

左房収縮機能の検討

Studies on systolic performance of the left atrium

民谷 正彰
 松崎 益徳
 塔間 陽一
 弘山 直滋
 阿武 義人
 高橋 徹郎
 部坂 浩二
 村田 敏明
 米沢 文雄
 岡田 和好
 小西 光明
 伊達 敏明
 小川 宏
 松田 泰雄
 久萬田俊明
 楠川 禮造

Masaaki TAMITANI
 Masunori MATSUZAKI
 Yoichi TOHMA
 Naoshige HIROYAMA
 Yoshito ANNO
 Tetsuro TAKAHASHI
 Koji HESAKA
 Toshiaki MURATA
 Fumio YONEZAWA
 Kazuyoshi OKADA
 Mitsuharu KONISHI
 Toshiaki DATE
 Hiroshi OGAWA
 Yasuo MATSUDA
 Toshiaki KUMADA
 Reizo KUSUKAWA

Summary

To analyze left atrial (LA) pump function, aortic root echocardiograms and LA pressure (P) by a Millar's catheter tip manometer were recorded simultaneously in 26 patients (pts) in regular sinus rhythm [six normal subjects (C), three with angina pectoris (AP), eight with old myocardial infarction (MI), three with congestive cardiomyopathy (CCM), three with hypertension (HT), one with hypertrophic cardiomyopathy (HCM), one with mitral regurgitation and mild stenosis (MRs), and one with mitral regurgitation (MR)]. The pressure-dimension curve of the LA composed of two loops; an A-loop (pump function of the LA) and a V-loop. The following parameters were measured: Da=LA dimension at the beginning of the active atrial shortening, S-A-loop=the area of the A-loop, mean V=mean LA velocity of fractional fiber shortening, and peak T=maximum (LAP×LAD) during active atrial shortening phase. The S-A-loop was directly proportional to Da ($r=0.62$, $p<0.001$) and the mean V was inversely correlated with the peak T ($r=-0.76$, $p<0.001$). This indicated that Starling's mechanism was operative and force-velocity relation existed in the LA. In

山口大学医学部 第二内科
 宇部市西区小串 1144 (〒755)

The Second Department of Internal Medicine, Yamaguchi University School of Medicine, Kogushi 1144, Nishi-ku, Ube 755

Presented at the 25th Meeting of the Cardiography Society held in Tokushima, October 9-11, 1982
 Received for publication February 28, 1983

HT, Da, the S-A-loop, the ratio of the S-A-loop to Da, and the ratio of mean V to peak T tended to be larger than those in other pts groups. Thus, the present results suggested that LA pump function was augmented in HT, probably due not only to Starling's effect but also to enhanced inotropic state of the LA.

Key words

Left atrial pressure-dimension relation Pump function of the left atrium Aortic root echocardiogram
Starling's mechanism Force-velocity relation

序 文

虚血心や肥大心など、左室拡張性の低下した疾患において、左房 booster pump action の重要性を論じた報告は数多い¹⁻¹²⁾。しかし、臨床面においては、左室血行動態から間接的に左房機能を評価した研究がほとんどであり、左房機能そのものを直接的に検討した報告は散見されるに過ぎない。とりわけ心機能をよく反映するといわれる圧-容積関係から左房収縮特性を評価した研究は、わずかに弁膜症においてのみみられるに過ぎない^{13,14)}。

本研究の目的は、大動脈根部エコー図より得られる左房径と、カテ先マンノメーターにて記録された左房圧から、各種心疾患患者の左房収縮特性を検討することにある。

方 法

対象は診断のために右心および左心カテを施行した洞調律の各種心疾患患者26例(男16例, 女10例, 年齢24~69歳)である。その内訳は正常対照群6例, 狭心症(AP)3例, 陳旧性心筋梗塞(MI)8例, うっ血型心筋症(CCM)3例, 高血圧症(HT)3例, 肥大型心筋症(HCM)1例, 僧帽弁閉鎖不全兼狭窄症(MRs)1例, 僧帽弁閉鎖不全症(MR)1例である。

全例において、心臓カテテル検査中に大動脈根部エコー図, 左房圧, 第II誘導心電図および心音図を同時記録した(Fig. 1)。左房圧測定にはMillar製カテ先マンノメーターを、経僧帽弁法により左室から左房へ逆行性に挿入して測定した。

Millar製カテテルは術前に37°C, 水銀マンノメーターにて較正し、術中にはカテテル側孔からの内圧をStatham P23Db圧トランスジューサーから得て、Millar製カテテルからの圧と同時記録した。この手法によりカテ先マンノメーターの0レベルの動揺をチェックした。圧の0レベルは胸厚の1/2の高さとした。心エコー図はE for M echocardiographic amplifier (model V 3280)を用い、周波数2.25 MHz, 1.3 cm径の平板型探触子にて、胸骨左縁第3あるいは第4肋間から、大動脈根部および左房後壁を記録した。記録装置にはE for M multichannel recorder (VR12)を使用し、仰臥位安静呼吸停止時に紙送り速度100 mm/secで記録を行った。

以上のようにして同時記録した左房圧および左房径より、ミニコンピューターシステム(NAC GP 3000A)を用いて、一心周期における左房圧-径曲線を描いた(Fig. 2)。諸家の報告と同様に、左房圧-径曲線は左房のポンプ機能に基づくループ(以下A-loop), および左房のreservoir機能に関連が深いループ(V-loop)より形成された。このうち今回はA-loopの面積(図の陰影部S: S-A-loop)を計測した。

Fig. 3に左房収縮における左房前後径平均短縮速度(mean V)の計測方法を示す。Daは左房短縮(active shortening)開始点での左房径, Dsは左房収縮による左房最小径である。心電図のR波を越えて左房径の減少が続いている症例では、R波の頂点での左房径をDsとした。左房前後径平均短縮速度mean Vは $(Da - Ds) / Da \times ET$ から求めた。ETはDaからDsまでの時間で、

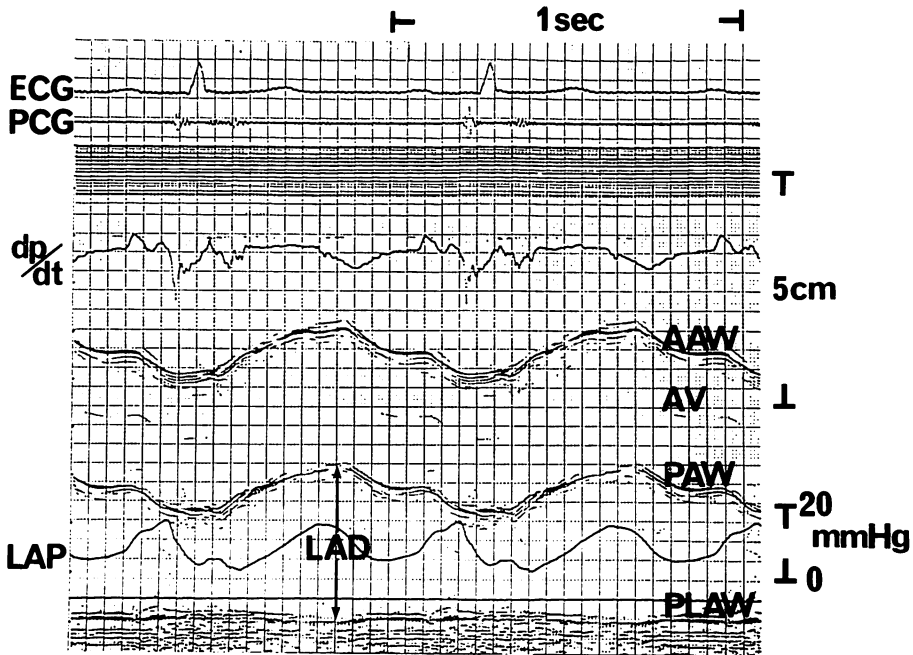


Fig. 1. Simultaneous recording of the left atrial pressure and the aortic root echocardiogram.

AAW=anterior aortic wall; PAW=posterior aortic wall; AV=aortic valve; PLAW=posterior left atrial wall; LAP=left atrial pressure; LAD=left atrial dimension; ECG=electrocardiogram; PCG=phonocardiogram; dp/dt=first derivative of left atrial pressure.

左房駆出時間に相当する。また、左房収縮期最大壁張力の指標として、左房圧と左房径との積の最大値を求め、その値を左房壁最大張力 (peak T) とした。

結 果

1. 左房圧-径関係

前述のごとく、左房圧-径関係は、左房のポンプ機能を表わすループ (A-loop) と、左房の reservoir 機能に関連が深いループ (V-loop) とから構成された (Fig. 2)。Fig. 4 は各疾患群における A-loop の面積 (S-A-loop) の比較を示したものである。対照群 19 ± 4 mmHg·mm, AP 21 ± 5 mmHg·mm, MI 30 ± 4 mmHg·mm, CCM 15 ± 6 mmHg·mm, HT 47 ± 2 mmHg·mm, HCM 14 mmHg·mm, MRs 31 mmHg·mm, MR 0 mmHg·mm であり、HT, HCM で高値, MR

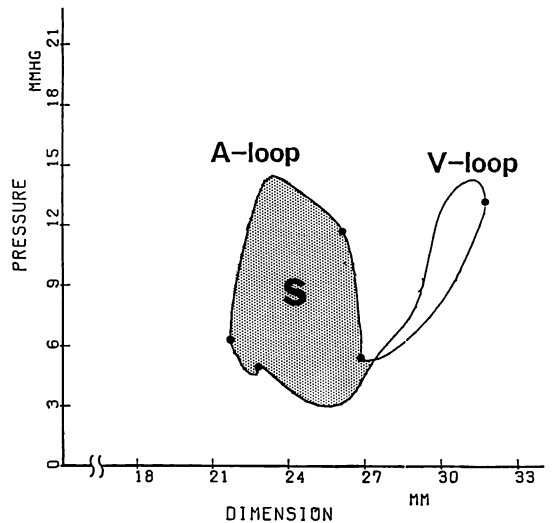
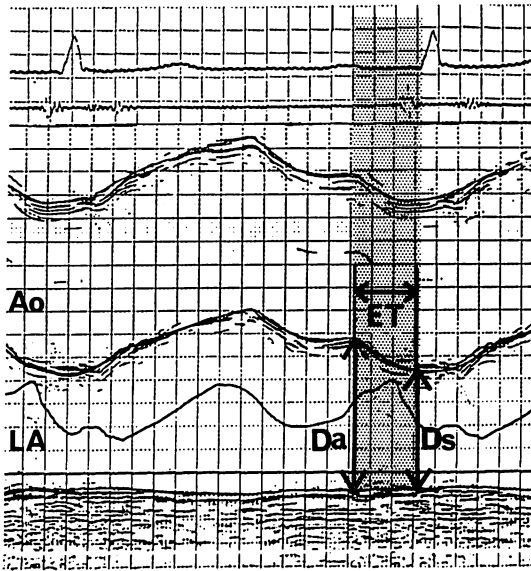


Fig. 2. Instantaneous left pressure-dimension relationship for one cardiac cycle.

S=area of an A-loop.



$$\text{mean } V = \frac{Da - Ds}{Da \times ET}$$

Fig. 3. The method of calculation of mean V and ET.

Da=left atrial dimension at the beginning of active atrial shortening; Ds=minimum left atrial dimension during active atrial shortening phase; ET=left atrial mechanical contraction time; mean V=left atrial mean velocity of fractional shortening; Ao=aorta, LA=left atrium.

で低値を示す傾向にあったが、統計上、HT においてのみ有意差を認めた ($p < 0.01$).

2. 左房前後径平均短縮速度 (mean V)

各疾患群間における mean V は、対照群 $1.8 \pm 0.2 \text{ sec}^{-1}$, AP $1.4 \pm 0.3 \text{ sec}^{-1}$, MI $1.7 \pm 0.2 \text{ sec}^{-1}$, CCM $1.0 \pm 0.2 \text{ sec}^{-1}$, HT $2.1 \pm 0.1 \text{ sec}^{-1}$, HCM 0.9 sec^{-1} , MRs 1.1 sec^{-1} , MR 0 sec^{-1} であり、CCM 群で有意に低下していた ($p < 0.02$) (Fig. 5).

3. S-A-loop と収縮開始点での左房径 (Da) との関係

S-A-loop と Da との間には有意な正の相関関係 ($r = 0.62, p < 0.001$) を認め、Da が大なる程 S-A-loop が増加する傾向を認めた (Fig. 6). HT 群では Da と S-A-loop はともに増加している

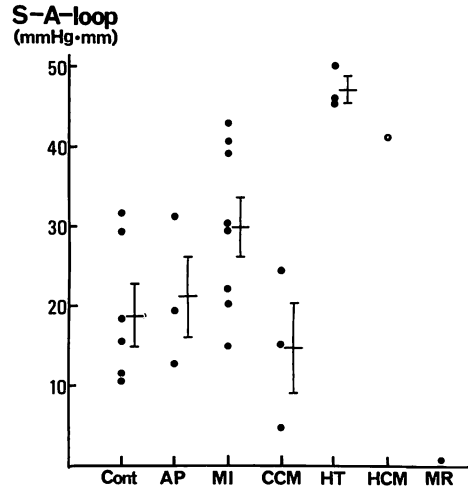


Fig. 4. Area of an A-loop (S-A-loop) in each patient group.

Bars represent mean \pm SE. Cont=control; AP=angina pectoris; MI=old myocardial infarction; CCM=congestive cardiomyopathy; HT=hypertension; HCM=hypertrophic cardiomyopathy; MR=mitral regurgitation.

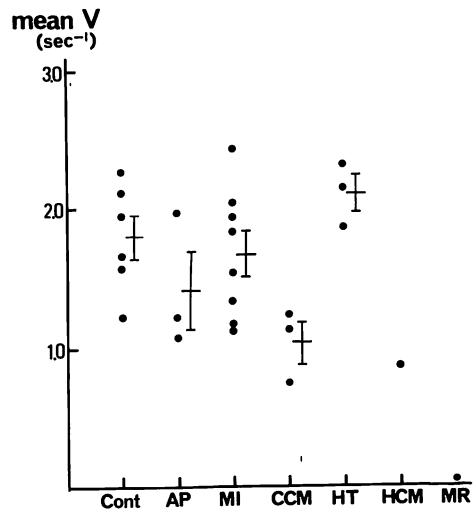


Fig. 5. Left atrial mean velocity of fractional shortening (mean V) in each group.

Bars represent mean \pm SE. Abbreviations: see Fig. 4.

Table 1. Clinical and hemodynamic parameters

Pt	Age	Sex	Diagnosis	HR (/min)	Da (mm)	S-A-loop (mmHg·mm)	mean V (sec ⁻¹)	peak T (mmHg·mm)
1)	37	F	Control	72	29	31	2.0	330
2)	57	F	Control	70	24	11	2.3	100
3)	64	F	Control	68	29	15	1.2	370
4)	55	M	Control	57	31	29	2.1	220
5)	51	M	Control	73	29	18	1.7	310
6)	24	M	Control	83	23	11	1.6	240
			Mean±SEM	71±3	28±1	19±4	1.8±0.2	260±40
7)	57	F	AP	55	38	31	1.2	580
8)	59	F	AP	67	34	20	1.1	370
9)	56	M	AP	82	23	13	2.0	260
			Mean±SEM	68±8	32±5	21±5	1.4±0.3	400±90
			p	NS	NS	NS	NS	NS
10)	47	M	MI	76	26	30	2.4	190
11)	64	M	MI	71	39	38	1.6	400
12)	54	M	MI	74	31	22	1.1	430
13)	50	F	MI	75	35	20	1.9	260
14)	65	M	MI	67	28	15	1.2	520
15)	41	M	MI	68	28	41	2.0	300
16)	52	M	MI	79	33	43	1.8	510
17)	37	M	MI	48	33	30	1.4	470
			Mean±SEM	70±3	32±2	30±4	1.7±0.2	390±40
			p	NS	NS	NS	NS	NS
18)	44	F	CCM	76	30	25	0.7	750
19)	29	F	CCM	87	23	5	1.1	450
20)	52	M	CCM	61	34	15	1.2	430
			Mean±SEM	75±8	29±3	15±6	1.0±0.2	540±100
			p	NS	NS	NS	0.02	0.02
21)	65	M	HT	79	34	50	2.3	370
22)	69	F	HT	58	31	45	2.2	400
23)	52	M	HT	82	38	47	1.9	520
			Mean±SEM	73±13	34±2	47±2	2.1±0.1	430±50
			p	NS	0.05	0.01	NS	0.05
24)	33	M	HCM	71	40	41	0.9	990
25)	40	F	MRs	96	36	31	1.1	560
26)	29	M	MR	75	65	0	0	820

AP=angina pectoris; MI=old myocardial infarction; CCM=congestive cardiomyopathy; HT=hypertension; HCM=hypertrophic cardiomyopathy; MRs=mitral regurgitation with mild stenosis; MR=mitral regurgitation; HR=heart rate; Da=left atrial dimension at active atrial shortening; S-A-loop=area of an A-loop; mean V=left atrial mean velocity of fractional shortening; peak T=left atrial peak wall tension during active atrial shortening phase; M=male; F=female; SEM=standard error of the mean; NS=not significant.

が (Table 1), 同じ Da レベルで比較すると, HT 群の S-A-loop は他群に比して高値をとる傾向にあった (Fig. 6 の矢印3 症例).

4. 左房前後径平均短縮速度 (mean V) と左房壁最大張力 (peak T) との関係

mean V と peak T とは有意な負の相関関係 ($r = -0.76, p < 0.001$) にあり, peak T が大なる程, mean V が減少する傾向を認めた (Fig. 7). HT 群では, 同じ peak T のレベルで比較した場合, 他群に比して mean V が高値を示す傾向にあった (Fig. 7 の矢印3 症例).

考 察

左房機能は心房収縮 (active shortening) により左室に血液を送り込むポンプ機能, 心房のコンプライアンスに基づく貯蔵能 (reservoir 機能), 肺静脈から左室への血液通過路としての導管機能 (conduit 機能) とから成る^{1,8-10,12}. Harvey¹⁾ が心房の心循環系への重要性を提唱して以来, 左房の booster pump action に関する報告は多い. とりわけ虚血心や肥大大心など, 拡張障害を有する左室において, 左房の active pump action が血液

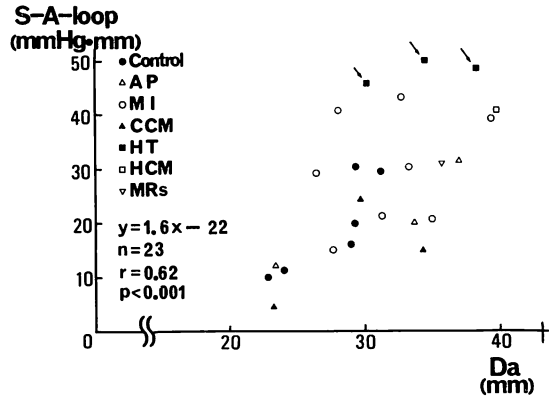


Fig. 6. The relationship between the area of the A-loop (S-A-loop) and left atrial dimension at an active atrial shortening (Da).

Abbreviations: see Fig. 4.

Hypertensive patients tend to have higher values (arrows).

充滿を増加させ, その結果, 心拍出量の増加をもたらすことが, 実験的または臨床的に強調されてきた^{2-8,11}. しかし, これら左房ポンプ機能の循環系への関与に関する臨床研究の多くは, 主として左室血行動態からの間接的な評価^{2-7,9,11}, ある

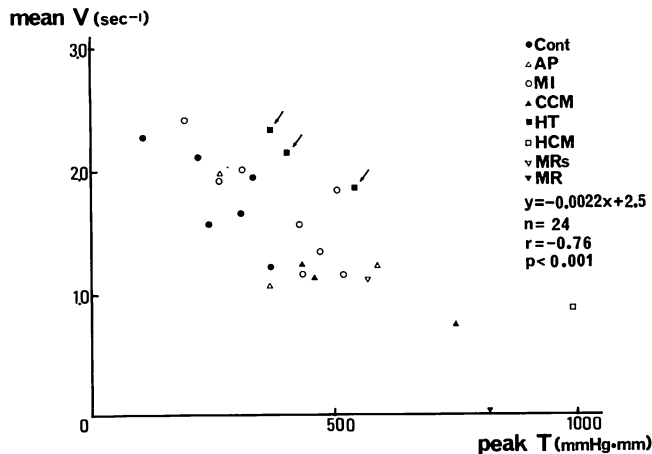


Fig. 7. The relationship between left atrial mean velocity of fractional shortening (mean V) and left atrial peak wall tension (peak T).

Abbreviations: see Fig. 4.

Hypertensive patients tend to have higher values (arrows).

いは左房の容積変化¹⁵⁻¹⁷⁾や左房圧変化¹⁰⁾からの評価に留まり、心機能を反映するとされている圧-容積関係から左房収縮特性に注目した研究は、弁膜症に関してのみ散見されるに過ぎない^{13,14)}。加えて、虚血心や肥大心において、直接的に左房収縮機能を圧-容積関係から検討した報告はない。

本研究では、各種心疾患患者の左房収縮特性を圧-径関係を利用して検討するために、大動脈根部エコー図から得られる左房径と、Millar製カテーテルによる左房圧とを同時記録した。大動脈根部エコー図から得られる左房径の経時的変動は心周期に伴う左房容積の変動によく相似し¹⁸⁻²¹⁾、造影剤の影響を受けることなく、左房の大きさを評価できる利点がある。加えて Millar 製カテーテルを使用することにより、左房圧の変動を経時的かつ高精度に記録し得る。これらの手技により左房圧-径関係を求めた結果、左房圧-径曲線は左房収縮に基づく A-loop および左房 reservoir 機能に関連が深い V-loop により形成され、この所見は諸家らの報告とよく一致した^{13,14)}。大動脈根部での左房径の経時的変動は心周期に伴う左房容積の変動とよく相似するために、A-loop の面積 (S-A-loop) は左房の外的仕事量に類似し、Da は左房収縮の前負荷に相当すると考えられる。Fig. 6 で認めた Da と S-A-loop との間の有意な正の相関関係は、左房の active shortening の開始時の容積が大である程、左房の外的仕事量が増すことを示し、塔間らが報告したヒト右房についての所見²²⁾と同様に、ヒト左房においても Frank-Starling 機構が働いていることを示唆する。左房に Starling 機構が存在することは、古くは Gesell¹²⁾、Blinks ら²³⁾が摘出心において指摘している。非侵襲動物においても Payne ら²⁴⁾は左房短縮距離が左房最大径に比例すると述べ、Williams ら²⁵⁾は心房径の増大とともに心房の active tension が増すと報告している。しかし、これらの報告ではいずれも左房最大径が左房収縮の前負荷であるとみなしている。左房径の変化を詳細に検討すると、Fig. 3 に示すように、左房径は心室の拡張

早期に最大となり、心電図 P 波よりはるかに先行する。左房の active contraction はこの最大径の時点からは始まらず、P 波が出現した後起こり、active shortening 開始時の左房径 (Da) は最大径よりも短い (Fig. 3)。換言すれば、左房径は最大径の時点から減少し始めるが、それは心房の active shortening によるものではなく、受動的 (passive) 減少にすぎない²⁶⁾。したがって、左房の前負荷は active contraction 開始時の左房径 (または容積) と考えるほうがより妥当性がある。Brawnwald ら¹⁰⁾は臨床例での左房圧波形を分析し、左房収縮による a 波の脈圧と、左房収縮開始点での左房圧との間に正相関を認め、ヒト左房においても Starling 機構が存在すると報告した。彼らもまた左房収縮 (active contraction) 開始時を左房収縮の前負荷に相当する時期と考えており、今回の我々の成績を支持している。左房に作業心筋が存在していることは組織学的に証明されており²⁷⁾、左房筋の伸張が収縮力の増大をもたらすことは容易に理解できる。

今回、我々は左房前後径平均短縮速度 mean V を求めた。一般に前胸壁から M モード法によって測定した左房腔は前後面が円形でなく、左房後壁はほとんど固定されているため、得られた左房径は大動脈側のみの動きを反映することになり、結果的には mean V は大動脈側の左房壁短縮速度を表わしている。しかし、Yabek ら²⁰⁾、Schabelman ら²¹⁾などの報告のように、大動脈根部エコーから得られる左房前後径が左房容積の 1.8 乗根に比例すると考えれば、今回測定した mean V は左房の平均容量変化をも反映している可能性がある。本研究の結果では、mean V は CCM で有意に低下しており、本疾患での心房の収縮期駆出速度の低下が示唆される (Fig. 5)。しかし一方、心室筋でみられるように、心筋短縮速度は後負荷に依存する²⁸⁻³⁰⁾。今回我々は個々の患者心につき、後負荷を変化させた時の mean V を測定していないが、Fig. 7 で示すように、左房壁張力と mean V との間には負の相関関係が存在した。

この所見は個々の左房の収縮機能を評価するさいには、左房の後負荷を考慮せねばならないことを示唆している。

心室筋張力が後負荷を反映することはよく知られている³¹⁾。Bianco ら³²⁾は左房の壁張力を定量化する方法として、肺動脈楔入圧と左房最大径との積を求め、White ら³³⁾は左房平均圧と左房最大径の積を求めているが、いずれも左房圧を直接測定していない。本研究では左房圧をカテ先トランスデューサーを用いて測定し、左房収縮期における左房圧と左房径との積の最大値を左房壁最大張力 (peak T) とみなした。左房の壁張力を求めるには、左房壁厚や形態を考慮せねばならないが、今回は臨床的に左房の速度-張力関係を評価する簡便法として peak T を使用した。Fig. 7 で示すように、高血圧群 (HT) の mean V は同じレベルでの peak T で比べると、他群に比し高値を呈していた。単一心筋または左室の圧-速度関係から得られる曲線は陽性変力作用 (positive inotropism) によって右上方へ移動する^{34,35)}。同様の移動は前負荷の増加によってもおこる³⁵⁾。今回の我々のデータでは HT 群の左房径 (Da) は正常群に比して大であり、前負荷の増加が示唆されるために、力-速度関係 (Fig. 7) で認めた HT 群の mean V の上昇は前負荷に起因している可能性がある。このような HT 群における左房前負荷の増大は、Da と左房外的仕事量に相当する S-A-loop の増加からも推測することができる。しかし、一方、HT 群においては、同一 Da レベルに対する S-A-loop の増大 (Fig. 6), および力(圧)-速度関係の上方への偏位が左房収縮性³⁶⁾の亢進によって起こっている可能性も否定できない。本研究では症例数が少なく、今後さらにこれらにつき検討する必要がある。

要 約

洞調律の各種心疾患患者 26 例において、心臓カテーテル検査中に大動脈根部エコー図による左房径と、左房圧(経僧帽弁法によるカテ先血圧計)

を同時に求めた。左房短縮開始時における左房径 Da, 左房圧-径関係の左房収縮により形成されるループの面積 S-A-loop, 左房収縮による左房前後径平均短縮速度 mean V, 左房収縮期左房最大壁張力 peak T をおのおの計測した。Da は左房収縮の前負荷, S-A-loop は左房外的仕事量, peak T は左房の後負荷とみなすことができる。Da と S-A-loop との間には有意な正相関関係 ($r=0.62$, $p<0.001$), peak T と mean V との間には有意な負の相関関係 ($r=-0.76$, $p<0.001$) を認め、ヒト左房においても Starling 法則および、張力-速度関係が成り立つことが示唆された。高血圧群においては、Da, S-A-loop, および Da に対する S-A-loop, peak T に対する mean V がそれぞれ高値を呈し、高血圧症では左房ポンプ機能が増大しており、それには前負荷増加による Starling 効果のみではなく、左房収縮性も亢進していることが推測された。

文 献

- 1) Harvey W: Movement of the heart and blood in animals: An anatomical essay. Translated by Franklin KJ. Blackwell, Oxford Scientific Publication, 1957, p 34
- 2) Rahimotoola 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, 1975
- 3) 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, 1970
- 4) Hanrath P, Mathey DG, Siegert R, Bleifeld W: Left ventricular relaxation and filling pattern in different forms of left ventricular hypertrophy: An echocardiographic study. Am J Cardiol 45: 15, 1980
- 5) Hammermeister KE, Warbasse JR: The rate of changes of left ventricular volume in man. II. Diastolic events in health and disease. Circulation 49: 739, 1974
- 6) Kondo T, Hishida H, Negishi Y, Kaneko K, Kato Y, Kogane T, Kiriyama T, Mizuno Y, Takeuchi A, Koike K: Effects of atrial contri-

- bution on the two-beat left ventricular volume curve obtained by ECG-gated radionuclide angiography. *J Cardiology* **12**: 189, 1982 (in Japanese)
- 7) Stott DK, Marpole DGF, Bristow JD, Kloster FE, Griswold HE: The role of atrial transport in aortic and mitral stenosis. *Circulation* **41**: 1031, 1970
 - 8) Michell JH, Gilmore JP, Sarnoff SJ: 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, 1962
 - 9) Nolan SP, Dixon SH, Fisher RD, Morrow AG: The influence of atrial contraction and mitral valve mechanics on ventricular filling. *Am Heart J* **77**: 784, 1969
 - 10) Braunwald E, Frahm CJ: Studies on Starling's law of the heart. IV. Observations on the hemodynamic functions of the atrium in man. *Circulation* **24**: 663, 1963
 - 11) Ambrose JA, Meller J, Herman MV, Teichholz LE: A new echocardiographic index of late diastolic filling of the left ventricle. *Am Heart J* **96**: 615, 1978
 - 12) Gesell R: The effects of change in auricular tone and amplitude of auricular systole on ventricular output. *Am J Physiol* **38**: 404, 1916
 - 13) Nakajima K, Natsume T, Sakaguchi A, Uehara S, Shimomura K, Iizuka M: Studies on the left atrial pressure-volume curves in patients with heart disease. *Jpn Circ J* **44**: Suppl, 173 1980 (abstr)
 - 14) Grant C, Bunnell IL, Greene DG: The reservoir function of the left atrium during ventricular systole. *Am J Med* **37**: 36, 1964
 - 15) Hawley RR, Dodge HT, Graham TP: Left atrial volume and its changes in heart diseases. *Circulation* **34**: 989, 1966
 - 16) Murray JA, Kennedy JK, Figley MM: Quantitative angiography. II. The normal left atrial volume in man. *Circulation* **37**: 800, 1968
 - 17) Bough EW, Gandsman EJ, Shulman RS: Measurement of normal left atrial function with gated radionuclide angiography. *Am J Cardiol* **48**: 473, 1980
 - 18) Hirata T, Wolfe SB, Popp RL, Helmen CH, Feigenbaum H: Estimation of left atrial size using ultrasound. *Am Heart J* **78**: 43, 1969
 - 19) Strunk BL, Fitzgerald JW, Lipton M, Popp RL, Barry WH: The posterior aortic wall echocardiogram: Its relationship to left atrial volume change. *Circulation* **54**: 744, 1976
 - 20) Yabek SM, Isabel JJ, Bhatt DR, Nakazawa M, Marks RA, Jarmakani JM: Echocardiographic determination of left atrial volumes in children with congenital heart disease. *Circulation* **53**: 268, 1976
 - 21) Schabelman S, Schiller NB, Silverman NH, Ports TA: Left atrial volume estimation by two-dimensional echocardiography. *Catheter & Cardiovasc Diag* **7**: 165, 1981
 - 22) Toma Y, Matsuzaki M, Anno Y, Sasaki T, Hiroyama N, Katayama K, Matsuda Y, Kumada T, Kusakawa R: Studies on the right atrial pressure-dimension relations in patients with various heart diseases. *Circulation* **64** (Suppl IV): IV-324, 1981
 - 23) Blinks JR: Method for study of contraction of isolated heart muscle under various physical conditions. *Circulat Res* **9**: 342, 1961
 - 24) Payne RM, Stone HJ, Engelken EJ: Atrial function during volume loading. *J Appl Physiol* **31**: 326, 1971
 - 25) Williams JF, Sonnenblick EH, Braunwald E: Determinations of atrial contractile force in the intact heart. *Am J Physiol* **209**: 1061, 1955
 - 26) Recordati G, Lombardi F, Malliani A, Brown AM: Instantaneous dimensional changes of the right atrium of the cat. *J Appl Physiol* **36**: 686, 1974
 - 27) Handbook of physiology. Sec 2: The Cardiovascular System, Vol. I: American Physiological Society, 1979 p 165-168
 - 28) Gault JH, Ross J Jr, Braunwald E: Contractile state of the left ventricle in man. *Circulat Res* **22**: 451, 1968
 - 29) Karliner J, Gault JH, Eckberg D, Mullins CB, Ross J Jr: Mean velocity of fiber shortening: A simplified measure of left ventricular myocardial contractility. *Circulation* **44**: 323, 1971
 - 30) Peterson KL, Skeloven D, Ludbrook P, Uther JB, Ross J Jr: Comparison of isovolumic and ejection phase indices of myocardial performance in man. *Circulation* **49**: 1088, 1974
 - 31) Braunwald E, Ross J Jr, Sonnenblick EH: Mechanisms of contraction of the normal and failing heart. Little, Brown and Company, 1976, p 92-129
 - 32) Bianco RD, Gottdiener JS, Fletcher RD, Pipberger HV: Left atrial overload: A hemodynamic, echocardiographic, electrocardiographic, vectorcardiographic study. *Am Heart J* **98**: 478, 1979
 - 33) White CW, Kerber RE, Weiss HR, Marcus ML: The effects of atrial fibrillation on atrial pressure-

民谷, 松崎, 塔間, ほか

- volume and flow relationships. *Circulat Res* **51**: 205, 1982
- 34) Sonnenblick EH: Force-velocity relations in mammalian heart muscle. *Am J Physiol* **202**: 931, 1962
- 35) Ross J Jr: Afterload mismatch and preload reserve: A conceptual framework for the analysis of ventricular function. *Prog Cardiovasc Dis* **18**: 255, 1976
- 36) Lau V, Sagawa K, Suga H: Instantaneous pressure-volume relationships of right atrium during isovolumic contraction in canine heart. *Am J Physiol* **236**: 672, 1979