

左房・左室造影法による左室拡張期  
左房機能の検討

*Left Atrial Function During Left Ven-  
tricular Diastole Evaluated by Left  
Atrial Angiography and Left Ven-  
triculography*

加川 憲作  
荒川 迪生  
三輪 啓志  
野田 俊之  
西垣 和彦  
伊藤 義巳  
平川 千里

Kensaku KAGAWA  
Michio ARAKAWA  
Hiroshi MIWA  
Toshiyuki NODA  
Kazuhiko NISHIGAKI  
Yoshimi ITO  
Senri HIRAKAWA

**Abstract**

The left atrium (LA) stores part of the right ventricular stroke volume during ventricular systole for passive release into the left ventricle (LV) during ventricular early diastole and active release during ventricular late diastole (passive and active contraction). The rest of the right ventricular stroke volume flows through the LA from the pulmonary vascular bed to the LV (LA conduit function). The factors affecting these LA functions were evaluated during ventricular diastole by left atrial angiography and left ventriculography in 21 patients with normal LV ejection fraction (0.53-0.76), but without coronary artery disease and valvular heart disease, aged 40-70 years. LV stroke volume was calculated from left ventriculograms. The maximal LA volume, minimal LA volume, and LA volume at the beginning of the left atrial active contraction were calculated from the left atrial angiograms, and further corrected by a regression equation (true volume = 0.91 × calculated volume - 1.1). The LA reservoir volume, LA passive contraction volume, LA active contraction volume, and LA conduit volume were obtained.

LA conduit volume correlated significantly with LV stroke volume ( $r=0.97$ ), but not with maximal LA volume and LA reservoir volume. LA active contraction volume correlated significantly with LA reservoir volume, LA volume at the beginning of LA active contraction, and maximal LA volume ( $r=0.85, 0.60, 0.54$ , respectively). LA passive contraction volume did not correlate with any factor, and was grossly independent of LV stroke volume.

LA conduit volume may be associated with LV diastolic function, and LA active contraction volume appears to increase with increased LA volume.

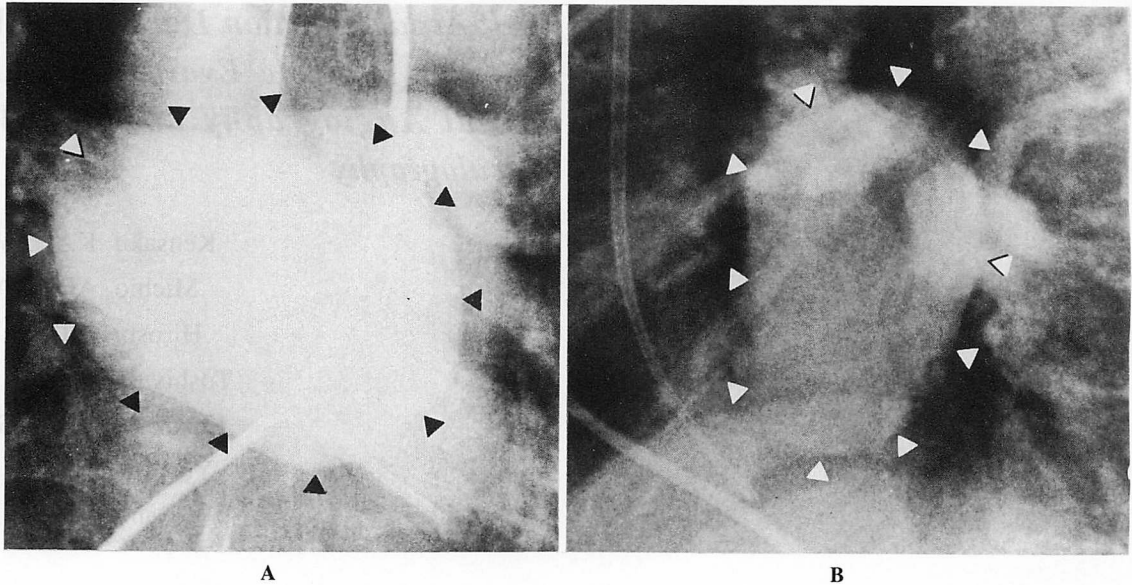
**Key Words**

**left atrial angiography, left atrial function, active left atrial contraction volume, passive left atrial contraction volume, left atrial conduit volume**

はじめに

左室収縮期に左房は右室から駆出された血液(1回拍出量)の一部を貯留する。次いで左室拡張期に左房は

この貯留血液を左室へ受動的および能動的に駆出する。また左室拡張期に左房は導管として肺血管床の血液を左室へ流入させる。すなわち左室拡張期における左房には、1) 受動的収縮、2) 能動的収縮、3) 導管の



**Fig. 1** Angiocardiograms of the left atrium at the end of ventricular systole (63 yrs, man)  
Arrows indicate the margin of the left atrium.  
A: posteroanterior projection B: left lateral projection

3機能がある。これらの機能は左室や左房の収縮機能と拡張機能とに影響されていると考えられ、心血管造影法、心プールシンチグラフィ法などにより検討されている<sup>1-12)</sup>。

左室1回拍出量は左房受動的収縮量、左房能動的収縮量と左房導管量との和に等しいが、心血管造影法による左房・左室容積計測からの研究では、左室1回拍出量と相関するのは左房導管量であり<sup>11)</sup>、左房能動的収縮量は能動的収縮直前の左房容積と相関する<sup>9-10)</sup>。

これらの研究では、左房容積の計測には左房を楕円体と仮定する area-length 法と回帰式とを用いているが、左房は楕円体よりいくらか変形した球体である。したがって、以前からわれわれの提唱している Simpson 法と回帰式とを用いて左房容積を計測することにより、上記の研究結果の妥当性を確認するとともに、左室拡張期の左房機能と左房各容積との関係をさらに詳細に検討した。

## 対 象

診断の目的で心臓カテーテル検査法を受けた患者のうち、左室駆出分画がほぼ正常(0.53-0.76)で、有意な冠動脈狭窄および弁疾患が存在せず、心内圧の正常な40-70歳(平均年齢55.3歳)の患者21例を対象とした(Table 1)。

## 方 法

### 1. 左房・左室造影法

心臓カテーテル検査中に、心内圧記録後総量40mlの造影剤(イオパミドール)を左室内に毎秒10mlの速度で注入し、30°右前斜位1方向左室造影像を毎秒50コマで撮影した。次いで血行動態が左室造影前と同じ状態に回復するのを待ち、総量40mlの造影剤を肺動脈主幹部または右房から毎秒20mlの速度で注入し、正・側2方向左房造影像を毎秒50コマで撮影した(Fig. 1)。

### 2. 左房容積の計測

左房容積は従来 area-length 法により計測されてきたが<sup>9-11,13,14)</sup>、左房の形態はいくらか変形した球体であるために、本法による容積の計測精度は十分であるとはいえない。われわれは Simpson 法と回帰式とによる計測法を以前より提唱している<sup>15-17)</sup>ので簡単に述べる。臨床的に撮影する方法と同様の条件で10例のヒト死体左房鑄型を撮影し、Simpson 法で左心耳を除いて左房容積(calculated volume:  $V_{calc}$ )を求めた。水置換法で左房鑄型容積(true volume:  $V_{true}$ )を求め両者を比較した(Fig. 2-A)。Simpson 法により求めた容積は  $V_{true}$  より大きい傾向が認められたため、以下の回帰式で補

Table 1 Patient profiles and cineangiographic variables

Patient No.	Age (yrs)	Diagnosis	LVEDV (ml)	LVESV (ml)	LVSV (ml)	LVEF	LAV <sub>max</sub> (ml)	LAV <sub>min</sub> (ml)	LAVd (ml)	LARV (ml)	LAPCV (ml)	LAACV (ml)	LACV (ml)
1	40	VSA	92.5	27.9	64.7	0.70	36.3	16.7	29.3	19.6	7.0	12.6	40.8
2	57	VSA	73.9	25.3	48.6	0.66	43.3	17.8	34.6	25.5	8.7	16.8	25.6
3	55	VPC	69.3	32.4	36.9	0.53	39.5	15.3	29.6	24.2	9.9	14.3	14.6
4	65	VSA	75.5	26.7	48.8	0.65	47.0	19.1	38.2	27.9	8.8	19.1	24.7
5	70	HTN	71.8	20.3	51.5	0.72	44.8	21.3	39.8	23.5	5.0	18.5	28.1
6	63	VSA	61.9	19.3	42.6	0.69	43.0	20.6	35.2	22.7	8.1	14.6	20.3
7	69	VSA	64.7	30.3	34.4	0.53	51.0	29.1	43.2	21.9	7.8	14.1	14.4
8	40	Chest pain	66.5	28.9	37.7	0.57	36.8	17.1	27.3	19.7	9.5	10.2	16.7
9	46	Post myocarditis	81.0	21.0	60.0	0.74	45.3	16.0	35.0	29.3	10.3	19.0	38.0
10	45	VPC	106.6	39.4	67.2	0.63	63.4	31.6	50.2	31.8	13.2	18.6	38.0
11	51	Chest pain	66.5	16.2	50.3	0.76	49.2	22.8	36.5	26.4	12.7	13.7	27.9
12	42	MVP	73.8	28.3	45.5	0.62	38.3	18.8	28.9	19.5	9.4	10.1	25.1
13	41	Chest pain	79.5	29.6	49.9	0.63	39.2	14.3	29.5	24.9	9.7	15.2	27.2
14	44	VPC	68.0	32.1	35.9	0.53	42.7	21.6	32.3	21.1	10.4	10.7	13.7
15	60	Chest pain	68.7	16.3	52.4	0.76	41.8	15.1	32.6	26.7	9.2	17.5	23.0
16	52	Chest pain	63.7	23.0	40.7	0.64	44.0	18.6	34.0	25.4	10.0	15.4	15.6
17	70	Chest pain	56.0	19.1	36.9	0.66	39.5	16.3	31.6	23.2	7.9	15.3	17.9
18	61	Lung sarcoidosis	66.8	22.2	44.6	0.67	53.5	24.6	43.0	28.9	10.5	18.4	22.7
19	60	VSA	61.8	23.3	38.5	0.62	56.9	30.0	45.8	26.9	11.1	15.8	14.2
20	67	VSA	66.5	25.1	41.4	0.62	43.8	17.8	34.9	25.9	8.9	17.1	18.5
21	63	VSA	60.3	19.8	40.5	0.67	54.1	26.4	44.5	27.7	9.6	18.1	17.8
mean	55.3		71.2	25.1	46.1	0.65	45.4	20.5	36.0	24.9	9.4	15.5	23.1
±SD	10.6		11.5	5.9	9.3	0.07	7.1	5.1	6.3	3.4	1.8	2.9	8.2

LVEDV = left ventricular end-diastolic volume; LVESV = left ventricular end-systolic volume; LVSV = left ventricular stroke volume; LVEF = left ventricular ejection fraction; LAV<sub>max</sub> = maximal left atrial volume; LAV<sub>min</sub> = minimal left atrial volume; LAVd = left atrial volume at the beginning of left atrial active contraction (i.e. left atrial volume at d-point); LARV = left atrial reservoir volume; LAPCV = left atrial passive contraction volume; LAACV = left atrial active contraction volume; LACV = left atrial conduit volume; VSA = vasospastic angina pectoris; VPC = ventricular paroxysmal contraction; HTN = hypertension; Chest pain = atypical chest pain; MVP = mitral valve prolapse

正した。

$$V_{true} (ml) = 0.91 \times V_{calc} (ml) - 1.1$$

$$(r = 0.995, p < 0.001)$$

この方法による左房容積計測の同一検者による臨床的な再現性は良好であり (Fig. 2-B), また 2 人の検者間の一致性も良好であった (Fig. 2-C)。

### 3. 諸変数の測定

左室造影から Kennedy らの方法<sup>18)</sup>により, 左室拡張期末容積, 左室収縮期末容積, 左房能動的収縮直前の左室容積を計測した。左室 1 回拍出量は拡張期末容積 - 収縮期末容積として求めた。また左房能動的収縮直前までに左室は左房受動的収縮および左房導管両機能により充満されるので, この左室容積増加分を左室能動的収縮直前の左室容積 - 左室収縮期末容積として

求めた。

左房造影から, 左房最大容積, 左房最小容積, 左房能動的収縮直前の左房容積を計測した。

左房容積から左房機能を表す指標として左房貯留量, 左房受動的収縮量, 左房能動的収縮量, 左房導管量を以下の方法で計算した (Fig. 3)。

左房貯留量: 最大容積 - 最小容積

左房受動的収縮量: 最大容積 - 能動的収縮直前容積

左房能動的収縮量: 能動的収縮直前容積 - 最小容積

左房導管量: (左室容積 - 左室収縮期末容積) - 左房受動的収縮量

なお容積は体表面積で基準化した (Table 1)。

容積から推定する左房機能 (左房導管量, 左房受動的収縮量, 左房能動的収縮量) は左房・左室容積 (左室 1 回拍出量, 左房最大容積, 左房能動的収縮直前の左

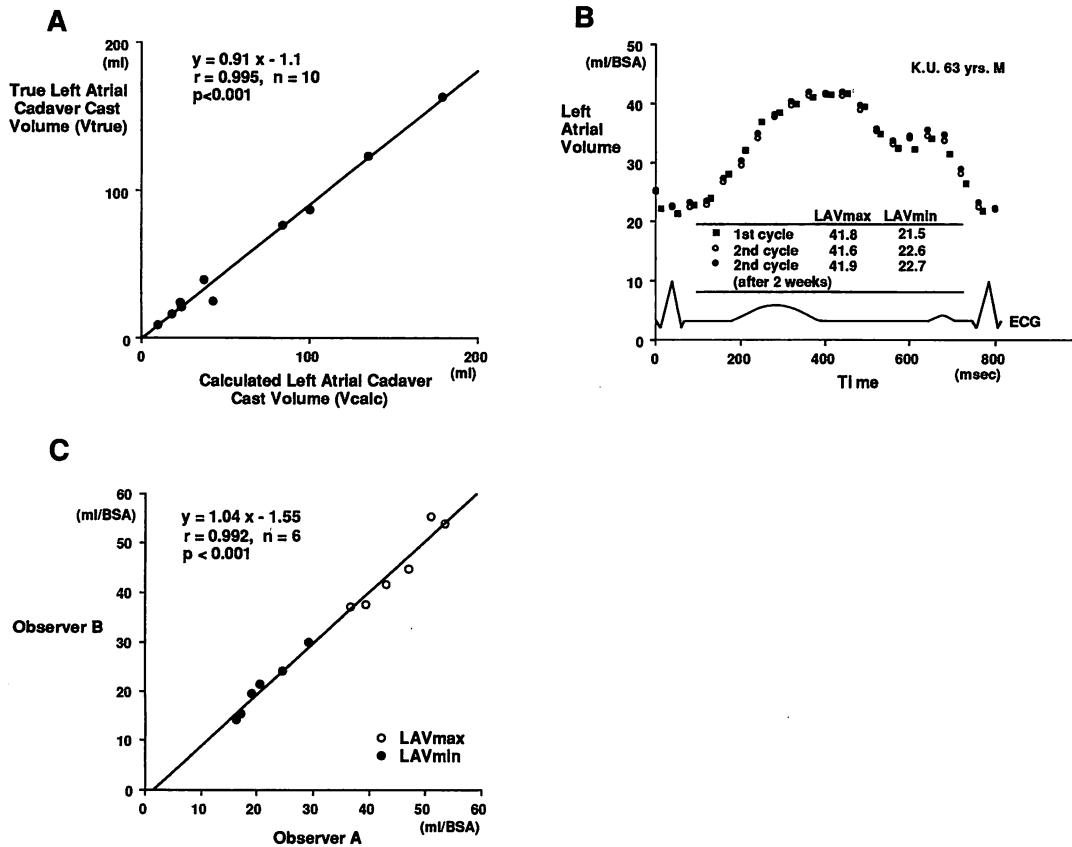


Fig. 2 Calculation of left atrial cadaver cast

**A**: True volume of the left atrial cadaver cast as a function of calculated volume of left atrial cadaver cast. Ten human cadaver casts of the left atrium are made and photographed by biplane cineangiography. The volumes of the cadaver casts were calculated by Simpson's rule and measured by the water replacement method. Calculated volumes ( $V_{calc}$ ) on the X axis tend to be larger than the measured true volume ( $V_{true}$ ) on the Y axis. The regression equation [ $V_{true} = 0.91 \times V_{calc} - 1.1$  ( $r = 0.995, p < 0.001$ )] was used to correct the calculated volumes.

**B**: Intraobserver reproducibility of left atrial volume measurement. The first and the second cycles of a left atrial angiogram were measured and the second cycle measured again after 2 weeks. The series of volumes 40 msec apart were in close agreement.

**C**: Interobserver reproducibility of left atrial volume measurement. The maximal volume (LAV<sub>max</sub>) and minimal volume (LAV<sub>min</sub>) of the six patients were studied. The agreement between two observers was excellent.

ECG=electrocardiogram. Other abbreviations as in Table 1.

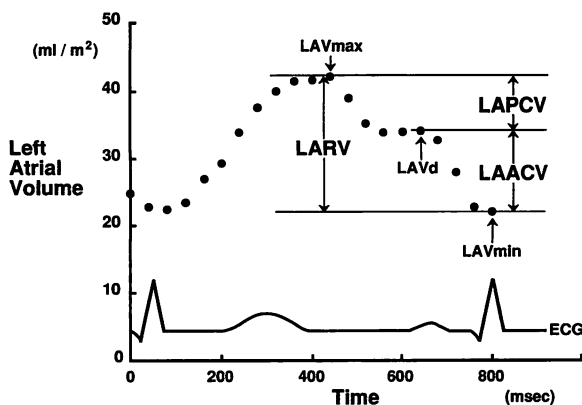


Fig. 3 Representative left atrial volume-time profile during one cardiac cycle, obtained from left atrial angiography

LARV: difference between maximal left atrial volume and minimal left atrial volume, LAPCV: difference between maximal left atrial volume and left atrial volume at the beginning of left atrial active contraction (*i.e.* left atrial volume at d-point), LAACV: difference between left atrial volume at d-point and minimal left atrial volume. Each volume is normalized to the body surface area.

Abbreviations as in Table 1.

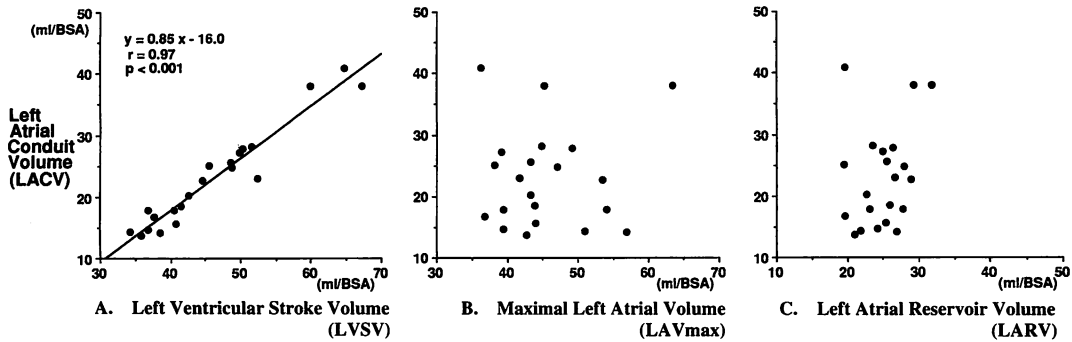


Fig. 4 Relationships between left atrial conduit volume and left ventricular stroke volume, maximal left atrial volume, and left atrial reservoir volume

Left atrial conduit volume was highly correlated with left ventricular stroke volume.

房容積、左房貯留量)と関連があると考えられるので、各左房機能と左房・左室容積との間の相関関係を検討した。

#### 4. 統計処理

統計解析には、最小二乗法による直線回帰式を求め、相関係数を求めた。  $p < 0.05$  を統計的に有意とした。

## 結 果

### 1. 左房導管量と左房導管量に影響を与えると考えられる因子との関係

左室1回拍出量と左房導管量との相関は良好(Fig. 4-A)であったが、左房最大容積(Fig. 4-B)や左房貯留量(Fig. 4-C)と左房導管量との相関は有意ではなかった。

これらの結果より、左房導管量は左室1回拍出量の増加とともに増加する。したがって左房導管量が左室1回拍出量に占める比率は、左室1回拍出量が大きな心臓では、小さな心臓に比べて大きいことがわかる。

### 2. 左房能動的収縮量と左房能動的収縮量に影響を与えると考えられる因子との関係

左房貯留量と左房能動的収縮量との相関はよく(Fig. 5-D)、左房能動的収縮直前の左房容積(Fig. 5-C)や左房最大容積(Fig. 5-B)と左房能動的収縮量との相関も有意であった。しかし左房能動的収縮量と左室1回拍出量との相関は認めなかった(Fig. 5-A)。

これらの結果より、左房能動的収縮量は左房容積とは密接に関連し、とくに左房貯留量が大きくなれば左

房能動的収縮量が増加すると考えられる。

### 3. 左房受動的収縮量と左房受動的収縮量に影響を与えると考えられる因子との関係

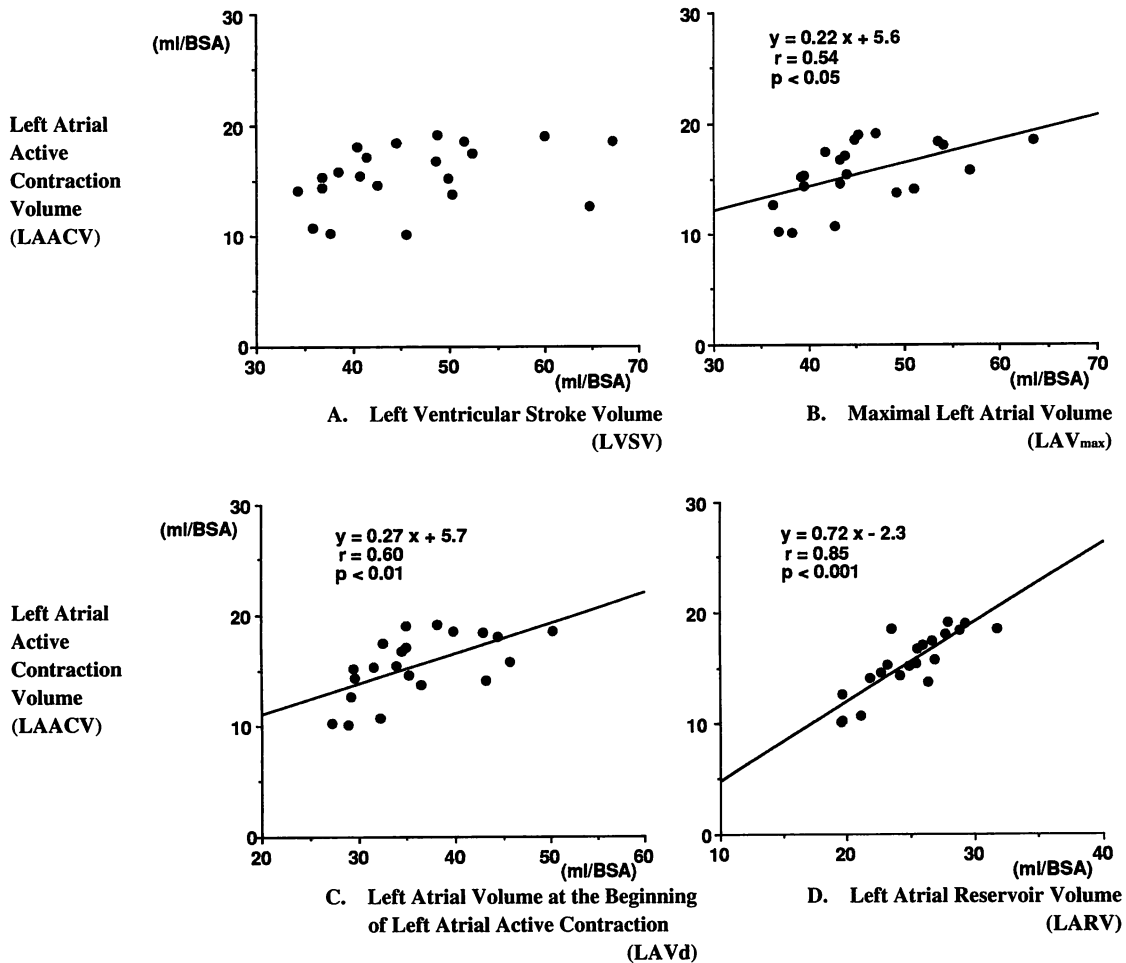
左室1回拍出量、左房最大容積、左房能動的収縮直前の左房容積、左房貯留量のいずれもが左房受動的収縮量との相関は有意でなく、左房受動的収縮量は平均  $9.4 \pm 1.8$  ml/BSA とほぼ一定であった(Fig. 6)。

## 考 察

### 1. 左房導管量

左室拡張期の僧帽弁開放時から左房能動的収縮直前までの期間、左房は導管として機能する。左房容積がほとんど変化しない左室緩徐充満期には、左房は狭義の導管として作用し、肺血管床から左室への血液流入は、左室の拡張性に影響される。肺静脈から左房・左室の共通の部屋へ流入する血液量の一部は、左房および左室の拡張期コンプライアンスの比に従って分布し、左房をわずかばかり充満するが<sup>14)</sup>、そのほとんどは左室を充満する。しかし左房の容積が受動的に減少する左室拡張早期における左室容積増加量は、左房受動的収縮量と左房導管量との和であるので、この期間の左房導管量を検討することは容易ではない。

僧帽弁開放時から左房能動的収縮直前までの期間に、肺血管床から左房を通過して左室に流入する血液量を左房導管量と定義するとき、大動脈弁逆流または僧帽弁逆流が存在しなければ、左室1回拍出量は左房導管量と、左房受動的収縮量および能動的収縮量を合計した左房貯留量との総和となる。心筋梗塞患者を対象とした心血管造影法による研究では、左室1回拍出



**Fig. 5** Relationships between left atrial active contraction volume and left ventricular stroke volume, maximal left atrial volume, left atrial volume at the beginning of left atrial active contraction, and left atrial reservoir volume  
 Left atrial active contraction volume was highly correlated with left atrial volume at the beginning of left atrial active contraction and left atrial reservoir volume, indicating the presence of the so-called Frank-Starling mechanism in the left atrium.

量は左房導管量とは相関するが、左房受動的収縮量や左房能動的収縮量とは相関しない<sup>11)</sup>。

左室駆出分画のほぼ正常な心臓の左房機能を検討した今回のわれわれの成績も同様に左室1回拍出量は左房導管量と相関し、また左房最大容積、左房貯留量と左房導管量は無関係であった。この事実より左室1回拍出量が多い心臓は、左室拡張性がよりよいと推定されるので、左房導管量は左室拡張性の影響を受けていることが示唆される。

## 2. 左房能動的収縮量

左房能動的収縮量は、加齢などに伴う左室早期充満の低下を代償するかのごとく増大すると考えられている。左房能動的収縮直前の左房容積を左房前負荷と考

えると、前負荷の増加に伴い左房能動的収縮量は増加するので、左房においても Frank-Starling 機序が存在すると考えられている<sup>9-10)</sup>。また高血圧性心疾患患者では、左房収縮力の増大が関与していると報告されている<sup>12)</sup>。

左室駆出分画がほぼ正常な患者を対象とした本研究でも、前負荷が増大すると左房能動的収縮量が増大する関係が認められた。しかしながら、これは異なる心臓間の左房能動的収縮直前の容積と左房能動的収縮量との関係を検討しているのので、厳密な意味では Frank-Starling 機序とはいえないことに留意する必要がある。

一方、左房最大容積が大きくなるにつれて、左房貯留量および左房能動的収縮直前の容積も大きくなり、その結果、左房能動的収縮量が増加すると推定される。

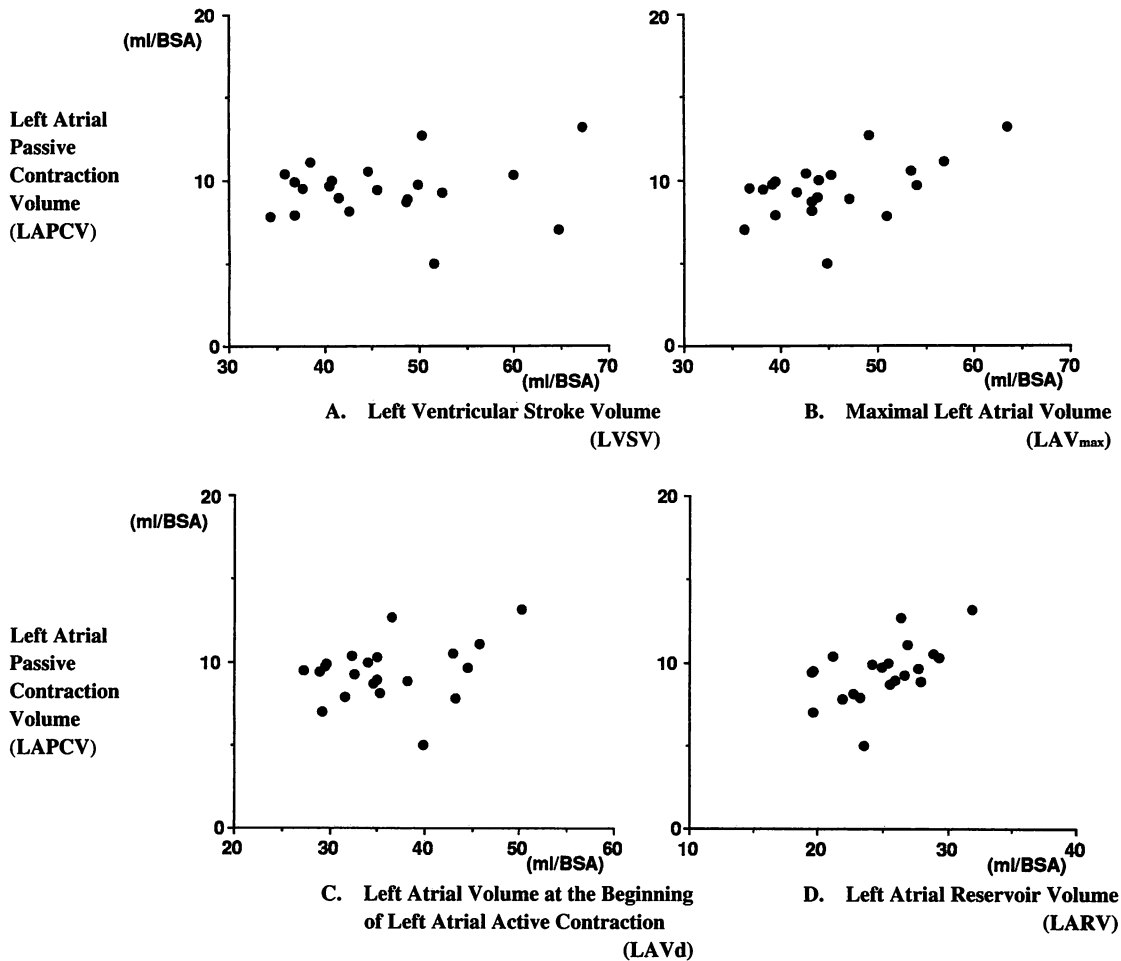


Fig. 6 Relationships between left atrial passive contraction volume and left ventricular stroke volume, maximal left atrial volume, left atrial volume at the beginning of left atrial active contraction, and left atrial reservoir volume

Left atrial passive contraction volume was constant and independent of left ventricular stroke volume.

すなわち左房能動的収縮量は各時相の左房容積と密接な関連があると考えられる。また左室駆出分画の正常な患者で左房能動的収縮量が多い患者では、左房最大容積と最小容積はともに増加していた。したがって左房能動的収縮量の増加に伴い、左房容積は全体として増加すると考えられた。

なお左房能動的収縮時には、駆出血液の一部が肺静脈へと逆流する<sup>19)</sup>。左室拡張期末圧が上昇する例では左房能動的収縮が増大する結果、肺静脈への逆流量が増加する。この場合には、左房能動的収縮量は実際の左室への駆出量よりも大きくなるために、左室1回拍出量に対する左房能動的収縮量は過大評価されることになる。しかしながら、今回の対象では左室拡張期末圧は正常であるので、肺静脈への逆流量を無視しうると考えた。

### 3. 左房受動的収縮量

左室収縮期に左房は右室から駆出される1回拍出量の一部を貯留する。この結果、左房内圧は上昇し、左室拡張開始時の左房血液駆動圧を形成し、左室の早期充満を補助すると考えられる。左房と肺静脈を併せて考えると、僧帽弁の開放とともに左房の貯留血液と左房を導管として肺血管床から通過する血液とにより左室は充満され、左房受動的収縮量はこの左房から左室への早期流入過程の一部を反映する。

本研究の成績では左房受動的収縮量はどの時相の左房容積とも相関がなく、平均すると他の報告と同様に左室1回拍出量の約25%<sup>8-9)</sup>を占めていたが、実際には左室1回拍出量にかかわりなくほぼ一定であった。

前述したごとく左室拡張早期には、左房の受動的収縮により左室へ駆出される血液量と、肺血管床から左

房を導管として通過して左室に流入する血液量とが競合することにより左房の受動的収縮量が決定されると推定されるが、その機序は複雑で今後解明すべき課題である。

なお本研究では、左室緩徐充満期にわずかながら増加する左房容積を無視しているために左房受動的収縮量はやや過小評価されている危険性はある。

## 結 語

左室拡張期の左房機能(導管, 能動的収縮, 受動的収縮)に影響を与える因子を左房・左室造影法を用いて検討し, 次の結果を得た。

1. 左房導管量は, 左室1回拍出量とよく相関したが, 各時相の左房容積とは相関しなかった。左房導管量は左室1回拍出量の大小と関連することが示唆された。
2. 左房能動的収縮量は, 左房貯留量, 左房能動的収縮直前の左房容積, 左房最大容積と相関したが, 左室1回拍出量とは相関しなかった。左房能動的収縮の増加は各時相の左房容積の増加と強く関連することが示唆された。
3. 左房受動的収縮量は, 左室1回拍出量や各時相の左房容積のいずれとも相関せず, ほぼ一定であった。

## 要 約

左房は左室収縮期に血液を貯留し, 左室拡張早期および後期に, それぞれ受動的および能動的収縮により左室に血液を駆出する。また左房は導管として, 肺血管床の血液を左室へ流入させる。すなわち左室拡張期における左房には, 受動的収縮, 能動的収縮, 導管の3機能があるが, 詳細な成績はない。左室拡張期の左房機能を左房・左室造影法を用いて検討した。

対象は心臓カテーテル検査法を受け, 左室駆出分画がほぼ正常(0.53-0.76)で, 冠動脈に有意狭窄のない非弁膜疾患患者21例(40-70歳)であった。30°右前斜位1方向左室造影像から, Kennedyらの方法により左室1回拍出量を求めた。正・側2方向左房造影像から左房最大容積, 最小容積, 左房能動的収縮直前の容積をSimpson法により求め, われわれの既報の回帰式で補正した。容積から推定する左房機能, すなわち左房導管量, 左房能動的収縮量, 左房受動的収縮量を計測した。その結果,

1. 左房導管量(LACV)は, 左室1回拍出量(LVSV)とよく相関した( $LACV=0.85 \times LVSV - 16.0, r=0.97$ )が, 各左房容積とは相関しなかった。
  2. 左房能動的収縮量(LAACV)は, 左房貯留量(LARV), 能動的収縮直前の左房容積(LAVd), 左房最大容積(LAV<sub>max</sub>)とよく相関した( $LAACV=0.72 \times LARV - 2.3, r=0.85, LAACV=0.27 \times LAVd + 5.7, r=0.60, LAACV=0.22 \times LAV_{max} + 5.6, r=0.54$ )が, 左室1回拍出量とは相関しなかった。
  3. 左房受動的収縮量は, 左室1回拍出量, 各左房容積と相関はなくほぼ一定であった。
- 以上から, 左房導管量は左室1回拍出量の大小と関連し, 左房能動的収縮量は左房容積の大小と関連することが示唆される。

J Cardiol 1994; 24: 317-325

## 文 献

- 1) Braunwald E, Frahm CJ: Studies on Starling's law of the heart: IV. Observations on the hemodynamic functions of the left atrium in man. *Circulation* 1961; **24**: 633-642
- 2) Grant C, Bunnell IL, Greene DG: The reservoir function of the left atrium during ventricular systole. *Am J Med* 1964; **37**: 36-43
- 3) Preger L, Dayem MKA, Goodwin JF, Steiner RE: Angiographic studies of pericardial disease. *Lancet* 1965; **II**: 701-706
- 4) Hawley RR, Dodge HT, Graham TP: Left atrial volume and its changes in heart disease. *Circulation* 1966; **34**: 989-996
- 5) Murray JA, Kennedy JW, Figley MM: Quantitative angiocardiology: II. The normal left atrial volume in man. *Circulation* 1968; **37**: 800-804
- 6) Stott DK, Marpole DGF, Bristow JD, Kloster FE, Griswold HE: The role of left atrial transport in aortic and mitral stenosis.



- Circulation 1970; **41** : 1031-1041
- 7) 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* 1975; **59** : 686-694
  - 8) Bough EW, Gandsman EJ, Shulman RS : Measurement of normal left atrial function with gated radionuclide angiography. *Am J Cardiol* 1981, **48** : 473-478
  - 9) 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* 1983; **67** : 566-571
  - 10) 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* 1987; **51** : 1001-1009
  - 11) Toma Y, Matsuda Y, Moritani K, Ryoke T, Katayama K, Miura T, Ogawa H, Matsuda M, Matsuzaki M, Kusukawa R : Left atrial conduit function for left ventricular filling dynamics in patients with myocardial infarction. *Catheter and Cardiovasc Diag* 1989; **18** : 85-89
  - 12) Matsuzaki M, Tamitani M, Toma Y, Ogawa H, Katayama K, Matsuda Y, Kusukawa R : Mechanism of augmented left atrial pump function in myocardial infarction and essential hypertension evaluated by left atrial pressure-dimension relation. *Am J Cardiol* 1991; **67** : 1121-1126
  - 13) Sauter HJ, Dodge HT, Johnston RR, Graham TP : The relationship of left atrial pressure and volume in patients with heart disease. *Am Heart J* 1964; **67** : 635-642
  - 14) Nagano T, Arakawa M, Tanaka T, Yamaguchi M, Takaya T, Noda T, Miwa H, Kagawa K, Hirakawa S : Diastolic compliance of the left atrium in man : A determinant of preload of the left ventricle. *Heart Vessels* 1989; **5** : 25-32
  - 15) Miwa H, Arakawa M, Kagawa K, Noda T, Takaya T, Nagano T, Hirakawa S : Augmentation of left atrial contraction increases left atrial filling rate during ventricular systole. *Jpn Circ J* 1989; **53** : 584 (abstr)
  - 16) Miwa H, Arakawa M, Kagawa K, Noda T, Nishigaki K, Ito Y, Hirakawa S : Estimation of systolic storage volume ratio of the left atrium with cineangiography. *Circulation* 1991; **84** (Suppl II) : 44 (abstr).
  - 17) Arakawa M, Miwa H, Kagawa K, Noda T, Nishigaki K, Ito Y, Kato S, Kawada T, Hirakawa S : Estimation of storage fraction of the left atrium: Pulmonary vein flow velocity vs angiographic volume. *Pul Circ Res* 1993; **4** : 59-62
  - 18) Kennedy JW, Trenholme SE, Kasser IS : Left ventricular volume and mass from single-plane cineangiogram : A comparison of anteroposterior and rightanterior oblique methods. *Am Heart J* 1970; **80** : 343-352
  - 19) Naito M, Dreifus LS, David D, Michelson EL, Mardelli TJ, Kmetzo JJ : Reevaluation of the role of atrial systole to cardiac hemodynamics: Evidence for pulmonary venous regurgitation during abnormal atrioventricular sequencing. *Am Heart J* 1983; **105** : 295-302