

《原 著》

左室収縮の左房充満への関与について

——心プール法による臨床的研究——

藤井 薫* 尾崎 正治* 山岸 隆* 石根 顕史*
 松村 和彦* 古谷 雄司* 長野 裕之* 山本 浩造*
 楠川 禮造*

要旨 健常群 17 例, 逆流性およびシャント疾患を除いた各種心疾患群 40 例を対象に心プール検査および心エコー検査を実施し, 左室収縮の左房充満への関与について検討した. 左室拡張末期像において左室・左房に関心領域を設定しそれらの領域の Time-activity curve (TAC) とその一次微分曲線を求め, 左室収縮期の左室最大駆出率 (LVs-PER) と左房最大充満率 (LAF-PFR) を算出した. LAF-PFR は, 左房の TAC の一次微分曲線の陽性の最大値とした. LVs-PER と LAF-PFR の時相は, 全例においてほぼ一致していた (131 ± 22 msec (mean \pm SD) vs. 140 ± 35 msec, NS). 心エコー検査にて左室拡張末期径と左房径より左室拡張末期容積 (LVEDV) と左房最大容積 (LAV) を算出し, 左室収縮期容積最大変化量 (LVs-max dV/dt) と左房充満期容積最大変化量 (LAF-max dV/dt) を次式により求めた.

$$\text{LVs-max dV/dt (ml/sec)} = \text{LVs-PER} \times \text{LVEDV}$$

$$\text{LAF-max dV/dt (ml/sec)} = \text{LAF-PFR} \times \text{LAV}$$

左室収縮機能特性の指標である LVs-max dV/dt と左房充満機能指標である LAF-max dV/dt との間には有意な正の相関 ($r=0.57$, $p<0.001$) がみられた. これは, 左室収縮が強いほど左房充満が大きいことを意味する. また, Strunk ら¹⁷⁾, Akgun ら¹⁸⁾ は左室収縮により左房は下方および前方に牽引されると報告している.

以上の結果より左室収縮が左房充満に関与していることが示唆された.

I. 緒 言

左心房の機能に関し侵襲的あるいは非侵襲的検査法により数多くの報告がなされてきた. 従来より左室機能に寄与する左房機能として reservoir, conduit および booster pump 機能が指摘されている^{1~4)}. また, 左室収縮期に左房内へ血液充満がなされている^{5,6)}. あるいは, 心房の規則的拍動のない心房細動の症例においても左室収縮期に左房内へ血液充満が行われている⁵⁾と報告されている.

すなわち, 左室収縮と左房充満の間に何らかの関連性が示唆される. しかし, 左房機能の定量的評価に関する報告は少ない^{7~9)}. これは, 侵襲的な検査であるために, 広く臨床では施行しにくいことが原因と考えられる.

今回われわれは, 左室収縮と左房充満の関連性について, 非侵襲的検査である心プール法および心エコー図法を用いて, 左室・左房の容量曲線を求め, 左室収縮機能と左房充満機能の関係について検討した.

II. 対 象

対象は病歴, 心電図, 胸部 X 線写真, 心音図, 心エコー図, および運動負荷シンチグラフィー等により心疾患を有さないと判定された健常群 17

* 山口大学医学部第二内科

受付: 63 年 2 月 3 日

最終稿受付: 63 年 6 月 3 日

別刷請求先: 山口県宇部市小串 1144 (☎ 755)

山口大学医学部第二内科

藤 井 薫

Table 1 Clinical and hemodynamic data

Subjects	Age	N	SBP (mmHg)	DBP (mmHg)	HR (/min)	LVDd (mm)	LAD (mm)	LVEF (%)	LAFE (%)
Normal	58±9	17	124±13	75±10	68±8	47±4	32±5	60±7	44±10
HT	57±10	12	179±23***	97±13*	65±12	49±4	33±6	58±6	45±9
AP	62±13	10	140±21*	76±11	59±7***	48±4	37±3*	57±8	35±12*
OMI	64±10	10	115±11*	72±11	68±11	51±4**	36±5	48±9**	41±6
HCM	66±8	4	126±6	68±4	63±8	45±7	37±5	63±8	41±15
DCM	58±8	4	147±16**	68±19	73±13	61±12***	41±4**	35±10***	36±6

Abbreviation, SBP; arterial systolic blood pressure, DBP; arterial diastolic blood pressure, HR; heart rate, LVDd; left ventricular end-diastolic dimension, LAD; left atrial dimension, LVEF; left ventricular ejection fraction, LAFE; left atrial fractional emptying, Normal; normal subjects, HT; hypertension, AP; angina pectoris, OMI; old myocardial infarction, HCM; hypertrophic cardiomyopathy, DCM; dilated cardiomyopathy. *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001 vs. Normal subjects, Values are mean±SD

例 (男性 8 名, 女性 9 名, 平均年齢 58±9 歳 (mean±SD)), 高血圧症 12 例 (男性 7 名, 女性 5 名, 平均年齢 57±10 歳), 狭心症 10 例 (男性 8 名, 女性 2 名, 平均年齢 62±13 歳), 陳旧性心筋梗塞症 10 例 (男性 8 名, 女性 2 名, 平均年齢 64±10 歳), 肥大型心筋症 4 例 (男性 2 名, 女性 2 名, 平均年齢 66±8 歳), 拡張型心筋症 4 例 (男性 3 名, 女性 1 名, 平均年齢 58±8 歳) の計 57 例である (Table 1). 各種心疾患群については非観血的諸検査, 心臓カテーテル検査, 左室造影, 冠動脈造影等により診断した. 全例, 逆流性およびシャント疾患がなく洞調律であった.

III. 方 法

被検者に Technetium-99m human serum albumin (^{99m}Tc-HSA) 20 mCi 静注後, 平衡時において左室, 右室および左房が明瞭に分離できる頭側約 10° 傾斜と左前斜位 45° の方向より心プールイメージングを施行した. データ収集はマルチゲート方式により 1 フレーム 30–50 msec, 64×64 マトリックスにて約 600 心拍を収集した. その後カラー動画表示にて左室収縮末期像で左室と左房が明瞭に分離できた症例のみを選択した. カラー表示の左室拡張末期像で左室および左房の関心領域を設定し, 左室収縮末期像にて左室周囲に関心領域を設定しバックグラウンドカウントとした (Fig. 1). これらより左室と左房の Time-activity curve (LV-

TAC, LA-TAC) とその一次微分曲線をフーリエ六次項フィッティング法にて求めた (Fig. 2). 心プール検査直後に B モードと同時に M モード心エコー検査を実施し, 胸骨左縁第 4–5 肋間からエコービームを斜入し, 大動脈根部から左室までスキャンを行った.

IV. 心機能指標

1) 左室容量曲線 (LV-TAC) とその一次微分曲線より以下の左室収縮機能の指標を算出した.

- ① 左室駆出率 (LVEF)
- ② 左室拡張末期カウントで正規化した左室最大駆出率 (LVs-PER)^{10,11)}

2) 左房容量曲線 (LA-TAC) とその一次微分曲線より以下の左房充満機能の指標を算出した.

- ① 左房容積減少率 (LAFE)¹²⁾
- ② 左房容積最大カウントで正規化した左房最大充満率 (Laf-PFR)

ここで, LVs-PER と Laf-PFR の時相は全例でほぼ一致した (131±22 msec vs. 140±35 msec, NS)

3) 心エコー図から求めた左室拡張末期径および最大左房径より, それぞれ左室拡張末期容積 (LVEDV), 左房最大容積 (LAV) をおのおの Teichholz 法¹³⁾, 前田ら¹⁴⁾の方法 ($Y=11 \times X^{1.83}$, $r=0.94$, Y は代用として求めた左房容積, X は左房短軸径を示す) により算出し, これらより左室

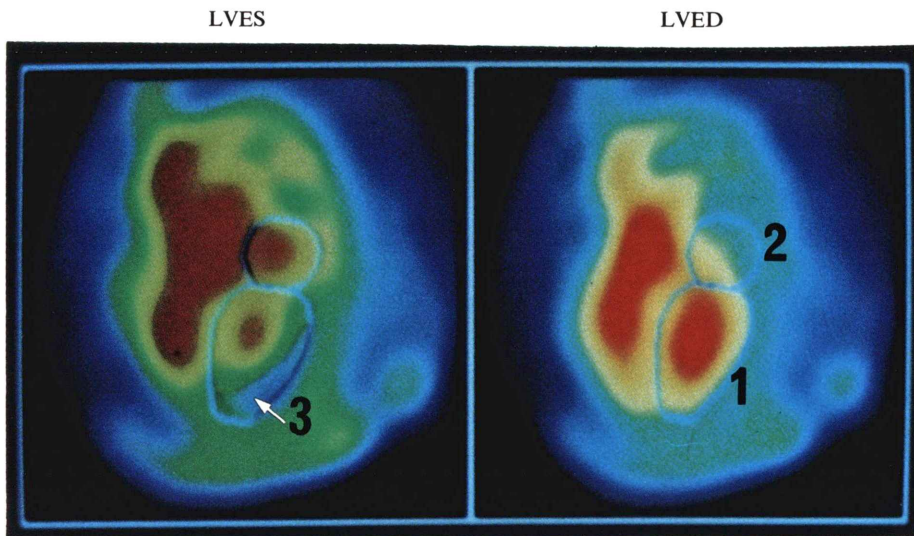


Fig. 1 Color display of the left ventricular end-systolic frame (LVES, left panel) and the left ventricular end-diastolic frame (LVED, right panel). The regions of interest of the left ventricle (1) and the left atrium (2) were traced manually along the outer border of the processed images in the LVED and LVES, respectively. The periventricular background regions of interest (3) was traced manually in the LVES.

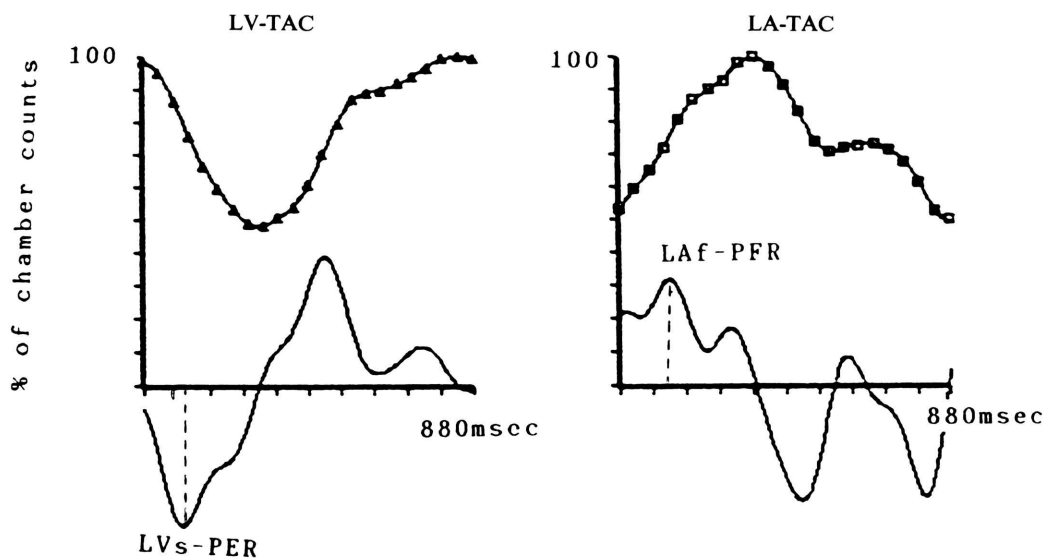


Fig. 2 The left ventricular (LV) and the left atrial (LA) time-activity curves (TAC), and these first-derivatives curves. The peak negative deflection on the LV first-derivative curve was defined as the left ventricular peak ejection rate (LVs-PER), and the positive deflection on the LA first-derivative curve as the left atrial peak filling rate (Laf-PFR).

Table 2 The values of the left ventricular systolic and left atrial filling functions derived from radionuclide angiography and echocardiography

Subjects	LVs-PER (EDV/sec)	Laf-PFR (EDV/sec)	LVs-max dV/dt (ml/sec)	Laf-max dV/dt (ml/sec)
Normal	3.22±0.95	2.15±0.41	346±83	204±63
HT	2.99±0.39*	2.01±0.77	344±116	188±75
AP	2.92±0.40*	1.46±0.37***	313±38	172±44
OMI	2.56±1.11*	1.58±0.50**	353±96	183±64
HCM	4.36±0.05**	1.92±0.80	261±119	261±78
DCM	2.44±0.68**	1.62±0.41*	320±53	213±44

Abbreviation, LVs-PER; left ventricular peak ejection rate, Laf-PFR; left atrial peak filling rate, LVs-max dV/dt; left ventricular maximal volume change, Laf-max dV/dt; left atrial maximal volume change, Normal; normal subjects, HT; hypertension, AP; angina pectoris, OMI; old myocardial infarction, HCM; hypertrophic cardiomyopathy, DCM; dilated cardiomyopathy.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ vs. Normal subjects, Values are mean \pm SD

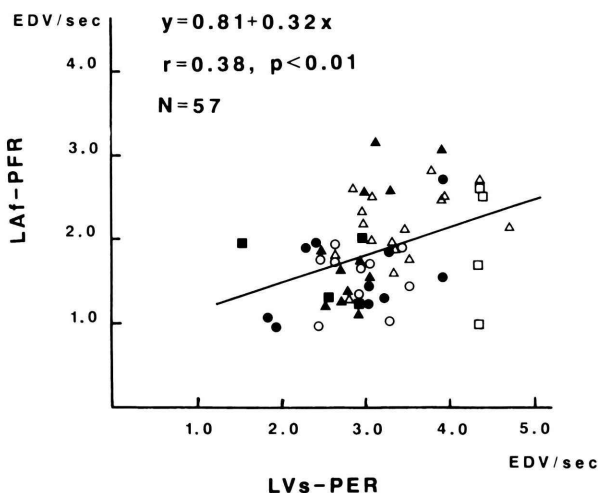


Fig. 3 The relation between the Laf-PFR and the LVs-PER in all subjects and patients. Δ ; normal subjects, \blacktriangle ; hypertension, \circ ; angina pectoris, \bullet ; old myocardial infarction, \square ; hypertrophic cardiomyopathy, \blacksquare ; dilated cardiomyopathy.

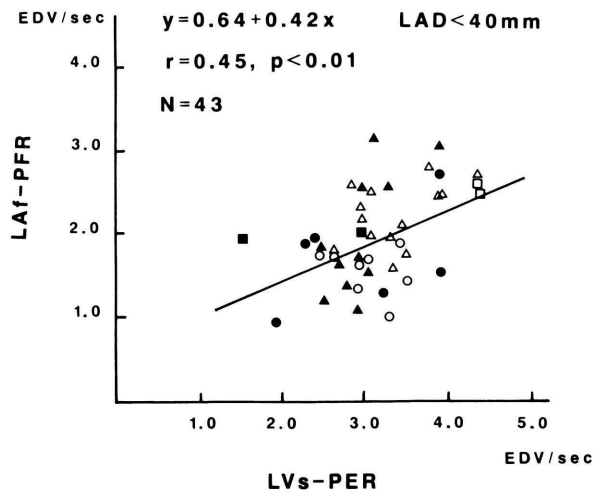


Fig. 4 The relation between the Laf-PFR and the LVs-PER in normal subjects and patients with smaller sized left atrium (LAD < 40 mm). Symbols are the same as in Fig. 3.

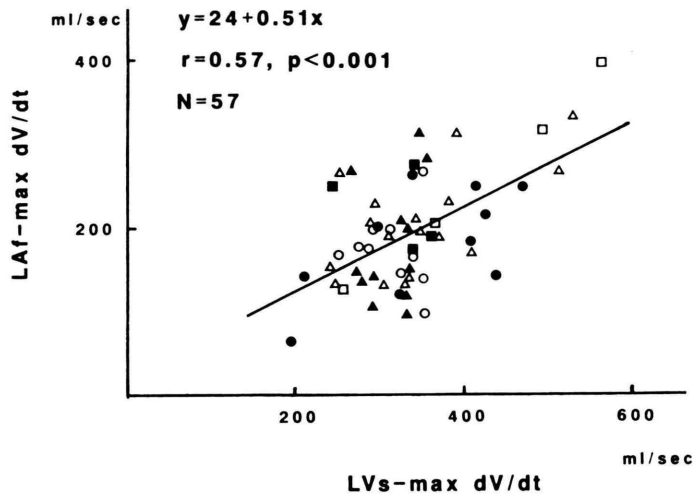


Fig. 5 There was a significant positive correlation between the LAF-max dV/dt (LA maximal absolute volume change in LA filling phase) and the LVs-max dV/dt (LV maximal absolute volume change in LV systole). Symbols are the same as in Fig. 3.

および左房の最大容積変化量を次のように求めた。

- ① 左室収縮期容積最大変化量
(LVs-max dV/dt)

$$\text{LVs-max dV/dt (ml/sec)} = \text{LVs-PER} \times \text{LVEDV}$$

- ② 左房充満期容積最大変化量
(LAF-max dV/dt)

$$\text{LAF-max dV/dt (ml/sec)} = \text{LAF-PFR} \times \text{LAV}$$

使用装置はデータ収集に parallel all-purpose collimator を装着したシーメンス製 ZLC 370 シンチレーションカメラを使用し、データ処理に島津社製シンチパック 2400 を使用した。なお、心エコー検査として超音波断層装置に東芝製 SSH-40A を使用した。

V. 結 果

各群における血圧、脈拍、心エコー図法で求めた左室拡張末期径および最大左房径、心プール法にて求めた左室、左房機能指標を Table 1 に示す。各群間の平均値の差の検定には non-paired t test を用いた。なお、有意差検定で、 $p < 0.05$ 以下を有意差ありとした。また左室最大駆出率 (LVs-PER)、左房最大充満率 (LAF-PFR) および左室収

縮期容積最大変化量 (LVs-max dV/dt)、左房充満期容積最大変化量 (LAF-max dV/dt) について健常群と他の心疾患群で比較した (Table 2)。

左室最大駆出率 (LVs-PER) と左房最大充満率 (LAF-PFR) との間に Fig. 3 に示す疎な正の相関がみられた。ここで左房径により 2 群に分け¹⁵⁾、40 mm 未満の症例に限ればより強い正相関がみられた (Fig. 4)。また左室収縮期容積最大変化量 (LVs-max dV/dt) と左房充満期容積最大変化量 (LAF-max dV/dt) の間にも Fig. 5 に示す有意な正の相関がみられた。

VI. 考 察

左心房は reservoir, conduit および, booster pump 機能の役割を果たしている^{1~4)}。今回われわれは、心プール法により左室と左房の容量曲線を求め、左室収縮機能と左房充満機能の関連性について検討した。

左室収縮の指標である LVs-PER と左房充満機能の指標である LAF-PFR の間に疎な正相関がみられた (Fig. 3)。左房径が 40 mm 未満の症例に限れば同様に LVs-PER と LAF-PFR の間に強い正

相関が得られた (Fig. 4). この理由として、左室、左房の容積は健常群、心疾患群間および個々で大きなばらつきがあり (LAV 39 ml~180 ml, 平均 108 ± 26 ml, LVEDV 58 ml~280 ml, 平均 116 ± 36 ml), また心プール法より求めた左室収縮機能および左房充満機能指標は、その最大容積で除して補正した値であり、容積変化量の絶対値を表していないためと考えられる。そこで、左室と左房の絶対容積を心エコー図法より求め、これらの値を心プール法より求めた指標に乗算することにより容積変化の絶対値を求めた。すなわち LVs-PER, LAf-PFR の単位は l/sec である。ここに、おのおの心エコー図より求めた最大容積を乗算することにより、すなわち (LVs-PER) × (LVEDV), (LAf-PFR) × (LAV) の式により単位は ml/sec となり、おのおの左室収縮期容積最大変化量 (LVs-max dV/dt), 左房充満期容積最大変化量 (LAf-max dV/dt) を求めた。LVs-max dV/dt と LAf-max dV/dt の間にも、正相関がみられた (Fig. 5). これらの結果は左室収縮による機械的影響により左房充満様式が強く影響されていることを意味すると推察される。Rankin ら¹⁶⁾は、左室収縮期の短軸方向の短縮率は 20% で長軸方向の短縮率は 5-10% と報告している。同様に LeWinter ら¹⁷⁾は、長軸方向の短縮率は心基部、中間部で 15% ずつ、心尖部で 20% と報告している。Strunk ら¹⁸⁾も左室の収縮により長軸方向の短縮がおこり心基部が心尖部へ短縮すると報告している。すなわち、左室収縮とともに僧帽弁輪部が心尖部方向に牽引されることにより、左房下部が受動的に押し下げられ、その結果として左房自体が拡張すると推察される。

Akgun ら¹⁹⁾は心エコー図法により大動脈根部後壁運動から左房の形状変化を求め、左室収縮は左房充満に影響を与えると報告している。これは、左室から大動脈へ血液が駆出される時に大動脈の前方運動が行われれば、大動脈後壁と固定されている左房前壁も同時に前方運動を強いられ左房形状変化がおこり、機械的に左房容積が拡張されるためと考えられる。解剖学的見地に立てば、左房

の上部と後壁は肺静脈および後縦隔に付着し、ほとんど可動性はないが、前壁および下部は可動性がある^{18,20)}。左室収縮により僧帽弁輪部が心尖部へ牽引されることによって左房下部が受動的に押し下げられ左房容積が拡張される。以上から、左室の機械的収縮が行われることにより左房は受動的に拡張され肺静脈から左房へ血液が受動的に流入すると推測される。今回われわれの求めた左室収縮の指標としての LVs-max dV/dt と、左房充満の指標としての LAf-max dV/dt との間の相関関係は、左室収縮が左房充満に強く関与していることを意味する。尾崎ら⁵⁾、松崎ら⁶⁾は健常群を対象にして左室収縮期に左房充満が行われていると報告している。さらに尾崎ら⁵⁾は心房の規則的拍動のない心房細動の症例においても左室収縮期に左房充満が行われると報告している。すなわち、左室収縮が左房の受動的充満を促していると考えられる。

今回心エコー図より求めた左室拡張末期容積は計測に Teichholz 法¹³⁾を用いたが、左房最大容積は M モード法からの実測は困難である。ここで前田ら¹⁴⁾は、生体の左房形状モデルを検討し左房最大容積の近似値を求めている ($Y = 11 \times X^{1.83}$, $r = 0.94$, Y は代用として求めた左房容積, X は左房短軸径を示す)。しかしこの方法では、変形あるいは拡大した左房ではその評価は不十分であり、特に左房短軸径が 5.5 cm 以上では変形拡大が大であると述べている。本研究では、左房短軸径が 5.5 cm 以下の症例のために、この方法により左房最大容積の近似値とした。

最後に前負荷、後負荷の移動によるこの関連性の変化の有無、また左房容積減少期および左房収縮期における左室拡張機能との関連性について今後の検討が必要であると考えた。

VII. ま と め

健常群および逆流性、シャント性疾患を除外した洞調律の各種心疾患群を対象に、左室収縮の左房充満への関与について心プール法および心エコー図法を用いて検討し、以下の結果を得た。

左室収縮機能の指標として左室収縮期容積最大変化量, 左房充満機能の指標として左房充満期容積最大変化量を求め, 両者の間には有意な正の相関 ($r=0.57$, $p<0.001$) がみられた. このことより, 左室収縮が左房充満に強く関与していることが示唆された. すなわち, 左室収縮と大動脈の前方偏位により左房が受動的に下方および前方に牽引される結果, 左房が拡張し, 受動的に肺静脈から左房へ血液流入がおけると推察した.

なお, 本研究の要旨は第26回日本核医学会総会(千葉・1986年), 第9回アジア太平洋心臓病学会(Auckland, New Zealand, 1987年)において発表した.

謝辞 本論文の作成にあたり, ご協力をいただいた山口労災病院放射線科の柏村博技師, 津田岩男技師に深く感謝いたします.

文 献

- Mitchell JH, Gilmore JP, Sarnoff S: The transport function of the atrium: Factors influencing the relation between mean left atrial pressure and left ventricular end diastolic pressure. *Am J Cardiol* 9: 237-247, 1962
- Norlan SP, Dixon SH, Fisher RD, et al: The influence of atrial contraction and mitral valve mechanics on ventricular filling. *Am Heart J* 77: 784-791, 1969
- Branunwald E, Frahm CJ: Studies on Starling's law of the heart. Observations on the hemodynamic functions of the left atrium in man. *Circulation* 24: 633-642, 1963
- Grant C, Bunnell IL, Greene DG: The reservoir function of the left atrium during ventricular systole. *Am J Med* 37: 36-43, 1964
- Ozaki M, Ikezono T, Hesaka K, et al: Clinical application of a new right subcostal approach in the evaluation of interatrial septal motion. *J Cardiology* 13: 661-674, 1983
- Matsuzaki M, Tohma Y, Anno Y, et al: Esophageal echocardiographic analysis of atrial dynamics. *Am Heart J* 109: 355-362, 1985
- Matsuda Y, Toma Y, Ogawa H, et al: Importance of left atrial function in patients with myocardial infarction. *Circulation* 67: 566-571, 1983
- Matsuda Y, Toma Y, Moritani K, et al: Assessment of left atrial function in patients with hypertensive heart disease. *Hypertension* 8: 779-785, 1986
- Toma Y, Matsuda Y, Moritani K, et al: Left atrial filling in normal human subjects: relation between left atrial contraction and left atrial early filling. *Cardiovasc Res* 21: 255-259, 1987
- Slutsky RA, Mancini GBJ, Gerber KH, et al: Analysis of ventricular emptying and filling indexes during acute increase in arterial pressure. *Am J Cardiol* 51: 468-475, 1983
- Hammermeister KE, Brooks RC, Warbasse JR: The rate of change of left ventricular volume in man. *Circulation* 49: 729-738, 1974
- Bough EW, Gandsman EJ, Shulman RS: Measurement of normal left atrial function with gated radionuclide angiography. *Am J Cardiol* 48: 473-478, 1981
- Teichholz LE, Kreulen T, Herman MV, et al: Problems in echocardiographic volume determinations: Echocardiographic-angiographic correlations in the presence or absence of asynergy. *Am J Cardiol* 37: 7-11, 1976
- Maeda T, Matsuzaki M, Anno Y, et al: Two-dimensional echocardiographic evaluation of left atrial shape and size. *J Cardiology* 14: 311-321, 1984
- Hamby RI, Zeldis SM, Hoffman I, et al: Left atrial size and left ventricular function in coronary artery disease: An echocardiographic-angiographic correlative study. *Cathet Cardiovasc Diagn* 8: 173-183, 1982
- Rankin JS, McHale PA, Arentzen CE, et al: The three-dimensional dynamic geometry of the left ventricle in the conscious dog. *Circ Res* 39: 304-313, 1976
- LeWinter MM, Kent RS, Kroener JM, et al: Regional differences in myocardial performance in the left ventricle of the dog. *Circ Res* 37: 191-199, 1975
- Strunk BL, Fitzgerald JW, Lipton M, et al: The posterior aortic wall echocardiogram: Its relationship to left atrial volume change. *Circulation* 54: 744-750, 1976
- Akgun G, Layton C: Aortic root and left atrial wall motion: An echocardiographic study. *Br Heart J* 39: 1082-1087, 1977
- Gramiak R, Shan PM, Kramer DH: Ultrasound cardiography: Contrast studies in anatomy and function. *Radiology* 92: 939-948, 1969

Summary

Effect of Left Ventricular Systolic Function on Left Atrial Filling —Clinical Study Using Radionuclide Angiography—

Kaoru FUJII, Masaharu OZAKI, Takashi YAMAGISHI, Kenji ISHINE,
Kazuhiko MATSUMURA, Yuji FURUTANI, Hiroyuki NAGANO,
KOUZO YAMAMOTO and Reizo KUSUKAWA

Second Department of Internal Medicine, Yamaguchi University School of Medicine

The effect of left ventricular (LV) systolic function on left atrial (LA) filling was studied using radionuclide angiography (RNA) and echocardiography in 17 normal subjects and in 40 patients with various heart disease who had no regurgitant or shunt flow. The LV and LA time-activity curves (TAC) and these first-derivative curves were derived from RNA. The peak rate of LA filling during the atrial filling phase was normalized to the LA maximal counts and was defined as the LA peak filling rate (LAF-PFR). In all patients and normal subjects, the LV peak ejection rate (LVs-PER) occurred at a time close to that of LAF-PFR (131 ± 22 msec (mean \pm SD) vs. 140 ± 35 msec, NS). With use of the following equations, the peak rates of the LV emptying or LA filling determined by the RNA were converted from counts/sec to ml/sec by equating the echocardiographically-

derived LV end-diastolic volume or LA maximal volume to the LV end-diastolic counts or the LA maximal counts, respectively.

$LVs\text{-max } dV/dt \text{ (ml/sec)}$

$= LVs\text{-PER} \times (LV \text{ end-diastolic volume})$

$LAF\text{-max } dV/dt \text{ (ml/sec)}$

$= LAF\text{-PFR} \times (LA \text{ maximal volume})$

There was a significant positive correlation between the LVs-max dV/dt , an index of LV systolic function, and the LAF-max dV/dt , an index of LA filling function ($r=0.57$, $p<0.001$) in all patients and normal subjects. This indicates that the LA peak filling rate increases progressively as the LV peak ejection rate.

Thus, these results suggest that the LA filling might be affected by the LV systolic function.

Key words: Left atrial filling, Left ventricular systolic function, Atrioventricular interaction.