

## 2 方向左室造影による左室壁厚の心周期における変化

## An analysis of left ventricular wall thickness during cardiac cycle by biplane cine angiocardio-graphy

金政 健  
石川 欽司  
林 健郎  
小橋 泰之  
大谷 昌平  
山門 徹  
田仕 雅洋  
香取 瞭

Ken KANAMASA  
Kinji ISHIKAWA  
Takeo HAYASHI  
Yasuyuki KOHASHI  
Shohei OTANI  
Tetsu YAMAKADO  
Masahiro TASHI  
Ryo KATORI

### Summary

The accurate angiocardio-graphic determination of left ventricular wall thickness has become of great importance since the *in vivo* calculation of left ventricular wall thickness, volume and derived measurements give a great information for the understanding of cardiac pathophysiology. Biplane left ventricular cine angiograms (90 frames/sec) were obtained in 19 patients with various heart diseases. Left ventricular wall thickness (according to Rackley's method), volume and derived parameters were analyzed using Hewlett-Packard Angioanalyzer Computer (HP 5693 A). Wall thickness had no significant change during isometric contraction period. In 11 out of 19 patients containing 3 normal subjects, wall thickness began to increase later from the beginning of ejection, and in 7 out of 19 patients it began to increase gradually when ejection began, then in both groups it reached to the maximum nearly at the end of ejection, and caused no significant change during isometric relaxation period. It decreased rapidly during early diastole as the volume increased rapidly, then it decreased very slowly to that at the beginning of ejection during mid and end diastole. This phenomenon during diastole was observed in all cases except one case of akinesia. There was an inverse relationship between left ventricular wall thickness and volume.

### Key words

Biplane left ventriculography      Left ventricular wall thickness      Left ventricular volume      Left ventricular pressure

近畿大学医学部 第一内科  
大阪府南河内郡狭山町西山 380 (〒589)

The First Department of Internal Medicine, Kinki University School of Medicine, Sayama-cho Nishiyama 380, Minami-Kawachi, Osaka, 589

Presented at the 15th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Kyoto, October 15-16, 1977  
Received for publication January 9, 1978

はじめに

左室壁厚の計測は, 心機能の理解に非常に重要な情報を与えるため, 多くの研究者<sup>4~16)</sup>によって研究されてきた. ヒトの心周期における左室壁厚の分析の1つの方法として左室映画造影法が用いられ, 心臓の回転による壁厚測定部の同一性についての問題は残るものの, 生体における左室壁厚測定手段として最も重要な地位を占めている. 我々は, Hewlett-Packard Angioanalyzer Computer (HP 5693A) を用いて 演算時間を短縮し, 各種心疾患 19 名の左室壁厚増加度, 心周期における壁厚変化と心機能および心収縮力との関連について検討した.

症例と方法

対象は, 心疾患の診断の目的で心臓カテーテル検査および左室映画造影法を施行した各種心疾患 19 名である (Table 1). 左室映画造影法は被験者を仰臥位とし, 左室内に先端をおいた Millar 製の カテ先マノメーター付カシーター (PC 481) より左室圧を記録しながら, 76% diatrizoic acid (ウログラフィン) 40 ml を 17 ml/秒 の速度にて Siemens 製 Contrac (CMKMB 600) で左室へ注入し, 映画造影は Siemens 製 Sirecon-2 duplex 25/15 高分解 image intensifier に組み込まれた Arritechno 35 mm cine camera (90 コマ/秒) を用いて行った. 左室内圧, 心電図および注入信号を電磁オシロ式 Hewlett-Packard

Table 1. Angiographic data and thickness indices

Case Name No	Age	Sex	Diagnosis	NYHA	BSA (m <sup>2</sup> )	HR (min <sup>-1</sup> )	EDV (ml/m <sup>2</sup> )	SI (ml/beat/m <sup>2</sup> )	EF (%)	Mean Vcf (circ/sec)	LV mass (g/m <sup>2</sup> )	TW (R) (mm)	$\frac{\Delta TW}{TW(R)}$ (%)	
1	HM	17	F	Normal	I	1.46	70	57	43	76	1.37	53	6.3	76
2	OM	17	M	Normal	I	1.60	64	76	56	67	1.05	67	6.4	145
3	TM	35	M	Normal	I	1.57	85	84	56	67	1.18	91	8.1	147
4	KK	18	F	AR	II	1.36	85	100	71	71	1.40	84	7.3	100
5	TI	77	M	MR, Af	II	1.45	55	88	57	64	0.92	115	8.9	107
6	FN	29	M	MR	I	1.73	120	82	59	72	1.25	77	7.7	121
7	RT	65	M	AP	III	1.68	61	71	38	54	0.95	94	9.3	100
8	KM	68	M	AP	II	1.52	78	74	50	68	0.97	102	10.1	50
9	TT	33	F	SEI	II	1.38	72	83	59	72	1.32	81	7.4	121
10	MM	51	M	MI (A)	I	1.70	84	79	53	67	1.29	119	9.8	108
11	KM	65	M	MI (A-S)	II	1.66	62	75	45	59	0.93	83	8.0	95
12	AN	66	M	MI (A-L)	III	1.48	84	214	30	14	0.19	101	4.8	-
13	KH	36	F	CM	II	1.37	85	51	42	76	1.73	48	6.0	158
14	TA	31	F	CM	I	1.67	84	94	38	41	0.70	96	9.0	57
15	SM	30	F	ASD	II	1.47	79	66	49	72	1.65	58	6.6	126
16	KN	42	F	ASD	II	1.38	61	60	41	67	1.02	57	6.4	81
17	KT	42	F	WPW	I	1.43	63	77	43	56	0.79	62	6.0	95
18	JM	52	M	PAC	I	1.57	73	82	54	66	1.17	91	8.6	91
19	AM	48	F	Aortitis	I	1.54	60	103	78	74	1.20	131	10.1	95
Mean		43				1.53	75	85	51	63	1.11	85	7.7	104
SD		18				0.12	15	34	12	15	0.35	23	1.6	29

(Abbreviations)

NYHA: New York Heart Association, BSA: body surface area, HR: heart rate, EDV: end-diastolic volume, SI: stroke index, EF: ejection fraction, TW (R): wall thickness at R spike of ECG

$\frac{\Delta TW}{TW(R)}$ : fractional increase in wall thickness expressed as a percentage of wall thickness at R spike of ECG

AR: aortic regurgitation, MR: mitral regurgitation, AP: angina pectoris,

SEI: subendocardial infarction, MI(A): anterior myocardial infarction, MI(A-S): anterosseptal myocardial infarction, MI(A-L): anterolateral myocardial infarction, CM: cardiomyopathy, ASD: atrial septal defect, PAC: premature atrial contraction, Af: atrial fibrillation, F: female, M: male, SD: standard deviation,

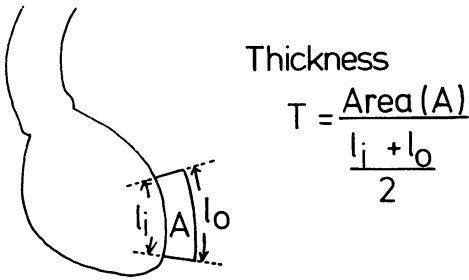


Fig. 1. Diagrammatic representation of the method to calculate left ventricular wall thickness by left ventricular cineangiogram (by Rackley<sup>1)</sup>).

4588 recorder を用い、100 mm/秒の紙送り速度にて記録した。

左室壁厚の測定は Rackley ら<sup>1)</sup>の方法 (Fig. 1) に準じて行った。すなわち、前後方向シネフィルムにて左室自由壁を三等分する心尖部寄りの点を中心にして外壁 (lo), 内壁 (li) を 4 cm 敷き写してそれによって形成される断面積 A を求め、壁厚 T は  $T = \text{Area (A)} / (li + lo) / 2$  の式にて算出した。計測は 11~40 ミリ秒間隔で行った。

左室容積は Vanguard 製 motion analyzer に左室映画造影シネフィルムを投影し、ソナーペンにより敷き写し、Dodge ら<sup>2,3)</sup>の area-length 法に従って Hewlett-Packard Angioanalyzer System (HP 5693A) を用い計測した。ソナーペンにて入力された左室内圧データおよび前記の左室壁厚、左室容積に基づきシネフィルム各コマ毎の左室容積変化率、瞬時左室内周短縮速度、応力などの左室機能諸指標を計算した。本研究において分析の対象とした心拍は、心室性期外収縮およびその後の一心拍を除くものとした。

## 成 績

Fig. 2 に 3 ヶ月前に心内膜下梗塞の既往を有するが、血行力学上正常な例 (症例 9) での左室壁厚の心周期変化を示す。左室壁厚は心電図 R 波の後、等容収縮期では有意な変化を見せず、駆出期に入ってもあまり厚くならず、それより少し遅れ

て急に厚さを増し、その後収縮期末付近で最大となった。等容弛緩期では壁厚は有意な変化を見せず、拡張初期にその厚さを急に減じ、ほぼ収縮期前の厚さにもどった。その後、拡張中期から終期にかけてあまり変化をみせずつぎの心周期に入った。

Fig. 3 に前壁心筋梗塞後 4 ヶ月の症例 (症例 10) での左室壁厚の心周期変化を示す。左室壁厚は心電図 R 波のあと等容収縮期では前症例と同じく有意な変化を見せないが、駆出期に入ると徐々に厚さを増し、収縮期末付近で最大となり、等容弛緩期では壁厚は有意な変化をみせず拡張初期にその厚さを急に減じ、ほぼ収縮期前の厚さにもどった。その後、拡張中期から終期にかけてあまり変化をみせず、つぎの心周期に入った。

以上のように、症例 9, 10 では等容収縮期終了後、駆出期に入った後の壁厚変化の態度が異なる。Fig. 2 の症例 9 のような変化をとる例は正常 3 例、心筋症、僧帽弁閉鎖不全症各 2 例、WPW 症候群、心房中隔欠損症 (症例 16)、心房性期外収縮、心内膜下梗塞各 1 例であった (以下 A 群と呼ぶ)。Fig. 3 の症例 10 のような変化をとる例は虚血性心疾患 4 例 (症例 7, 8, 10, 11)、大動脈炎症候群、大動脈弁閉鎖不全症、心房中隔欠損症 (症例 15) 各 1 例である (以下 B 群と呼ぶ)。一方、壁厚が拡張初期に急に減少し、拡張中期から終期にかけてあまり変化しない傾向は陳旧性心筋梗塞のため akinesia となり厚さが全心周期を通じて変化しなかった症例 12 を除いて全例に見られた。

Table 1 に各症例における左心機能諸指標および左室壁厚に関する計測値を示す。本研究の対象となった患者には NYHA IV 度の患者がいないことより重症患者が含まれていないことがわかる。心電図 R 波における壁厚は正常例で 6.3~8.1 mm、弁膜疾患例で 7.3~8.9 mm、虚血性心疾患例で 4.8~10.1 mm、このうち血行力学上正常例 (症例 9) と akinesia の 1 例 (症例 12) を除くと 8.0~10.1 mm であった。その他の例では 6.0~10.1 mm であった。本研究において壁厚増加度を

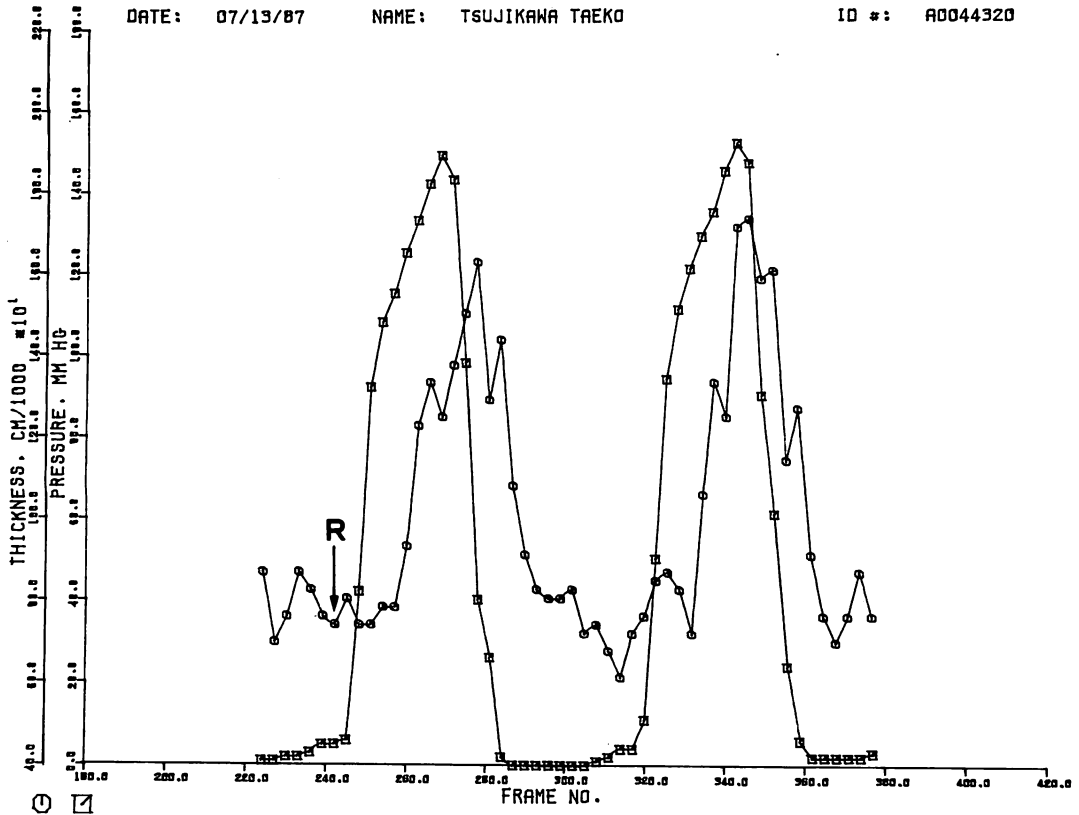


Fig. 2. Variation of left ventricular wall thickness during one cardiac cycle in one case with a history of subendocardial infarction who had normal hemodynamics (Case 9).

No increase in wall thickness is observed until 167 msec after R spike of ECG (R), where there occurred a rapid increase in wall thickness. During early diastole, there is a sharp decrease in wall thickness and only a small decrease in a wall thickness is observed during the rest of diastole.

心電図 R 波における壁厚に対する最大壁厚増加の割合とすると、壁厚増加度は正常例で 76~147% (平均 123%), 弁膜疾患例で 100~121% (平均 109%), 虚血性心疾患例で akinesia, 心内膜下梗塞の 1 例を除くと 50~108% (平均 88%), その他の例で 57~158% (平均 100%) であった。

Fig. 4 は心筋症 (症例 13) において左室壁厚と左室容積の関係をみたものである。左室壁厚はループの左上方で容積が減少していくにもかかわらずあまり壁厚は厚くならず収縮末期付近になると壁厚が厚くなる割りに容積が減じないというこ

とがわかる。つまり、左室壁厚と左室容積はあたかも反比例の関係にあるようである。このような関係は akinesia を有する 1 例を除いて全症例を通じて認められた。

### 考 案

#### 1. 壁厚増加度

我々の成績では、拡張末期左室壁厚に比しての収縮期最大壁厚増加度は正常例で 76~147% (平均 123%), akinesia の 1 例を除く心疾患症例では 50~158% (平均 104%) であった。文献的に

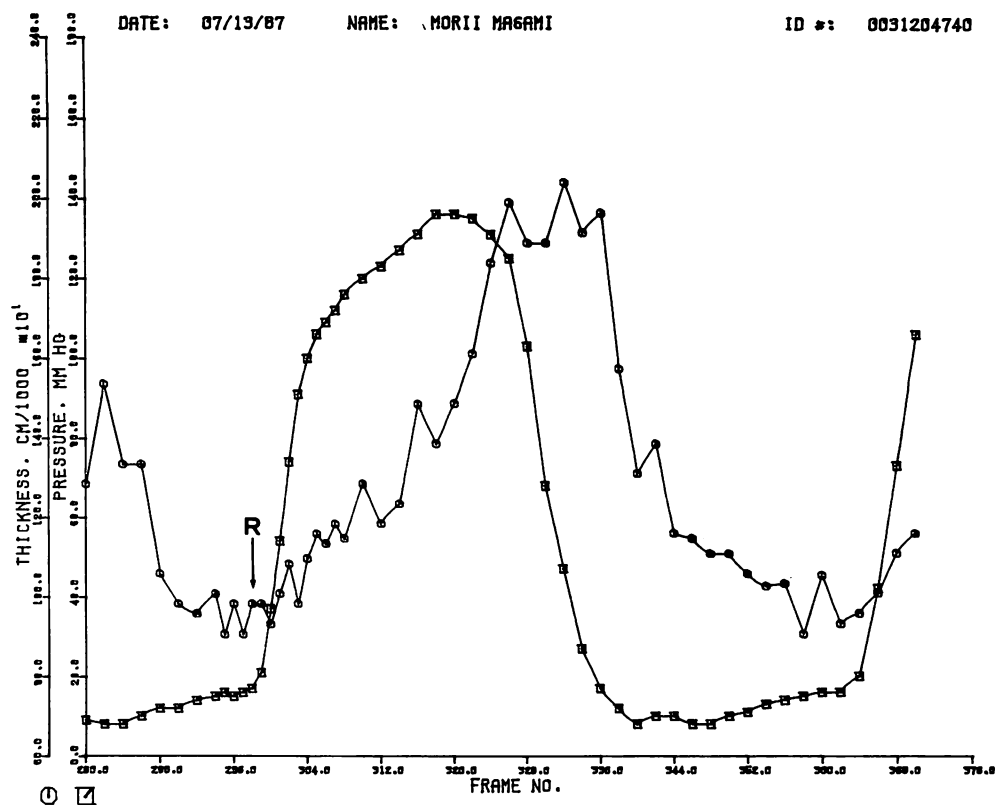


Fig. 3. Variation of left ventricular wall thickness during one cardiac cycle in one case of old anterior myocardial infarction (Case 10).

Wall thickness has no significant change during isometric contraction period. It begins to increase gradually when ejection begins, and reaches to the maximum nearly at the end of ejection. Wall thickness decreases rapidly during early diastole and no further rapid thinning is observed during the rest of diastole.

ヒトにおける左室壁厚増加度をみると正常例で測定した成績では, Bunnellら<sup>4)</sup>は平均 65%, Hoodら<sup>5)</sup>は 62~177% (平均 101%), Gouldら<sup>6)</sup>は平均 45%, Dumesnilら<sup>7)</sup>は 46~156% (平均 82%), Eberら<sup>8)</sup>は 70~106% と報告している。Hugenholtzら<sup>9)</sup>は先天性心疾患 31 名を左室壁厚認識の困難度によって 3 群に分け, 困難度が増すにつれて各群の平均が 39.8~92.5% と壁厚増加度が増すことを報告している。以上のように壁厚増加度は報告者によりまちまちであるのみならず, 同一報告者の正常者の数値についてもかなりのばらつ

きみられる。これらの差異はいかなる理由によるものであろうか。Bunnellら<sup>4)</sup>の報告は壁厚算出方法が Rackleyら<sup>1)</sup>の方法によるものかどうか明記していない。Dumesnilら<sup>7)</sup>は Rackleyら<sup>1)</sup>の方法によって壁厚を算出していない。Gouldら<sup>6)</sup>の報告は, 拡張末期の左室重量に対する駆出末期のそれがある範囲を越えた症例は除外してある。以上是我々の報告と方法論で異なる。Hoodら<sup>5)</sup>および Eberら<sup>8)</sup>は Rackleyら<sup>1)</sup>の方法にて成人を対象にしている点では我々と同じである。正常例の壁厚増加度の幅がこれらの報告で大きい

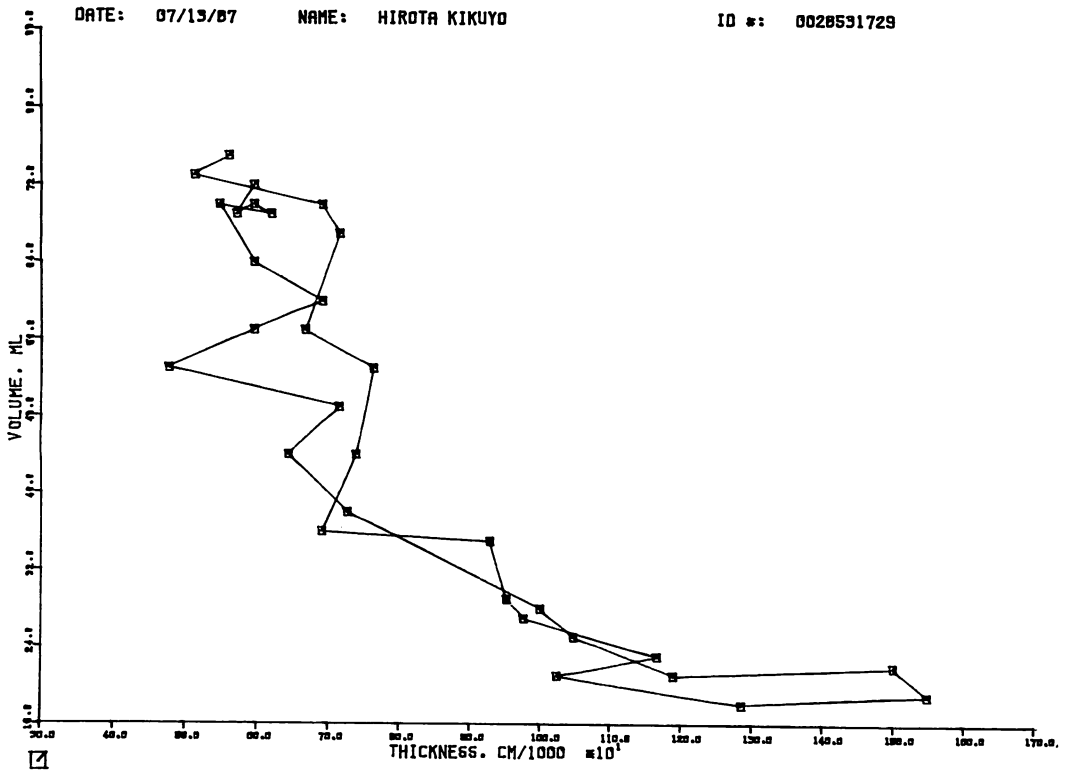


Fig. 4. Relationship between left ventricular wall thickness and volume in a case with cardiomyopathy (Case 13).

のは, Hugenholtz ら<sup>9)</sup>が示した壁厚の境界を認識する際の困難度が高まるにつれて壁厚増加度が大きくなる, ということから説明されうるであろう。

動物での壁厚増加度は, Lynch と Bove<sup>10)</sup>の非麻酔犬造影法では平均 26%, Ross ら<sup>11)</sup>の犬で silicone-rubber cast を用いた固定法では平均 28%, Feigel と Fry<sup>12)</sup>の麻酔犬にて心筋壁厚測定用トランスジューサーを用いての報告では平均 21%, Mitchell ら<sup>13)</sup>は麻酔犬でビーズ法と造影法の両方を用いビーズ法では 25~45%, また Mitchell ら<sup>13)</sup>は犬で造影法を用いた場合は壁厚増加度は 80~120% であったと付け加えている。この差異を Mitchell ら<sup>13)</sup>は拡張末期では左室壁心内膜側に埋め込んであるビーズと造影剤による左室腔の輪郭の外縁が近接しているが, 駆出末期

ではビーズと造影剤の輪郭の外縁が離れてしまうという結果によってこの矛盾が生じたと説明している。また, Guntheroth<sup>14)</sup>の慢性実験犬にて心内膜と心外膜に超音波トランスジューサーを用いての報告では壁厚増加度は平均 9.3% であったと報告し, また, 彼らは拡張末期では心内膜側の超音波トランスジューサーと造影剤による左室腔の輪郭の外縁が近接しているが, 駆出末期には超音波トランスジューサーが造影剤による輪郭の外縁の外側に位置したと報告している。Mitchell ら<sup>13)</sup>および Guntheroth<sup>14)</sup>の報告はヒトおよび動物の造影法による成績の数値が大きく算出され, 動物での各種観血的方法による成績の数値が小さく算出されるという矛盾を説明すると思われる。つまり, 駆出期終了に近づいてくると左室肉柱の折

れ込みや、Rushmer<sup>17)</sup> がいう左室壁厚心内膜側の圧縮によって心内膜の壁厚計測装置と造影剤の外縁が離れるという結果を生じたのである。以上のように動物での成績では壁厚増加度は直接法では小さく、造影法ではヒトの成績と同様に大きい値を示している。

## 2. 壁厚の心周期における変化

左室壁厚の心周期変化をみると、収縮期、拡張期とも特徴的な変化を示し注目された。すなわち、左室壁厚は等容収縮期では有意な変化を示さず、A群のように心電図 R 波からかなり遅れて増大し始める例と、B群のように駆出開始とともに徐々に増大し始める例がある。その後、壁厚はほぼ駆出終了時点で最大に達し、駆出終了後等容拡張期には壁厚は有意な変化を示さず、拡張初期に壁厚は急速に減じ、ほぼ収縮期前の厚さにもどり、拡張中期から終期にかけて壁厚はあまり変化せず、つぎの心周期に入った。A群のように駆出開始後遅れて壁厚が増加する群には正常3例が含まれていることから、これらの群が正常な壁厚の変化を示していると推察されるが、B群のように駆出開始後徐々に壁厚が増していく群には虚血性心疾患4例(症例7, 8, 10, 11)、大動脈炎症候群、大動脈弁閉鎖不全症、心房中隔欠損症(症例15)各1例、計7例がある。症例7には左前下行枝の硬化性病変、左回旋枝の25%狭窄、右冠動脈の50~90%の狭窄、症例8には冠動脈三枝に50%の狭窄、症例10には左前下行枝の99%の狭窄があり、右冠動脈から副血行を受けている。症例11には心電図にて前壁中隔梗塞の所見が認められる。この4例の拡張末期左室壁厚は8.0~10.1 mm と我々の正常例の壁厚より大きな値を示すものが多い。このことは上記4例の虚血性心疾患の壁厚測定部位は代償的肥厚を示している可能性があり、そのことが心筋収縮力を高め、駆出開始とともに壁厚が厚くなることを示唆しているのかも知れない。

文献的な壁厚の経時的変化については、Eber<sup>8)</sup>が正常ヒト例で我々の対象とした壁厚部で、等容収縮期では壁厚はあまり変化せず、駆出開始

から遅れて壁厚が増加し始めることを観察している。Sandler と Dodge<sup>15)</sup> は弁膜症例で左室壁厚の経時的変化を分析したが、彼らの成績は我々の成績と酷似している。つまり、壁厚は拡張末期から遅れてその厚さを急に増し、最大に達した後その厚さを急に減少する。しかし、Feigel と Fry<sup>12)</sup> は、麻酔犬での成績で等容収縮期にて左室壁厚が11%厚くなることを報告している。Hawthorne<sup>16)</sup> は、意識馬でストレインゲージを用いた成績で左室壁厚は等容収縮期で厚くなることを観察している。しかし、Guntheroth<sup>14)</sup> の慢性実験犬で超音波トランスジューサーを用いての報告では等容収縮期には全例壁厚増加を示さず平均2.0%薄くなったとしている。以上のようにヒトと動物での成績は左室壁厚の経時的変化において差異がみられる。正常のヒトで造影法を用いた壁厚の心周期における変化が動物と差異を示す理由としてつぎの2つが考えられる。1つは Mitchell ら<sup>13)</sup> および Guntheroth<sup>14)</sup> などが示している、駆出末期ではビーズもしくは超音波トランスジューサーが造影剤の外縁より外側に離れて位置すること、もう1つは駆出末期に左室壁心内膜側が圧縮され壁厚増加度を高めるが、この増加を観血的計測装置では探知できない可能性があり、これは動物で観血的計測装置を左室壁に固定するという操作によるものと推察される。また、等容収縮期における壁厚増加度の差異は Feigel と Fry<sup>12)</sup>、Hawthorne<sup>16)</sup> の用いている方法では計測装置で壁を貫通するが、この操作にて心筋が傷害されているという点で Guntheroth<sup>14)</sup> の犬での報告や造影剤を用いたヒトでの報告の方法と異なるものと思われる。

左室壁厚の心周期における変化は、左室容積が大なる時期には容積が減少しても壁厚は余り変化せず、容積が小なる時期には容積減少の割りに壁厚の増加の割合が大であるということ、駆出期終了に近づいてくると左室肉柱が折れ込むこと、および駆出期終了に近づいてくると左室壁心内膜側が圧縮されてくること、などの変化が合わさって

駆出末期にいたるにつれて左室壁厚の厚さが増す。拡張期の壁厚変化は収縮期と対称の現象が起こっているものと思われるが、拡張初期の壁厚の急激な減少が左室への急速な血液流入と関係を有するであろうということは明らかであろう。

#### 文 献

- 1) Rackley CE, Dodge HT, Coble YD Jr, Hay RE: A method for determining left ventricular mass in man. *Circulation* **29**: 666-671, 1964
- 2) Dodge HT, Sandler H, Ballew DW, Lord JD: The use of biplane angiocardiology for the measurement of left ventricular volume in man. *Amer Heart J* **60**: 762-776, 1960
- 3) Dodge HT, Sandler H, Baxley WA, Hawley RR: Usefulness and limitations of radiographic methods for determining left ventricular volume. *Amer J Cardiol* **18**: 10-24, 1966
- 4) Bunnell IL, Shapiro SH, Falsetti HL, Grant C, Greene DG: Dynamic changes in left ventricular wall thickness in man. *Circulation* **37**, **38**: Suppl VI, VI 1-3, 1968
- 5) Hood WP Jr, Rackley CE, Rolett EL: Wall stress in the normal and hypertrophied human left ventricle. *Amer J Cardiol* **22**: 550-558, 1968
- 6) Gould KL, Kennedy JW, Frimer M, Pollack GH, Dodge HT: Analysis of wall dynamics and directional components of left ventricular contraction in man. *Amer J Cardiol* **38**: 322-331, 1976
- 7) Dumesnil JG, Ritman EL, Frye RL, Gau GT, Rutherford BD, Davis GD: Quantitative determination of regional left ventricular wall dynamics by roentgen videometry. *Circulation* **50**: 700-708, 1974
- 8) Eber LM, Greenberg HM, Cooke JM, Gorlin R: Dynamic changes in left ventricular free wall thickness in the human heart. *Circulation* **39**: 455-464, 1969
- 9) Hugenholtz PG, Kaplan E, Hull E: Determination of left ventricular wall thickness by angiocardiology. *Amer Heart J* **78**: 513-522, 1969
- 10) Lynch PR, Bove AA: Geometry of the left ventricle as studied by a high-speed cineradiographic technique. *Fed Proc* **28**: 1330-1333, 1969
- 11) Ross J Jr, Sonnenblick EH, Covell JW, Kaiser GA, Spiro D: The architecture of the heart in systole and diastole. *Circulat Res* **21**: 409-421, 1967
- 12) Feigel EO, Fry DL: Myocardial mural thickness during the cardiac cycle. *Circulat Res* **14**: 541-545, 1964
- 13) Mitchell JH, Wildenthal K, Mullins CB: Geometrical studies of the left ventricle utilizing biplane cinefluorography. *Fed Proc* **28**: 1334-1343, 1969
- 14) Guntheroth WG: Changes in left ventricular wall thickness during the cardiac cycle. *J Appl Physiol* **36**: 308-312, 1974
- 15) Sandler H, Dodge HT: Left ventricular tension and stress in man. *Circulat Res* **13**: 91-104, 1963
- 16) Hawthorne EW: Dynamic geometry of the left ventricle. *Amer J Cardiol* **18**: 566-573, 1966
- 17) Rushmer RF: *Cardiovascular Dynamics*. 4th ed, WB Saunders Co, Philadelphia, 1976, p 91-98