の平均とし、平均値±標準偏差で表わし、平均値の差の検定には t-test を用いた。

結 果

1. LAPEP は平均肺動脈楔入圧、左室拡張末期圧のいずれとも有意な相関を示さなかった (Fig. 2). LAET は平均肺動脈楔入圧と $r=-0.72$ ($p<0.01$), 左室拡張末期圧と $r=-0.75$ ($p<0.01$) の、いずれも有意な負の相関を示した (Fig. 3). この結果、LAPEP/LAET は平均肺動脈楔入圧、左室拡張末期圧とそれぞれ $r=0.78$ ($p<0.01$), $r=0.67$ ($p<0.01$) の有意な正相関を示した (Fig. 4).

2. A/R と LAPEP は $r=-0.62$ ($p<0.01$) の有意な負の相関を示し、LAET と $r=0.50$ ($p<0.05$) の有意な正の相関を示した。LAPEP/

LAET は A/R, 左室駆出率とそれぞれ $r=-0.59$ ($p<0.05$), $r=-0.62$ ($p<0.01$) の有意な負の相関を示した (Fig. 5).

3. メトキサミンによる急性左室圧負荷時、平均肺動脈楔入圧は 11.6 ± 5.5 mmHg から 19.2 ± 8.5 mmHg ($p<0.001$), 左室拡張末期圧は 14.7 ± 6.7 mmHg から 21.1 ± 8.0 mmHg ($p<0.001$) へと有意に増大した。また、LAPEP は 110 ± 21 msec から 103 ± 22 msec へ有意 ($p<0.05$) に減少し、LAET は平均値では 123 ± 22 msec から 129 ± 24 msec へと有意ではないが増加傾向を示し、LAPEP/LAET は 0.95 ± 0.37 から 0.84 ± 0.32 へ有意 ($p<0.01$) に減少した (Fig. 6).

考 察

左房の機能には、1) 左室の収縮期に左房内に血液を貯留する reservoir function, 2) 左室の拡

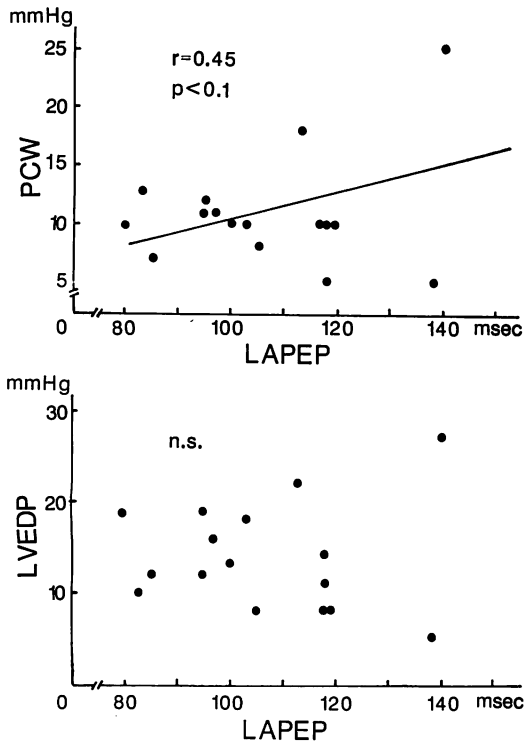


Fig. 2. Left atrial pre-ejection period plotted against mean pulmonary capillary wedge pressure (upper panel) or left ventricular end-diastolic pressure (lower panel).

PCW=mean pulmonary capillary wedge pressure; LVEDP=left ventricular end-diastolic pressure; LAPEP=left atrial pre-ejection period.

張早期に肺静脈から左室への血流の通路としての conduit function, 3) 左室拡張末期に左室への流入を増加する左房の active emptying function (booster pump function) がある¹⁻⁵⁾. RI 心プール法や左室造影法で求めた正常心の一回流出量に対する reservoir volume は 19~25%, conduit volume は 46~57%, active emptying volume は 24~29% とされている^{2,5)}. 高血圧心や虚血心などの病的心では conduit volume が減少し, active emptying volume が増加することが報告されている^{4,5)}. すなわち, 病的心の一回流出量を維持する上で, 心房の収縮による左室拡張末期の

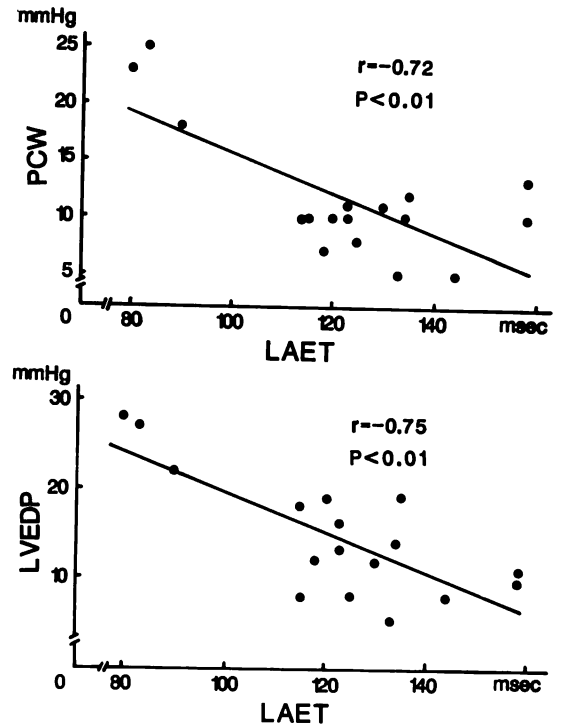


Fig. 3. Left atrial ejection time plotted against mean pulmonary capillary wedge pressure (upper panel) left ventricular end-diastolic pressure (lower panel).

充満が極めて重要である. このような心房の booster pump function を拡張末期の左室の容積変化から評価する方法として, 左室造影法, RI 心プール法, 心エコー図法, 超音波パルス・ドップラー法などがある. また, 左房の圧容積関係も解析され¹⁰⁻¹²⁾, 高血圧の左房の chamber stiffness, muscle stiffness の亢進や¹¹⁾僧帽弁逆流時¹²⁾の変化が報告されるとともに, 左房にも心室と同様な Frank-Starling 効果が存在することも知られている¹³⁾. 一方, 超音波パルス・ドップラー法による僧帽弁口流入速度波形から, 上述の atrial contribution を知ることが可能であるばかりでなく, 最近, Abe らは心房収縮期時相を測定し, 高血圧心の IV 音聴取群では, これが聴取されない群に比し, LAPEP の短縮, LAET の延長が認めら

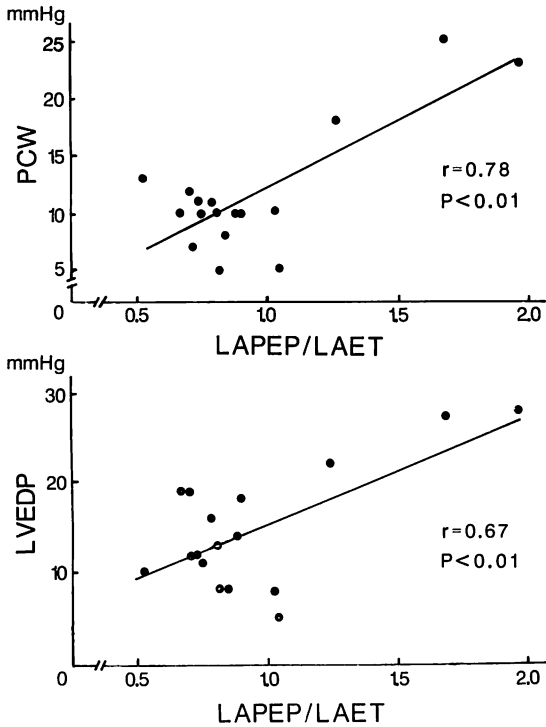


Fig. 4. Correlation of LAPEP/LAET with mean pulmonary capillary wedge pressure (upper panel) and left ventricular end-diastolic pressure (lower panel).

れることを報告している。今回の成績で左室流入波形の A/R と LAPEP とが逆相関、LAET とが正相関を示したのは、左室の拡張早期伸展障害が左房収縮期時相に影響を与えることを意味し、彼らの成績を支持すると考えられる。また、左室駆出率も LAPEP/LAET と粗ではあるが負の相関を示したことより、左室の収縮能とも関連することが窺える。すなわち、左房の収縮期心時相は左室の心機能の状況に大きく影響されると考えられる。

LAPEP は、左室の PEP と同様に考えると¹⁴⁾、electro-mechanical interval と左房の収縮時に左房圧が上昇し左室圧を凌駕するまでの時間との和である。したがって、心房内伝導障害が存在しない例では、LAPEP は左房の圧上昇時間(左房圧

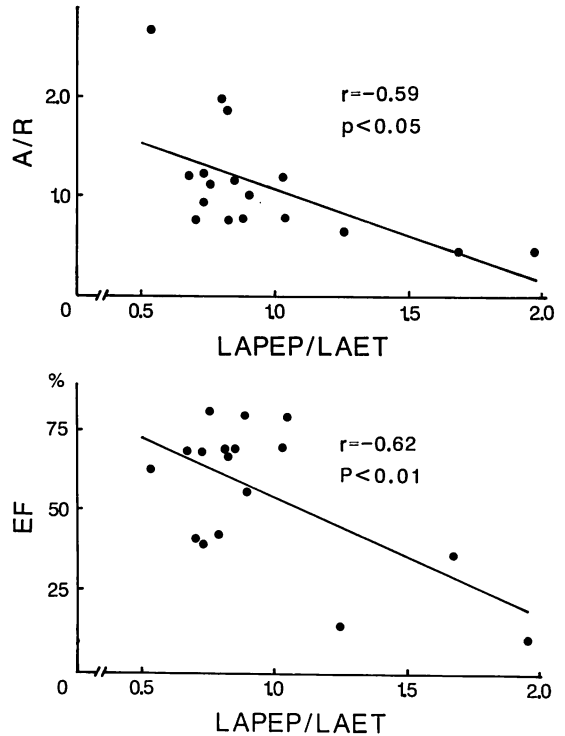


Fig. 5. Correlation of LAPEP/LAET with the ratio of peak velocity in the atrial contraction phase to that in the rapid filling phase (upper panel) and left ventricular ejection fraction (lower panel).

の peak positive dp/dt、すなわち、左房の inotropism) や、心房収縮前の左室拡張期圧、左房圧などによって規定されると考えられる。しかし、今回の検討では basal state において、LAPEP は平均肺動脈楔入圧、左室拡張末期圧のいずれとも有意な相関が認められなかった。このことは LAPEP が多因子の影響を受け、basal state では、各症例によって規定因子の関与の程度が異なるため、LAPEP と規定因子のなかの一つとの相関関係が見られなかったと考えられる。今回の成績で、急性左室圧負荷時に LAPEP は有意な短縮を示したが、この時、左室拡張末期圧と平均肺動脈楔入圧とは同程度に上昇していたことから、LAPEP 短縮の成因として左房の前負荷、あるいは後負荷の影響は考え難く、左房の Frank-Starl-

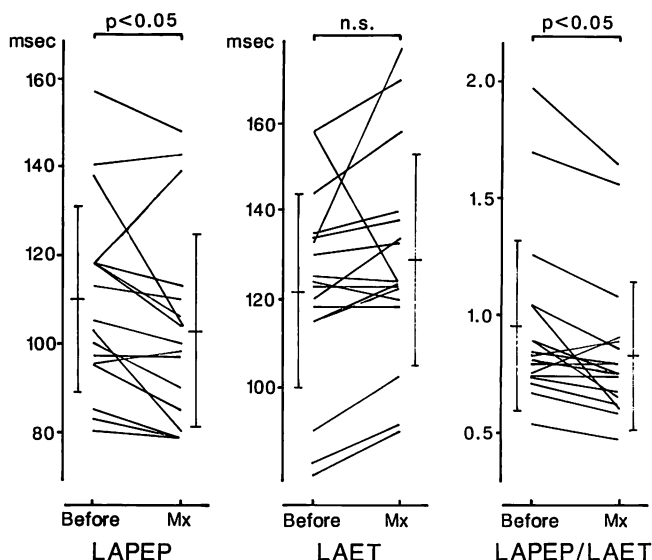


Fig. 6. Changes in LAPEP, LAET, LAPEP/LAET before and after elevation of left ventricular systolic pressure by infusion of methoxamine.

ing の効果によって左房の dp/dt が増加したことによる可能性が考えられる。

一方, LAET の規定因子として, 左室の駆出時間と同様に考えれば¹⁴⁾, 左房の inotropism, 後負荷としての左室拡張期圧, 左房の前負荷, 一回拍出量などが挙げられ, LAET は inotropism の亢進によって短縮, 後負荷, 前負荷, 一回拍出量の増加によって延長する。しかし, 今回の成績では basal state において LAET は後負荷としての左室拡張末期圧, 前負荷としての肺動脈楔入圧のいずれとも有意な負の相関を示した。すなわち, これらは左房の前負荷, 後負荷ではすべてを説明し難い。今回の成績で, A/R と LAET とは正の相関を示した。すなわち, LAET は, 心房収縮期流入速度の増大した肥大型心筋症などでは延長を示したのに対し, この流速が低下した拡張型心筋症などの症例では短縮を示した。これらのことから, basal state での LAET は前負荷, 後負荷, inotropism の結果としての左房の収縮に伴う左房拍出量に依存すると考えられる。すなわち, LAET は左房の代償機能が働いている例

では延長し, 左室拡張期圧が著明に上昇して左房の拍出が低下を示す例, すなわちいわゆる左房の afterload mismatch を来した症例では短縮したと考えられる。

急性左室圧負荷時に, LAET は延長傾向を示したが, これは後負荷としての左室拡張末期圧が上昇し心房収縮時の左房圧の cross-over が遅れたことが挙げられる。また, それと同時に LAPEP が短縮したこと, α -レセプターの刺激によって静脈も収縮することを合わせて考えると, メトキサミンによる肺静脈系の収縮によって静脈還流が増大し, 左房の拍出量が増加したことによる可能性がある。

以上, 今回の成績で明らかなように, 左房の収縮期時相は, 左室機能の変化や, 静脈還流の変化などによる左房の loading condition や, emptying function としての左房拍出量に強く影響されることが示唆された。

要 約

各種心疾患 17 例を対象に, 右房ペースング下,

左室流入血流を超音波パルス・ドップラー法によって記録し、左心房収縮期時相 [left atrial pre-ejection period (LAPEP), left atrial ejection time (LAET)] に対する左房の loading condition の影響を検討した。

1. LAPEP は平均肺動脈楔入圧、左室拡張末期圧 (LVEDP) と有意な相関を示さなかったが、LAET は平均肺動脈楔入圧、左室拡張末期圧と有意な負の相関を示した ($r = -0.72$, $r = -0.75$)。

2. LAPEP, LAET, LAPEP/LAET は、左室流入波形の A/R と、それぞれ $r = -0.62$, $r = 0.50$, $r = -0.59$ の有意の相関を示した。LAPEP/LAET は左室駆出率と有意の負の相関を示した ($r = -0.62$)。

3. メトキサミンによる急性左室圧負荷時、右房ペーシングによる一定の心拍数下で、LAPEP は有意に減少、LAET は増加傾向、LAPEP/LAET は有意に減少した。

以上より、心房収縮期時相は、左室の収縮異常や、拡張異常に伴う左房の loading condition の変化、ならびに active emptying 時の左房拍出量などに影響されることが示唆された。

文 献

- 1) Glant C, Bunnell IL, Greene DG: The reservoir function of the left atrium during ventricular systole: An angiocardiographic study of atrial stroke volume and work. *Am J Med* **37**: 36-43, 1964
- 2) Bough EW, Gandsman EJ, Shulman RS: Measurement of normal left atrial function with gated radionuclide angiography. *Am J Cardiol* **48**: 473-478, 1981
- 3) Gutman JG, Wang YS, Wahr D, Schiller NB: Normal left atrial function determined by 2-dimensional echocardiography. *Am J Cardiol* **51**: 336-340, 1983
- 4) Matsuda Y, Toma Y, Ogawa H, Matsuzaki M, Katayama K, Fujii T, Yoshino F, Moritani K, Kumada T, Kusakawa R: Importance of atrial function in patients with myocardial infarction. *Circulation* **67**: 566-571, 1983
- 5) Matsuda Y, Toma Y, Moritani K, Ogawa H, Kohno M, Miura T, Matsuda M, Matsuzaki M, Fujii H, Kusakawa R: Assessment of left atrial function in patients with hypertensive heart disease. *Hypertension* **8**: 779-785, 1986
- 6) Rahimtoola SH, Ehsani A, Sinno MZ, Loeb HS, Rosen KM, Gunnar RM: Left atrial transport function in myocardial infarction: Importance of its booster pump function. *Am J Med* **59**: 686-694, 1975
- 7) Linderer T, Chatterjee K, Parmley WW, Sievers RE, Glantz SA, Tyberg JV: Influence of atrial systole on the Frank-Starling relation and the end-diastolic pressure-diameter relation of the left ventricle. *Circulation* **67**: 1045-1053, 1983
- 8) Kitabatake A, Inoue M, Asao M, Tanouchi J, Masuyama T, Abe H, Morita H, Senda S, Matsuo H: Transmitral blood flow reflecting diastolic behavior of the left ventricle in health and disease: A study by pulsed Doppler technique. *Jpn Circ J* **46**: 92-102, 1982
- 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) Sauter HJ, Dodge HT, Johnston RR, Graham TP: The relationship of left atrial pressure and volume in patients with heart disease. *Am Heart J* **67**: 635-642, 1964
- 11) Natsume T, Nakajima K, Shibata H, Yokouchi M, Deguchi F, Shimomura K, Ikeda M: Left ventricular and left atrial function in patients with borderline and established hypertension. *Jpn Circ J* **47**: 230-239, 1983
- 12) 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
- 13) Yamaguchi M, Arakawa M, Tanaka T, Takaya T, Nagano T, Hirakawa S: Study on left atrial contractile performance: Participation of Frank-Starling mechanism. *Jpn Circ J* **51**: 1001-1008, 1987
- 14) Yang SS, Bentivoglio LG, Moranharo V, Goldberg H: Systolic time intervals in From Cardiac Catheterization Data to Hemodynamic Parameters, 2nd ed, FA Davis, Philadelphia 1978, pp 257-261