

左室流入に占める左心房ブ
ースターポンプ機能の臨床
的・実験的検討

Left atrial booster pump
function in left ventric-
ular blood filling: Clini-
cal and experimental
analyses

後藤 信哉
赤石 誠
松原 隆
西川 泰弘
池川 徹
横塚 仁
小川 聡
半田俊之介
中村 芳郎

Shinya GOTO
Makoto AKAISHI
Takashi MATSUBARA
Yasuhiro NISHIKAWA
Tohru IKEGAWA
Hitoshi YOKOZUKA
Satoshi OGAWA
Shunnosuke HANDA
Yoshiro NAKAMURA

Summary

Left atrial booster pump function produces variable effects on cardiac output. Generally, cardiac output decreases by only 15-20% when atrial fibrillation occurs, however, in some cases, hemodynamic collapse occurs through loss of left atrial contraction. We evaluated the relative significance of left atrial booster pump function in acute or chronic load and in myocardial ischemia using the left ventricular volume curve. Blood entering into the left ventricle during the left atrial contraction phase (FVLA) represents the left atrial volume work, and the ratio of FVLA to the left ventricular filling volume during one cardiac cycle (%FVLA) represents the relative significance of left atrial booster pump function in cardiac output.

In dog experiments, we calculated the change in FVLA and %FVLA by measuring the left ventricular internal minor axis diameter and using Pombo's method. We also measured the change of the left atrial segment length as a direct indicator of left atrial contraction. In the acute change in preload, FVLA changed with stroke volume, but %FVLA remained unchanged. The change in FVLA correlated with the direct indicator of the left atrial excursion; the extent of the left atrial segment length (LASL). During acute change of left ventricular afterload, both FVLA and %FVLA were unchanged. In regional myocardial ischemia, both FVLA and %FVLA were increased, suggesting an increase in the left atrial booster pump function.

In clinical study, we calculated FVLA and %FVLA from the left ventricular diameter using M-mode echocardiography. In chronic volume overloading (aortic regurgitation), FVLA increased while

慶應義塾大学医学部 内科呼吸循環科
東京都新宿区信濃町 35 (〒160)

Cardiopulmonary Division, Department of Internal
Medicine, Keio University School of Medicine,
Shinanomachi 35, Shinjuku-ku, Tokyo 160

Received for publication February 6, 1990; accepted July 6, 1990 (Ref. No. 37-32)

%FVLA was maintained unchanged. The same FVLA-%FVLA relationship was observed in acute volume loading. In cases of left ventricular hypertrophy (LVH) and old myocardial infarction (MI), both FVLA and %FVLA were increased, suggesting the increased left atrial booster pump function. In these cases, the left ventricular rapid filling velocity decreased, suggesting that impairment of rapid filling caused the increase of left atrial preload and hence increased left atrial volume work.

The results of this study show that in old MI and in LVH, both left atrial volume work and the relative significance of left atrial booster pump function increase. We concluded that prevention of atrial fibrillation may be very important in these diseases.

Key words

Booster pump function

Left atrial segment length

Left ventricular volume

Diastolic dysfunction

はじめに

洞調律が心房細動となっても臨床的に大きな変化を示さない症例がある一方、血行動態が著しく悪化する症例が存在する。洞調律を維持すべきか、心房細動となっても心拍数を調節すれば血行動態の維持のためには十分であるか、そのいずれかを決定することは、抗不整脈薬の選択に際しても重要である。一般に左房ブースターポンプは心拍出量の 20% に関与しているとされるが¹⁾、高血圧による左室肥大症例²⁾、陳旧性心筋梗塞症例³⁾などでは、一回左室流入血流量に対し、左房収縮に基づく左室流入血液量の占める比率が高まっていることが示されている。しかし左室拡張機能の指標となる急速流入期左室血液流入速度、左房前負荷の指標を併せた左房機能の検討は十分に行なわれていない。

左室血液流入に占める左房ブースターポンプ機能を評価するためには、左房収縮により左室に送り込まれる血液量を計測する必要がある。我々は左室容積変化曲線から、左房収縮により左室に流入する血液量を算出した。動物実験からその合理性を検討した上、臨床例において、M モード心エコー図法により左房ブースターポンプ機能の検討を行なった。

対象と方法

1. 動物実験 (Fig. 1)

1. 実験標本およびプロトコール

雑種成犬 11 頭 (体重 11.6~32.8 kg) をペントバルビタールによる静脈麻酔下に気管内挿管し、レスピレーターにより呼吸を調節した。左側開胸した後、心膜を切開し、10% ホルマリン液 0.1~0.2 ml を洞結節に注入して洞房ブロックを作成した。右房ペースングにより心拍数を 100/分とした。

左室前壁ならびに左室後壁の心内膜面に一対の超音波クリスタルを装着し、左室短軸内径を経時的に計測した。クリスタルの位置は実験終了後に確認した。局所心筋長測定用クリスタルを左心耳を避けて左房前面に埋め込み、左房局所心筋長を計測した。カテ先マンメーターを心尖部より左室へ、肺静脈から左房に挿入し、左房圧、左室圧を同時に計測した。

コントロールの計測の後、上大静脈、下大静脈内に留置したバルーンを膨らませることによって前負荷を減少させた。10% 低分子デキストラン液を 50 ml ずつ、200 ml まで輸液し、前負荷を増加させた。下行大動脈に留置したバルーンを膨らませて左室後負荷を増加させた。左冠動脈前下行枝を第一対角枝の分枝直後において結紮して左室虚血を作成した。各々負荷条件変化時の諸量を

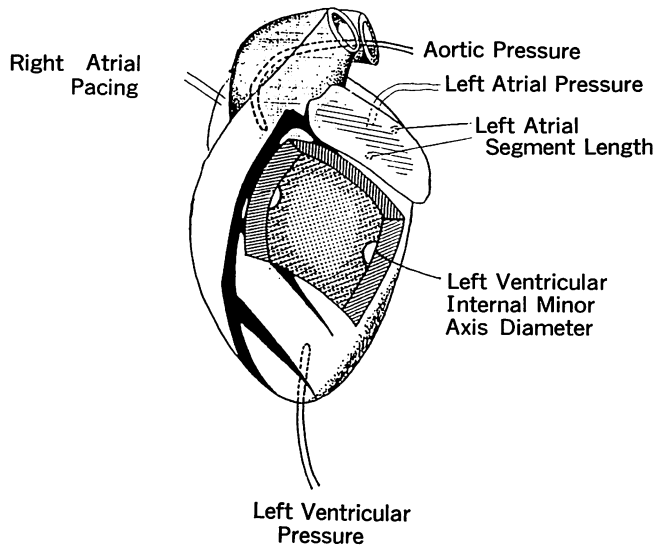


Fig. 1. Experimental preparation.

Left ventricular internal minor-axis diameter was measured by a pair of ultrasonic crystals placed on the anterior and posterior endocardial surfaces of the left ventricle. Left atrial segment length was measured by a pair of crystals inserted into the anterior surface of the left atrium.

サーマルレコーダーにより記録した。

2. データ解析

計測データはデジタイザー (Graphtec 製, MITABLET) と NEC PC-9800VM₂ を用いて 10 msec 毎にデジタル変換した⁴⁾。左室短軸内径を三乗して左室容積を近似した。Fig. 2 に示すように、A で示した左室拡張末期容積と B で示した左室収縮末期容積の差を一回左室流入血液量 (ml), A と C で示す心房収縮開始時の左室容積の差を左房収縮による左室流入血液量 FVLA (ml), FVLA の一回左室流入血液量に占める比率を %FVLA として算出した。左房局所長は左房圧 a 波の立ち上がり一致する点を左房収縮直前の左房局所長, 左房圧 a 波に引続き出現する左房局所長の最短となる点を左房収縮終期の左房局所長として計測した, 左房収縮前左房局所長と左房収縮終期左房局所長の差 Δ LASL を左房収縮の指標とした。

2. 臨床検討

1. 対象

過去一年間に当院にて心エコー図検査を施行した症例で, M モード心エコー図において心室中隔, 左室後壁の心内膜エコーが明瞭に描出できた症例を選択した。理学的所見, 心電図, 胸部レントゲン写真, 心エコー図いずれにおいても異常を認めない 20 症例を正常対照例とした。容量負荷疾患例としては大動脈弁閉鎖不全症 9 例, 左室肥大症例としては持続性高血圧症例中, 心電図上左室肥大を有し, 心エコー図にて左室中隔, 後壁の壁厚がともに 1.2 cm 以上の 7 症例を対象とした。また陳旧性心筋梗塞症例として, 心電図上異常 Q 波を有し, 心筋梗塞発症より 6 ヶ月以上経過した 6 例を用いた。

2. 心エコー図の記録

心エコー図の記録には東芝製 SSH-65B を用いた。胸骨左縁よりの左室長軸像, 短軸像, および心尖部よりの 4 腔像, 2 腔像の記録の後に, 左側臥位にて胸骨左縁より乳頭筋レベルの左室短軸

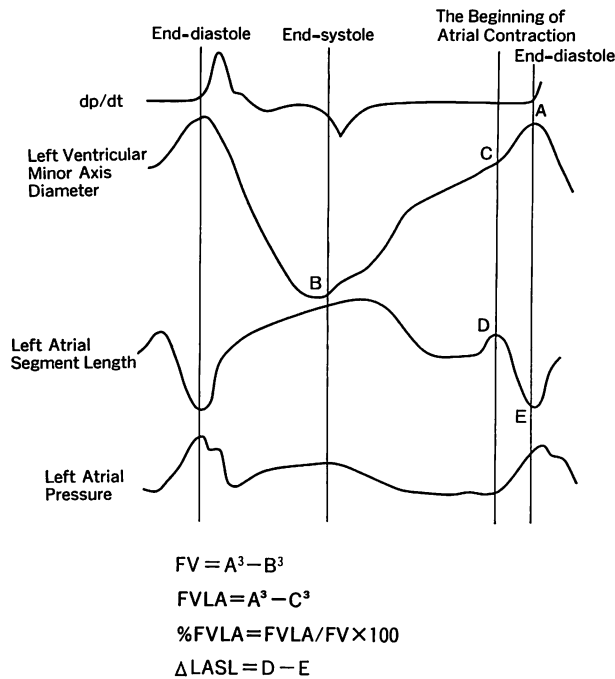


Fig. 2. Schematic diagram of changes in left ventricular internal minor axis diameter and left atrial segment length during the typical cardiac cycle.

A=left ventricular internal minor-axis diameter at end-diastole; B=left ventricular internal minor-axis diameter at end-systole; C=left ventricular internal minor-axis diameter at the onset of atrial contraction; D=left atrial segment length just before atrial contraction; E=left atrial segment length at the end of atrial contraction; FV=left ventricular filling volume during one cardiac cycle; FVLA=left ventricular filling volume by atrial contraction; %FVLA=the ratio of FVLA to FV; ΔLASL=the extent of shortening of left atrial segment length.

断層像を描出した。この断面の正中にて M モード心エコー図を 50 mm/sec の紙送り速度にて記録した。同様に大動脈-左房レベルの記録も行った。

3. データ解析

得られた記録の心室中隔側, 左室後壁側の心内膜面をトレースし, 10 msec 毎に AD 変換した。左室前後径を三乗して左室容積変化曲線を作成し, Fig. 3 のように一回左室流入血液量 (FV), FVLA, %FVLA を算出した。D で示した左室急速流入終了時の左室容積と収縮末期左室容積の差をもって, 急速流入期左室流入血液量を算出した。急速流入期の左室拡張機能の指標として, 急速流入期左室血液流入量を急速流入期時間で除し

た値, すなわち急速流入期左室血液流入速度を算出した。

大動脈-左房レベルの M モード心エコー図記録より, 左房前負荷に相当する指標として, 左房収縮前左房径 (AB) を Fig. 4 に示すように計測した。

3. 統計解析

実験結果は平均±標準偏差で示した。負荷条件変化時の各指標の変化を評価するために, コントロールを 1 とし, 各プロトコール施行時の値をコントロールに対する比として算出した。結果は平均±標準偏差で示した。比較に際しては, Student の paired t test を用い, $p < 0.05$ をもって有意と判定した。

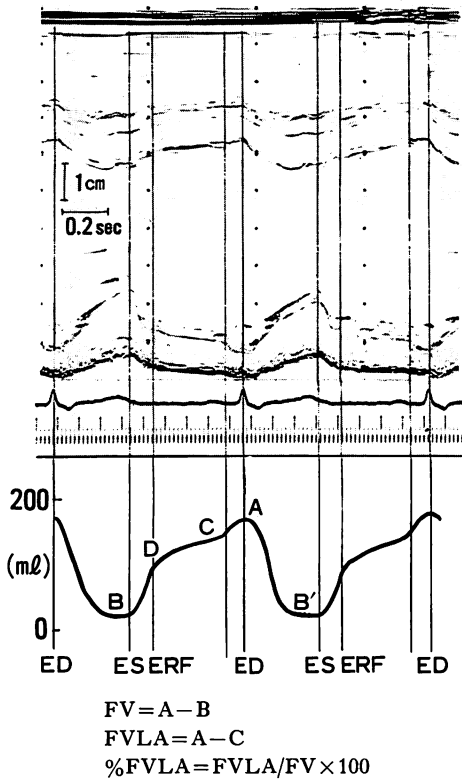


Fig. 3. Measurement method of left ventricular volume change (bottom) based on the simultaneous recordings of the electrocardiogram and left ventricular echocardiogram (top).

A=left ventricular volume at end-diastole; B=left ventricular volume at end-systole; C=left ventricular volume at the beginning of the atrial contraction; D=left ventricular volume at the end of the left ventricular rapid filling phase.

臨床データは平均±標準偏差で表示した。正常対照例と各疾患例の比較に当たっては Student の unpaired t test を用い、 $p < 0.05$ をもって有意と判定した。

結 果

1. 動物実験

コントロールおよび負荷条件変化時の血行動態を **Table 1** に示した。コントロール時の代表的な実験結果のトレースを **Fig. 5** に示した。一回左

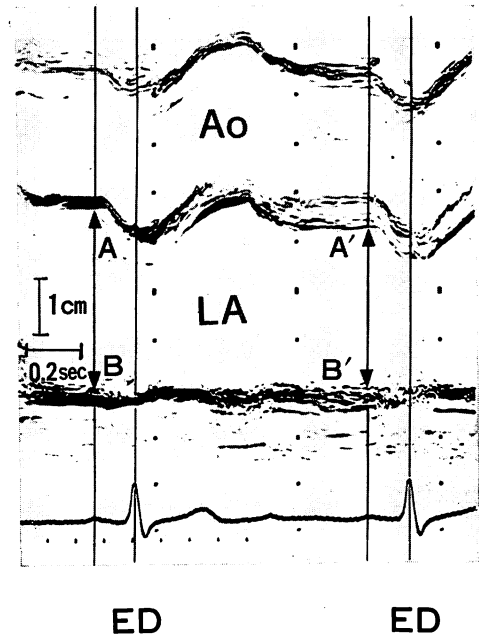


Fig. 4. Illustration of the measurement method based on the simultaneous recordings of the electrocardiogram (EKG) and left atrial echocardiogram.

Ao=aorta; LA=left atrium; A=anterior wall of the left atrium; B=posterior wall of the left atrium; A-B=distance between A and B represents the left atrial diameter at the beginning of the atrial contraction.

室流入血液量は $18.1 \pm 11.5 \text{ ml}$ 、FVLA は $5.5 \pm 3.7 \text{ ml}$ 、 $\%FVLA$ は $32.2 \pm 9.5\%$ であった。また左房収縮前左房局所長は $6.07 \pm 2.00 \text{ mm}$ 、 $\Delta LASL$ は $0.713 \pm 0.473 \text{ mm}$ であった。

負荷条件変化時、FVLA、 $\%FVLA$ は **Fig. 6** に示すように変化した。すなわちコントロールを 1 として、前負荷減少時の FVLA は 0.402 ± 0.113 に減少し ($p < 0.05$)、前負荷増加時には 1.389 ± 0.227 に増加した ($p < 0.05$)。しかしいずれの場合も $\%FVLA$ は有意の変化を示さなかった。左室後負荷増加時には FVLA、 $\%FVLA$ ともに有意の変化を認めなかった。左室虚血作成時には FVLA は 1.188 ± 0.379 に増加し ($p < 0.05$)、 $\%FVLA$ も 1.327 ± 0.310 へ増加した ($p < 0.05$)。

Table 1. Hemodynamic variables in animal experiment

	LVEDP (mmHg)	LVSP (mmHg)	LA a wave (mmHg)	FV (ml)
Control	10.3±8.9	147.1±25.7	9.2±4.2	18.1±11.5
PRE	4.3±4.9*	92.8±39.1*	3.4±2.4*	5.8± 7.9*
INF	14.2±5.0	154.1±47.7	13.4±5.4*	23.9±14.0*
AOB	10.0±5.3	182.4±28.6*	10.2±5.8	17.0± 9.2
LVI	14.8±7.5*	138.9±49.2	13.2±5.9*	16.1±11.5

Mean±SD

* p<0.05 (vs control)

LVEDP=left ventricular end-diastolic pressure; LVSP=left ventricular peak systolic pressure; LA a wave=peak pressure of left atrial a wave; FV=left ventricular filling volume during one cardiac cycle; PRE=preload reduction; INF=200 ml Dextran solution infusion; AOB=aortic constriction; LVI=left ventricular regional ischemia.

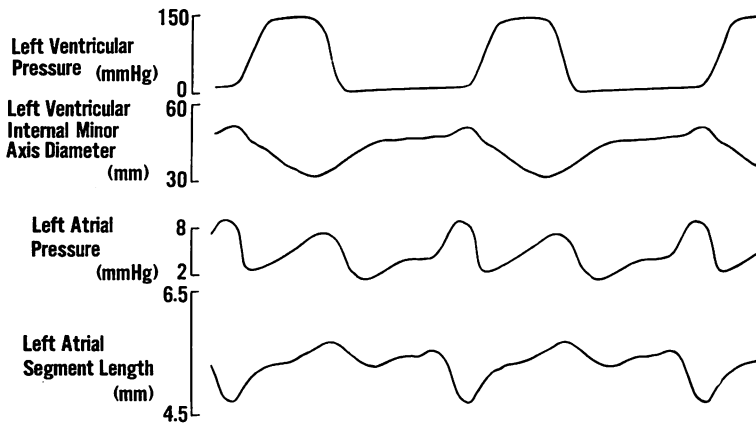


Fig. 5. Representative experimental tracing from a dog during the control state.

前負荷変化時の左房収縮前左房局所長と Δ LASL の関係を Fig. 7 に示す。左室前負荷の増減に対応して Δ LASL も増減した。

2. 臨床例

各疾患における FVLA, %FVLA を Fig. 8 に示す。正常対照例では一回左室流入血液量は 103.4 ± 24.9 ml, FVLA は 21.1 ± 7.5 ml, %FVLA は $20.4 \pm 5.9\%$ であった。容積負荷疾患例では一回左室流入血液量は 159.0 ± 79.5 , FVLA は 42.0 ± 20.6 ml と大であったもの ($p < 0.05$), %FVLA は $27.9 \pm 12.2\%$ で、正常対照例と差を認めなかった。左室肥大症例での一回左室流入血液

量は 95.0 ± 20.7 ml と正常対照例と差を認めなかったが、FVLA は 35.7 ± 4.3 ml ($p < 0.05$), %FVLA は $38.9 \pm 8.3\%$ で、いずれも正常対照例に比して大であった ($p < 0.05$)。陈旧性心筋梗塞例での左室拡張末期容量は、正常対照例の 134.7 ± 35.3 ml と比較して、 227.4 ± 105.6 ml と大であったが、一回左室流入血液量は 145.8 ± 50.3 ml で、正常対照例と差を認めなかった。FVLA は 50.4 ± 8.9 ml と大であり ($p < 0.05$), %FVLA も $34.2 \pm 3.5\%$ と大であった ($p < 0.05$)。

Fig. 9 に正常対照例および各疾患群での急速流入期左室流入速度を示す。急速流入期の速度は、

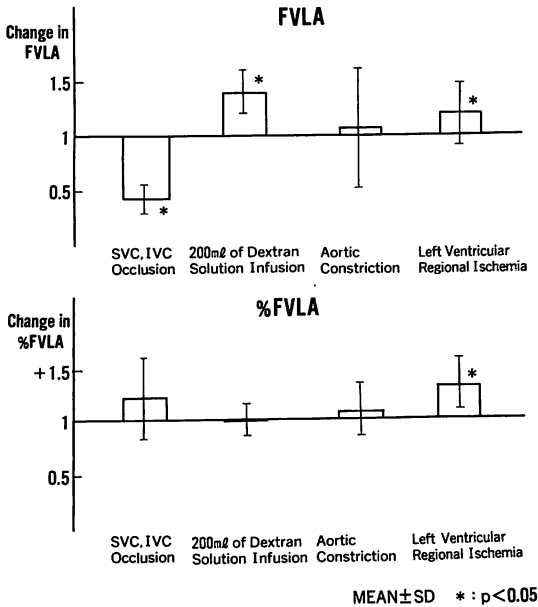


Fig. 6. Change in FVLA and %FVLA during various loading conditions in dogs.

正常対照例に比し、容量負荷例で増加の傾向を認めた。左室肥大症例、陳旧性心筋梗塞症例では、正常例と比較して低下していた ($p < 0.05$)。両疾患における左室急速流入期の左室流入障害が示唆

された。

Fig. 10 に正常対照例および各疾患群における左房収縮前左房径と FVLA の関係を示す。左房収縮前左房径は正常対照例では 2.84 ± 0.47 cm であった。FVLA の増加を認めた容量負荷疾患、左室肥大例、陳旧性心筋梗塞例ではそれぞれ 3.18 ± 0.29 cm, 3.41 ± 0.30 cm, 3.52 ± 0.49 で、正常例に比して大であった ($p < 0.05$)。しかし各疾患群間で有意差は認められなかった。

考 按

動物実験における左室前負荷増減に対応して、左房収縮前左房局所長、 Δ LASL が増減した事実は、左室の前負荷が左房容量仕事を变化させていることを示唆した。しかし左房容量仕事の変化は、%FVLA の変化を伴わず、左房プースターポンプの相対的重要性は、左室前負荷が変化しても変わらないと考えられた。慢性の左室容量負荷疾患の代表である大動脈弁閉鎖不全症例では、急性の左室前負荷増加時と同様に左房収縮前左房径、FVLA の増加が認められた。左房拡大を介する左房容量仕事の増大が示唆されたものの、%FVLA は変化しておらず、一回左室流入血液

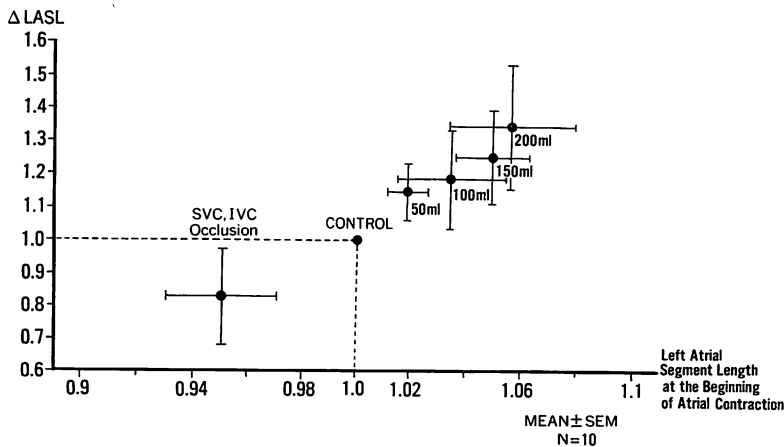
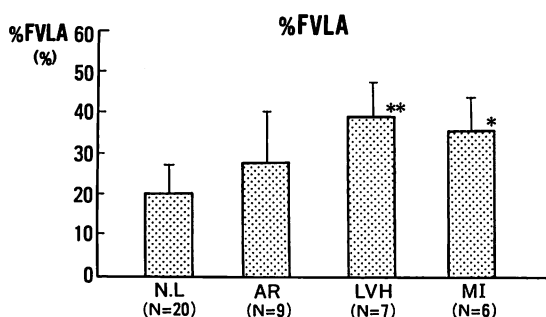
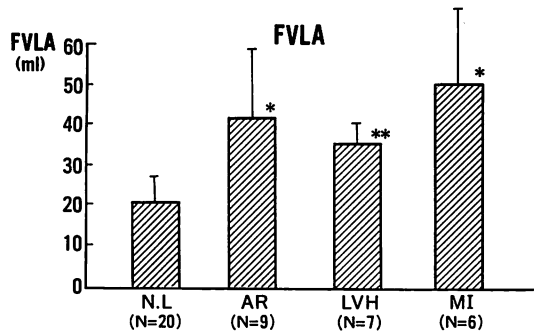


Fig. 7. Relationship between the change in left atrial segment length at the onset of atrial contraction and the change in Δ LASL with various conditions of left ventricular preload.



MEAN±SD
 * : p<0.05
 ** : p<0.01) vs N.L

Fig. 8. FVLA and %FVLA in normal subjects and patients with diseased heart.

NL=normal controls; AR=aortic regurgitation; LVH=left ventricular hypertrophy; MI=old myocardial infarction.

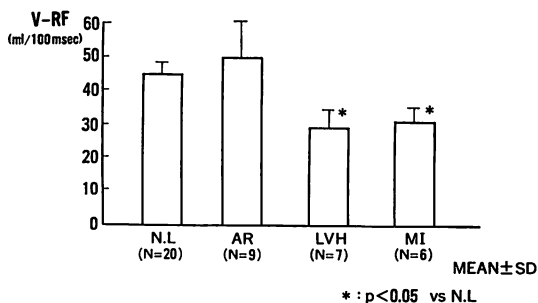


Fig. 9. The velocity of left ventricular filling (V-RF) during the left ventricular rapid filling phase.

For abbreviations: see Fig. 8.

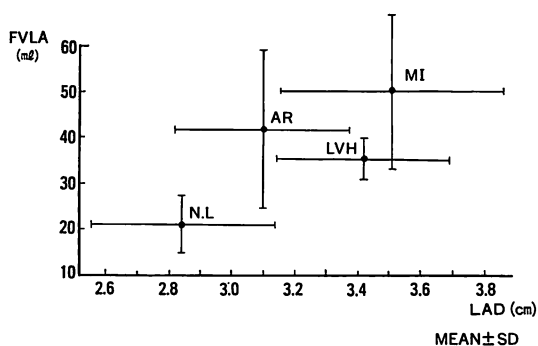


Fig. 10. Relationship between left atrial diameter at the onset of atrial contraction and FVLA in normal hearts and those with various diseases.

LAD=left atrial diameter at the onset of atrial contraction. For other abbreviations: see Fig. 8.

量に占める左房プースターポンプの重要性は正常例と差がないことが示された。

今回の検討では、左室後負荷の急性変化は一回左室流入血液量、FVLA、%FVLAのいずれをも変化させなかった。左房収縮前左房局所長、ΔLASLも変化しておらず、左室後負荷の急性変化が直接心房の負荷条件に与える影響は小であることが示唆された。左室後負荷増加時には拡張末期容積、収縮末期容積ともに軽度増加した。すなわち前負荷の予備により一回拍出量を保った。ただしこの時の前負荷の増加は軽度で、左房の負荷条件に影響を与える程ではなかったと考えられた。慢性の圧負荷疾患である左室肥大症例ではFVLA、%FVLAともに上昇していた。すなわち左房容量仕事のみならず、一回左室流入血液量に占める左房プースターポンプの役割も増強していた。急速流入期血流速度の低下により示される拡張早期の左室流入障害のため、左房前負荷増加を介した左房プースターポンプの増強が起こったと推論された。

冠動脈左前下行枝閉塞による急性虚血時にはFVLA、%FVLAはともに増加した。左房収縮前左房径、ΔLASLは増加しており、左室虚血時にも左房拡大に引き続く左房容量仕事の増大と、それ

に伴う左房ブースターポンプ機能の相対的重要性の増加が示唆された。陳旧性心筋梗塞の症例でも、同様に FVLA, %FVLA の増加が認められ、左房容量仕事とともに、一回左室流入血液量に占める左房ブースターポンプの相対的重要性が高いと考えられた。左室肥大症例と同様、急速流入期の流入速度の低下と左房収縮前左房径の拡大も認められており、急速流入期の流入障害を補うために、左房径の増大を介して左房容量仕事の増大が起こったものと推論された。

左室を回転楕円体と仮定して、左室前後径を三乗することによって左室容積を推定する方法は、古くから試みられた手法である³⁾。本来、左室形態は三次元的構造であり、また必ずしも均一ではないため、この方法により求めた左室容積は厳密には正確ではない。特に局所壁運動異常を有する症例では、この方法で求めた左室容積の絶対値は、左室造影より計測した左室容積と異なるとの報告⁶⁾が見られる。しかしまた一方、壁運動異常例でも、左室造影より求めた一回拍出量と $V=D^3$ より求めた一回拍出量の間では良好な相関関係をみるという報告もあり⁵⁾、我々も壁運動異常を呈する場合において、 $V=D^3$ により求めた左室容積変化と、僧帽弁または大動脈弁に装着した電磁流量計計測値の積分により求めた左室容積変化の間には、良好な相関関係が存在することを確認した⁷⁾。左室容積変化曲線より求めた心房収縮開始の時相は、左房局所長より求めた左房収縮開始と一致した。この左房収縮期の左室容積増加量を、FVLA として、左房容量仕事の指標とした。左室への流入分のみに着目しているため左房収縮により肺静脈に逆流する分を全く評価していないことが本法の問題点である。しかし、左房のブースターポンプとしての重要性は、あくまでも左房収縮による左室への血液流入にあると考え、左室血液流入に占める左房ブースターポンプの重要性は、十分意味のある指標であると考えた。

疾患によっては、左室血液流入に占める左房ブースターポンプ機能の相対的重要性が異なる可能

性があり、このことは以前より指摘されていた³⁾。Braunwald らは左室拡張末期圧と平均肺静脈圧の解離から、陳旧性心筋梗塞症例における左房圧仕事の増強を示した⁸⁾。Rahimtoola らは左室造影像を用いて、%FVLA を算出し、陳旧性心筋梗塞症例で左房容量仕事が増加していることを示した⁹⁾が、左房容量仕事増加の機序については言及していない。

左房造影^{2,9)}、心プールスキューン¹⁰⁾、左房前後径^{11~16)}を用いて左房容積変化を推定し、これを用いて左房ブースターポンプ機能を評価する試みもなされている。Matsuda らは二方向左房造影像より、Chapman 法で容積を算出し、左房容積変化曲線、左房容積圧ループを作成した。心筋梗塞症例では、左房圧容積曲線の a ループの面積が増大することから、左房の仕事量が増加していることを示した⁹⁾。同様の方法により高血圧による左室肥大疾患でも左房の外部に対して行なう仕事量が大となっていることを示した²⁾。我々は急速流入期左室血液流入速度と左房収縮前左房径を同時に計測することによって、このような疾患では、急速流入期の左室流入障害が左房拡大を介し、左房ブースターポンプ機能を亢進させることを示唆する結果を得た。

結 論

左房容量仕事は左室前負荷の増減に応じて増減した。この時、一回左室流入血液量に占める左房ブースターポンプの相対的重要性は変化しなかった。急速流入期の左室流入障害を伴う左室肥大症例、陳旧性心筋梗塞症例では、左房容量仕事の増大とともに、左房ブースターポンプの相対的重要性も増加していた。急速流入期の左室血液流入障害に対し左房収縮前左房径が増加し、左房前負荷増加に引き続いて左房容量仕事が増加したと考えられた。これらの症例では洞調律の維持がより重要であると考えられた。

要 約

左房ブースターポンプ機能の心拍出量に占める相対的重要性は症例によって異なる。我々は左室の容積変化に着目し、左房収縮によって左室に流入する血液量 (FVLA) と一回左室流入血液量に占める比率 (%FVLA) を算出することにより、左室血液流入に占める左房ブースターポンプの相対的重要性が、各種心疾患でどのような相違を示すかを検討した。

実験犬 11 頭の左室前壁、後壁の心内膜面に超音波クリスタルを装着し、左室短軸内径を連続的に計測した。同時に左房前面に装着した一対の超音波クリスタルにより、左房局所長を計測した。左室短軸内径を三乗することにより、左室容積変化を近似した (Pombo 法)。左房収縮開始後から拡張末期までに左室に流入した血液量を、左房収縮による左室への血液流入量 FVLA とした。一回左室流入血液量に占める FVLA の比率 (%FVLA) を、左室血液流入に占める左房ブースターポンプの重要性の指標とした。

左室前負荷減少時または増加時、左房前負荷の指標である左房収縮前左房局所長と左房収縮 Δ LASL は前負荷の増減に応じて増減し、FVLA も同様に増減したが、%FVLA は変化しなかった。大動脈狭窄による左室後負荷増加時、FVLA と %FVLA はともに変化しなかった。冠動脈左前下行枝閉塞による左室虚血作成時には、FVLA と %FVLA はともに増加した。

臨床例では M モード心エコー図より左室短軸内径を計測し、動物実験と同様、FVLA と %FVLA を算出した。また急速流入期左室血液流入速度を計測した。正常対照例では FVLA は 21.1 ± 7.5 ml, %FVLA は 20.4 ± 5.9 % であった。容量負荷疾患 (大動脈弁閉鎖不全症) では、FVLA は 42.0 ± 20.6 ml と正常対照例に比較して大であったものの ($p < 0.05$)、%FVLA は有意な変化を示さなかった。左室肥大症例、陳旧性心筋梗塞症例では、FVLA, %FVLA はともに正常対照例と

比較して増加し、急速流入期左室血液流入速度は低下を示した。

急速流入期の左室流入障害を伴う左室肥大症例、陳旧性心筋梗塞症例では、左房容量仕事の増大とともに左房ブースターポンプの相対的重要性も増加を示した。これらの症例では洞調律維持の意義がより大であると考えられた。

文 献

- 1) Ruskin J, McHale PA, Harley A, Greenfield JC Jr: Pressure-flow studies in man: Effect of atrial systole on left ventricular function. *J Clin Invest* **49**: 472-478, 1970
- 2) Matsuda Y, Tomo Y, Moritani K, Ogawa H, Kohno M, Miura T, Matsuda M, Matsuzaki M, Fujii H, Kusukawa R: Assessment of left atrial function in patients with hypertensive heart disease. *Hypertension* **8**: 779-785, 1986
- 3) Rahimtoola SH, Ehsani A, Sinno MZ, Loeb HS, Rosen KM, Gunnar RM: Left atrial transport function in myocardial infarction. *Am J Med* **59**: 686-694, 1975
- 4) 西川泰弘: 左室流入血液量の規定因子に冠する検討. *慶応医学* **66**: 457-470, 1989
- 5) Pombo JF, Troy BL, Russell RO Jr: Left ventricular volumes and ejection fraction by echocardiography. *Circulation* **43**: 480-490, 1971
- 6) Teichholz LE, Kreulen T, Herman MV, Gorlin R: Problems in echocardiographic volume determinations: Echocardiographic-angiographic correlation in the presence or absence of asynergy. *Am J Cardiol* **37**: 7-11, 1976
- 7) 池川 徹, 赤石 誠, 横塚 仁, 西川泰弘, 後藤信哉, 半田俊之介, 中村芳郎: 左室短軸内径による左室容量近似の精度: 僧帽弁口および大動脈に装着した電磁流量計との比較. *呼と循* **38**: 49-52, 1990
- 8) 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* **26**: 633-642, 1961
- 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* **67**: 566-571, 1983
- 10) Bough EW, Gandsman EJ, Shulman RS: Measurement of normal left atrial function with gated radionuclide angiography. *Am J Cardiol* **48**: 473-478, 1981

- 11) Kihara Y, Sasayama S, Miyazaki S, Onodera T, Susawa T, Nakamura Y, Fujiwara H, Kawai C: Role of the left atrium in adaptation to chronic mitral regurgitation in conscious dogs. *Circ Res* **62**: 543–553, 1988
- 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) Goldman S, Hager WD, Olajos M, Perrier D, Mayersohn M: Effect of the ouabain-quinidine interaction on left ventricular and left atrial function in conscious dogs. *Circulation* **67**: 1054–1058, 1983
- 14) Goldman S, Olajos M, Morkin E: Cholinergic-sympathetic interactions in the left atrium and left ventricle of conscious dogs. *J Pharmacol Exp Ther* **225**: 219–223, 1983
- 15) Payne RM, Stone HL, Engelken EJ: Atrial function during volume loading. *J Appl Physiol* **31**: 326–331, 1971
- 16) Goldman S, Olajos M, Morkin E: Comparison of left atrial and left ventricular performance in conscious dog. *Cardiovasc Res* **18**: 604–612, 1984