

《原 著》

## 虚血性心疾患における拡張早期左室壁運動の検討

—<sup>99m</sup>Tc 心プールイメージングによる検討—

成田 充啓\* 栗原 正\* 村野 謙一\* 宇佐美暢久\*

本田 稔\*\* 金尾 啓右\*\*

**要旨** 健常 10 例、左室収縮機能良好な冠動脈疾患 (CAD) 22 例を対象に <sup>99m</sup>Tc 心プールイメージングを安静時に施行し、左室容積曲線より early diastolic phase index (rapid filling 前半での左室平均充満速度、FR-in-1/2 RF) を求めるとともに、rapid filling の中間の時点 (1/2 RF) での左室拡張壁運動様式を検討した。CAD では健常例に比し FR-in-1/2 RF が有意に低く、77%で FR-in-1/2 RF の異常値を示した。健常例では 1/2 RF で左室壁が endsystolic (ES) perimeter より外方に存在したが、CAD 22 例中 19 例 (86%) で、いずれかの左室区域において、1/2 RF での左室辺縫が ES perimeter に重なる (no movement) か、ES perimeter の内方に存在 (inward movement) した。1/2 RF における壁運動異常より、CAD の存在のみでなく、狭窄冠動脈の診断が 62%で可能であり specificity も 97%と高かった。1/2 RF で左室壁が inward movement を示した区域は、そのほとんど (8/9) が梗塞域で、同域では regional ES の遅延をみたが、no movement 域では regional ES の遅延はなく、拡張早期左室充満が緩徐であった。

### I. はじめに

冠動脈疾患 (CAD) においては、左室拡張機能障害が収縮機能障害に先立っておこり、左室機能障害の、早期かつ鋭敏な指標であることが報告されてきた<sup>1,2)</sup>。最近では <sup>99m</sup>Tc を用いた心アンギオよりえた time activity curve (左室容積曲線) をもとに左室拡張機能を、拡張期における左室の容積変化率、または変化速度としてとらえようとする試みがなされている<sup>3,4)</sup>。われわれも <sup>99m</sup>Tc 心プールイメージングより拡張早期 1/3 における左室充満速度 (mean left ventricular filling rate during the first third of diastole, 1/3 FRmean) を求め、本指標が、CAD の存在を早期より知りうる有用

な diastolic phase index であることを指摘してきた<sup>5,6)</sup>。しかしこれらは、いずれも CAD における左室充満の異常を左室全体から global にとらえようとするものである。今回、われわれは、拡張早期における左室充満の様式を regional にとらえることを目的とし、左室充満様式を左室壁運動の面より検討し、CAD における拡張早期の左室壁運動の特異性を健常例と対比しつつ検討した。

### II. 対象と方法

#### 1. 対象

対象は健常 10 例と冠動脈の 1 枝以上に 75% 以上の狭窄を有する CAD 22 例である。

健常群：病歴、心電図、胸部 X 線、心エコー図より心疾患なしと判定した 6 例と、非定型胸痛を有し、心電図、胸部 X 線、心エコー図で異常をみず、かつ冠動脈造影、左室造影上異常をみなかつた 4 例の計 10 例 (男 8 例、女 2 例)、平均年齢 47.0 ± 7.0 歳 ( $\text{mean} \pm \text{SD}$ ) (36—56 歳) である。

CAD：CAD は、左室収縮機能が正常に近い症例、すなわち左室駆出率 (LVEF) が 55% 以上で、

\* 住友病院内科

\*\* 同 アイソトープ室

受付：58 年 5 月 23 日

最終稿受付：58 年 6 月 29 日

別刷請求先：大阪市北区中之島 5-2-2 (番 530)

住友病院内科

成田 充啓

かつ左室収縮壁運動が正常か、収縮壁運動異常が存在しても hypokinesisまでの症例22例を選んだ。CADは梗塞の既往の有無より2群に区分した。Group Iは梗塞の既往のない11例(男8例、女3例)、平均年齢 $53.7 \pm 8.0$ 歳(36~61歳)で、1枝病変3例、2枝病変8例で、詳細はTable 1に示す。Group IIは梗塞の既往のある11例(男10例、女1例)、平均年齢 $53.0 \pm 7.2$ 歳(45~68歳)で、1枝病変7例、2枝病変4例で、梗塞部、冠動脈狭窄部の詳細はTable 2に示す。Group I、Group IIともCADとしては安定した時期の症例であり、梗塞例は発症後3か月以上を経過した陳旧期の症例のみである。

全例検査時には regular sinus rhythm を呈していた。

## 2. 方 法

心プールイメージングには、all purpose collimatorを装置した Pho/Gamma V型シンチカメラと心電図をミニコンピューター(scintipac 1200)にon lineで接続しデータを採取した。 $^{99m}$ Tcが生体内で赤血球にラベルされた後、安静時、臥位で、正面と尾側に10度collimatorを挙上した左前斜

位40度(modified LAO)の2方向よりmultigate法(1 frame/30 msec)で8分間データを採取した<sup>7)</sup>。データ採取に際して、一定のR-R間隔をあらかじめ設定し、検査中に採取するR-R間隔が一定に保たれるようにした。LAOのデータよりbackgroundを除去した後、左室のtime activity curve(容積曲線)と、その一次微分(dV/dt)曲線を求めた<sup>5,7)</sup>。この容積曲線をもとに収縮期指標として左室駆出率(LVEF)を、拡張期指標として拡張早期1/3における平均左室充満速度(1/3 FR mean)<sup>5,6)</sup>と、rapid filling phaseの前1/2における平均左室充満速度(mean left ventricular filling rate during the first half of rapid filling, FR-in-1/2 RF)を求めた(Fig. 1)。Rapid filling終了の時点は容積曲線の観察のみで容易に判別しえたが、判定やや困難と思われる症例は、dV/dt曲線のmaximal filling(拡張期におけるdV/dt曲線の頂点)後の下降脚のほぼ中点に存在する曲線の折れ曲がり点を目安とした。1/3 FR mean, FR-in-1/2 RFともend-diastolic countsでnormalizeし、また1秒間の値に変換して表示した<sup>5,6)</sup>。

また、LAOでの左室を、拡張終期像(ED-image)

Table 1 Patients profiles, systolic and diastolic functions in Group I

| Case No. | Dx | Stenosed CA | Systolic Function |                      | Diastolic Function             |                                   |                                 |
|----------|----|-------------|-------------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
|          |    |             | EF (%)            | Sites of Abnormal WM | Sites of Abnormal WM at 1/2 RF | FR-in-1/2 RF (sec <sup>-1</sup> ) | 1/3 FRmean (sec <sup>-1</sup> ) |
| 1        | EA | LAD, LCx    | 56                | (-)                  | Ap (0), Sep (0)<br>In-Ap (0)   | 1.07                              | 1.35                            |
| 2        | EA | LAD, LCx    | 66                | PL                   | PL (inward)                    | 0.91                              | 1.30                            |
| 3        | EA | LAD         | 55                | (-)                  | Sep (0)                        | 0.75                              | 1.17                            |
| 4        | EA | LAD, RCA    | 58                | (-)                  | Sep (0)                        | 0.76                              | 1.50                            |
| 5        | EA | LAD, RCA    | 55                | (-)                  | Inf (0), Sep (0)               | 1.46                              | 1.53                            |
| 6        | EA | LAD, RCA    | 73                | (-)                  | Sep (0)                        | 1.53                              | 2.12                            |
| 7        | EA | LAD, LCx    | 58                | (-)                  | PL (0), In-Ap (0)              | 1.02                              | 1.36                            |
| 8        | EA | RCA, LCx    | 55                | Inf-Ap, PL           | Inf (0), Sep (0)<br>In-Ap (0)  | 1.25                              | 1.45                            |
| 9        | EA | RCA, LCx    | 55                | (-)                  | (-)                            | 1.40                              | 1.73                            |
| 10       | EA | LAD         | 70                | (-)                  | (-)                            | 1.48                              | 2.06                            |
| 11       | EA | LAD         | 72                | (-)                  | (-)                            | 1.58                              | 2.07                            |

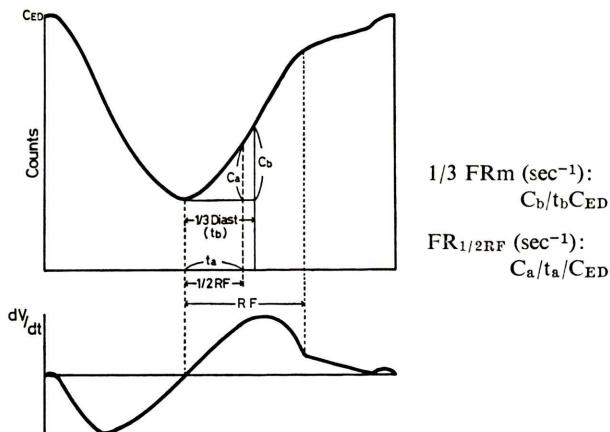
Abbreviations: CA; coronary artery, LAD; left anterior descending coronary artery, LCx; left circumflex coronary artery, RCA; right coronary artery, EA; effort angina, WM; wall motion, Ap; apical, In-Ap; inferoapex, Sep; septal, PL; posterolateral, Inf; inferior.

(0) means no movement at 1/2 RF.

**Table 2** Patients profiles, systolic and diastolic functions in Group II

| Case No. | Dx       | Stenosed CA    | Systolic Function |                               | Diastolic Function             |                                   |                                 |
|----------|----------|----------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
|          |          |                | EF (%)            | Sites of Abnormal Systolic WM | Sites of Abnormal WM at 1/2 RF | FR-in-1/2 RF (sec <sup>-1</sup> ) | 1/3 FRmean (sec <sup>-1</sup> ) |
| 1        | Ant, MI  | LAD            | 63                | (-)                           | Sep (inward)                   | 1.21                              | 1.48                            |
| 2        | Inf, MI  | RCA            | 63                | In-Ap                         | Inf (0), In-Ap (inward)        | 0.76                              | 1.40                            |
| 3        | Ant, MI  | LAD            | 71                | (-)                           | Sep (inward)                   | 0.86                              | 1.22                            |
| 4        | Inf, MI  | RCA            | 55                | Inf, In-Ap                    | Inf (0), In-Ap (0)             | 1.19                              | 1.24                            |
| 5        | Ant, MI  | LAD, LCx       | 56                | Sep                           | AL (0), Ap (0)                 | 1.07                              | 1.39                            |
|          |          |                |                   |                               | Sep (inward)                   |                                   |                                 |
| 6        | Ant, MI  | LAD, LCx       | 62                | Sep                           | Sep (inward)                   | 0.72                              | 1.20                            |
| 7        | Post, MI | LCx            | 56                | PL                            | PL (inward)                    | 0.76                              | 1.40                            |
| 8        | Ant, MI  | D <sub>1</sub> | 55                | AL                            | AL (0)                         | 1.13                              | 1.49                            |
| 9        | Inf, MI  | RCA, LCx       | 64                | Sep                           | Inf (0), Sep (0)               | 0.99                              | 1.44                            |
|          |          |                |                   |                               | In-Ap (0)                      |                                   |                                 |
| 10       | Post, MI | LCx            | 62                | PL                            | PL (inward)                    | 1.04                              | 1.43                            |
| 11       | Post, MI | LCx, LAD       | 61                | PL                            | PL (inward)                    | 0.78                              | 1.03                            |

Abbreviations: MI; myocardial infarction, Ant; anterior, Post; posterior, AL; anterolateral, D<sub>1</sub>; first diagonal branch of LAD. Other abbreviations are same as Table 1.



**Fig. 1** Calculation of diastolic phase indexes. These indexes were obtained from the left ventricular volume curve (upper panel). Mean left ventricular (LV) filling rate during the first third of diastole (1/3 FRmean) and mean LV filling rate during the first half of rapid filling phase (FR<sub>1/2RF</sub> or FR-in-1/2RF) were calculated as early diastolic phase indices. The termination of the rapid filling phase was easily detected as the notch of the dV/dt curve (lower panel) which corresponded to the mid portion of the descending limb after maximal filling.  
 CED; end-diastolic counts, C<sub>a</sub>; counts increased during the first half of the rapid filling phase, C<sub>b</sub>; counts increased during the first third of diastole, t<sub>a</sub>; duration of the first half of the rapid filling phase (sec), t<sub>b</sub>; duration of the first third of diastole (sec)

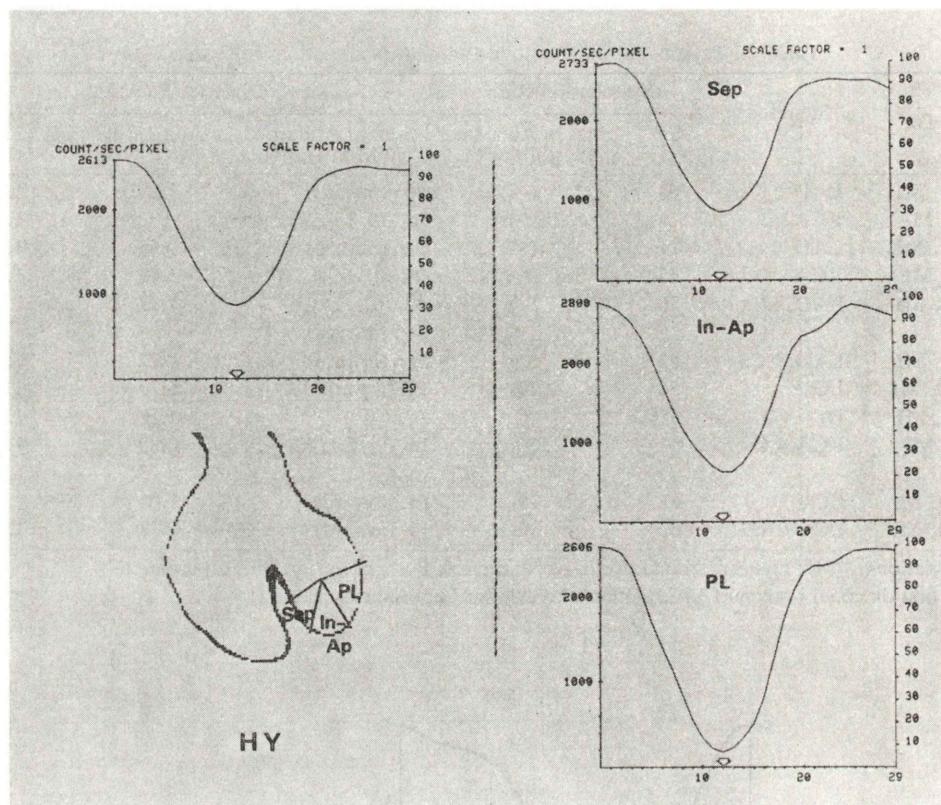


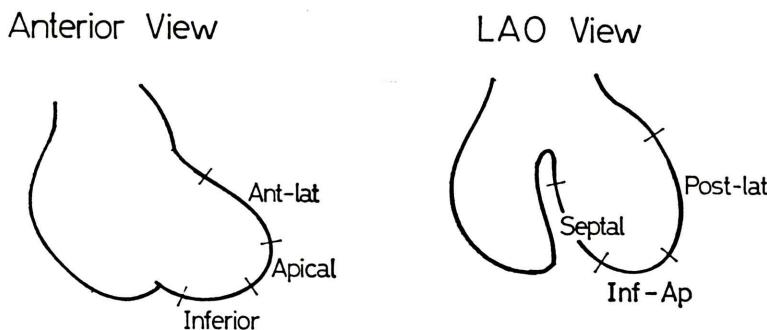
Fig. 2 Regional volume curves in a normal subject. Left ventricle (LV) at LAO position were divided into 3 regions (septal, infero-apical and posterolateral) from the geometric center of the LV except for cardiac base (lower panel of the left side). Each end-systolic point (arrow) of the regional volume curves (right side) coincided with the end-systolic point of the global volume curve (12th frame) (upper panel of the left side).

LVEF; 61%, Global FR-in-1/2 RF; 1.70 sec<sup>-1</sup>, Global 1/3 FRmean; 2.01 sec<sup>-1</sup>

の面積中心より Fig. 2 に示す如く、心基部を除き septal, inferoapical, posterolateral に 3 分割し、各 segment での容積曲線を求めた。各容積曲線の谷を regional ES と名付けた。これに対し、左室全体での容積曲線の谷を global ES と名付け、各症例での各 regional ES の global ES に対する timing のずれ (frame 数) を計測した。各 segment での LVEF, 1/3 FR mean, FR-in-1/2 RF は今回は計測しなかった。

左室壁運動の解析：正面、LAO の心プールイメージを動画として壁運動の観察を行うほか、ED-image, ES-image の左室辺縁を isocount 法で

抽出し systolic wall motion の解析を行った<sup>7)</sup>。正面、LAO の左室辺縁を Fig. 3 に示すごとく、おのおの 3 つ計 6 つの segment に区分し、各 segment での systolic wall motion をその程度により normal, hypokinesis (moderate, severe), akinesis, dyskinesis に区分した<sup>8)</sup>が、今回は normal および hypokinesis の症例のみを取りあつかった。また anterolateral, septum は左冠状動脈前下行枝 (LAD) の、posterolateral は左冠動脈回旋枝 (LCx) の、inferior は右冠動脈 (RCA) の支配域と考え、apex, inferoapex は LAD, LCx, RCA いずれの支配域でもありうると考えた<sup>9)</sup>。



**Fig. 3** Left ventricular perimeter at anterior and LAO views were divided into 3 segments each. Blood supply of each segment were estimated as follows; anterolateral (Ant-lat) and septal segments represent left anterior descending coronary artery (LAD) vascular area, inferior segment represents right coronary artery (RCA) vascular area and posterolateral (Post-lat) segment represents circumflex coronary artery (LCx) vascular area. Apical and infero-apical segments can represent any of LAD, RCA or LCx vascular area.

拡張期左室壁運動は、ES から ED へ向かって 1 frame ごとの壁運動の観察を行ったが、ES-image と rapid filling phase の中間に image(rapid filling phase の中間に frame が存在せぬ時は中間より ES 寄りの frame) (1/2 RF) の左室辺縁抽出を isocount 法で行い、同一画面上に display した。Systolic wall motion の場合同様に 6 つの segment において検討したが、1/2 RF での左室 perimeter が ES-perimeter より外方にある時 outward movement, ES-perimeter と重なっている時 no movement, ES-perimeter より内方にある時 inward movement と名付け、inward movement および no movement を拡張期異常壁運動とみなした。

### 3. 統計解析

各群における各指標は、mean $\pm$ SD で示した。また各群間での平均値の比較には Student's test を用い、危険率 5% 以下を有意とみなした。回帰性の解析には直線回帰分析を用いた。

## III. 結 果

全例で満足する心プールイメージングがえられた。各群間で検査時の心拍数に有意差をみなかつた。また各群での被検者の年齢は、健常群が CAD group より若干低い傾向にあったが有意差は存在

しなかつた (Table 3)。

### 1. Systolic および Diastolic Parameter

左室駆出率 (LVEF): Global systolic parameter としての LVEF は、健常群  $64.8 \pm 6.6\%$ , Group I  $61.2 \pm 7.5\%$ , Group II  $60.7 \pm 4.9\%$  と各群間で有意差をみなかつた (Table 3)。

拡張期指標: Diastolic parameter の内 FR-in-1/2 RF は、健常例で  $1.71 \pm 0.17 \text{ sec}^{-1}$ , Group I で  $1.20 \pm 0.31 \text{ sec}^{-1}$ , Group II で  $0.96 \pm 0.91 \text{ sec}^{-1}$  と Group I, Group II とも健常群に比し有意 ( $p < 0.001$ ) の低値を示したが、Group I, Group II の間には有意差をみなかつた (Table 3, Fig. 4)。なお ES から 1/2 RF までの time interval は 3 群間で有意差をみなかつた (Table 3)。FR-in-1/2 RF の健常群の平均値から 2 SD 減じた値 ( $1.37 \text{ sec}^{-1}$ ) を FR-in-1/2 RF の正常下限と仮定すると、Group I の 11 例中 6 例 (55%), Group II の全例 (100%) が異常値を示した。

他方もう一つの diastolic parameter である 1/3 FR mean は、健常群で  $2.01 \pm 0.25 \text{ sec}^{-1}$ , Group I で  $1.60 \pm 0.34 \text{ sec}^{-1}$ , Group II で  $1.34 \pm 0.14 \text{ sec}^{-1}$  と、Group I, Group II とも健常群より有意 (おのおの  $p < 0.01$ ,  $p < 0.001$ ) に低く、かつ Group II は Group I より有意 ( $p < 0.05$ ) に低かった (Table 3,

Table 3 Systolic and diastolic functions among 3 groups (mean $\pm$ SD)

| Group           | Age            | HR<br>(bpm)    | EF<br>(%)      | FR-in-1/2 RF<br>(sec $^{-1}$ ) | 1/3 FRmean<br>(sec $^{-1}$ ) | ES to 1/2 RF<br>(msec) |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------|
| Normal (n=10)   | 47.0 $\pm$ 7.0 | 68.4 $\pm$ 5.3 | 64.8 $\pm$ 6.6 | 1.71 $\pm$ 0.17                | 2.01 $\pm$ 0.25              | 128 $\pm$ 11           |
| Group I (n=11)  | 53.7 $\pm$ 8.0 | 68.0 $\pm$ 5.0 | 61.2 $\pm$ 7.5 | 1.20 $\pm$ 0.31**              | 1.60 $\pm$ 0.34*             | 133 $\pm$ 13           |
| Group II (n=11) | 53.0 $\pm$ 7.2 | 66.8 $\pm$ 5.0 | 60.7 $\pm$ 4.9 | 0.96 $\pm$ 0.19**              | 1.34 $\pm$ 0.14***†          | 135 $\pm$ 15           |

\*\*p<0.001 vs Normal, \*p<0.01 vs Normal, †p<0.05 vs Group I

ES to 1/2 RF means time interval from end-systolic point to the middle of rapid filling phase.

### Comparison of Diastolic Phase Indexes Among 3 Groups

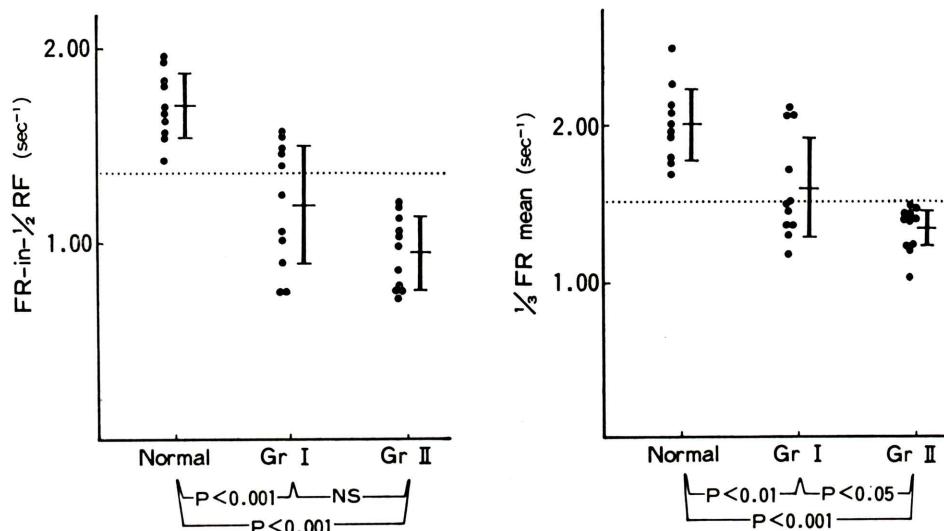


Fig. 4 Comparison of diastolic phase indexes among 3 groups. FR-in-1/2 RF in patients with Group I and Group II was significantly lower than that of normal, but FR-in-1/2 RF between Group I and Group II was not different significantly. 1/3 FR-mean in patients with Group I and Group II was significantly lower than that of normal, and 1/3 FRmean in patients with Group II was lower than that in Group I. Broken lines of each panel indicate the lower limits of normal (mean-2SD of normal group).

Fig. 4). Diastolic phase の 1/3 の長さは、健常群で  $160 \pm 21$  msec, Group I で  $164 \pm 20$  msec, Group II で  $172 \pm 18$  msec と各群間で有意差をみなかつた。この diastolic phase の 1/3 の長さは、ES から 1/2 RF までの時間より平均 33 msec 長かった。1/3 FR mean の場合も健常群の平均値から 2SD を減じた値 ( $1.51\text{ sec}^{-1}$ ) を正常下限と仮定すると、Group I の 11 例中 6 例 (55%), Group II の全例 (100%) が異常値を示した。また Group I におい

て 1/3 FR mean が正常値を示した 5 例は、FR-in-1/2 RF が正常値を示した 5 例と同じ症例であった (Table 1)。

なお、FR-in-1/2 RF と 1/3 FR mean の間には全 32 例で  $r=0.88$  ( $\text{FR-in-1/2 RF} = 0.93 \times 1/3 \text{ FR mean} - 0.24$ ) ( $p<0.01$ ) の高度の直線関係が存在した。

#### 2. 左室壁運動

左室収縮壁運動：健常例は全例、左室収縮壁運

動は正常であった。Group I では11例中2例(18%), 3 segments に moderate hypokinesis を認めた。これは2冠動脈域に相当し、いずれも狭窄冠動脈の支配域であった。Group I では総計19の狭窄冠動脈が存在するが、その内2冠動脈域(11%)で収縮壁運動異常を呈したことになる(Table 1)。

Group II では11例中9例(82%) 10 segments で hypokinesis(9 segment で moderate, 1 segment で severe hypokinesis) を呈した。Hypokinesis が存在したのは、いずれも梗塞域であり、これは9冠動脈域に相当し、Group II では狭窄冠動脈が総計15存在するため、9/15(60%) で収縮壁運動異常を示したことになる。

#### 拡張期壁運動：

健常例；健常例では全例拡張早期より比較的均等な外方への壁運動を示し、1/2 RF の時期においては、いずれの segment でも outward movement を示した(Fig. 5)。

**Group I;** Group I の 11 例中 8 例 (73%) が 1/2 RF での拡張壁運動異常を示した(Table 1, Fig. 6)。この拡張壁運動異常は 14 segments, 10 冠動脈域に相当したが、この14 segments 中 inward movement を示したのは 1 segment のみで、残り 13 segments では no movement であった。また収縮期壁運動が hypokinesis を呈した 3 segments は、いずれも拡張壁運動異常を示した。10 冠動脈域の内、9 冠動脈域は狭窄冠動脈域であったが、1 冠動脈域(Table 1, Case 8, septal) では冠狭窄が存在せず、Group I において冠狭窄診断の sensitivity は 9/19 (47%), specificity は 13/14 (93%) であった。

**Group II;** Group II 11例全例(100%), 17 segments で 1/2 RF における拡張期壁運動異常をみた(Table 2, Fig. 7)。これは 12 冠動脈域に相当し、すべて狭窄冠動脈域であった。内11が梗塞域であった。拡張期壁運動異常をみた 17 segments の内 8 segments で 1/2 RF での inward movement をみたが、これはいずれも梗塞域に相当した。

Group II において 1/2 RF での拡張期壁運動異常による冠狭窄診断の sensitivity は 12/15 (80%), 梗塞冠動脈域に限ると 11/11 (100%) であり、ま

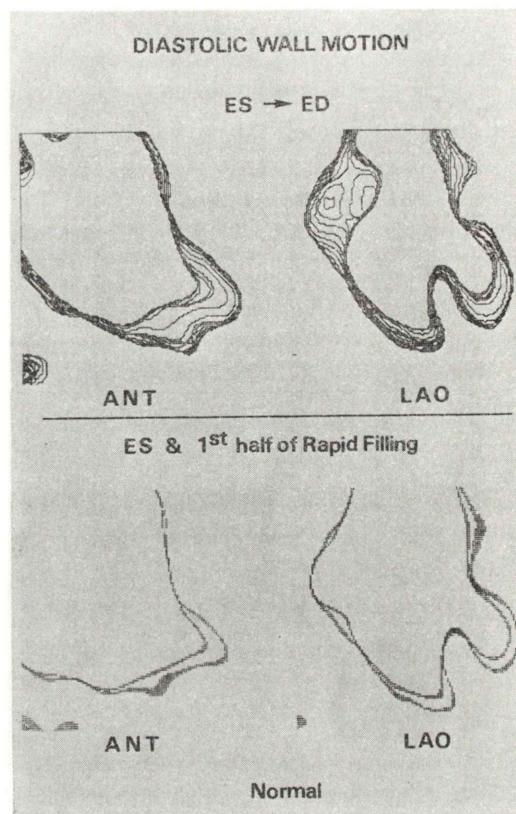


Fig. 5 Diastolic wall motion in normal subject. In upper panel, diastolic wall motion was analyzed frame by frame (30 msec each) both at anterior and LAO projections. Lower panel showed ventricular perimeter at end-systole and at the middle of rapid filling (1/2 RF). At 1/2 RF left ventricle expanded (outward movement) clearly in every segments.

た specificity は 100% であった。

#### 3. 1/2 RF における左室壁運動と FR-in-1/2 RF

CAD Group I 11例中 6 例、Group II 11例全例、両群をあわせると 22 例中 17 例 (77%) で FR-in-1/2 RF の異常値を示した。これは 1/3 FR mean の場合も同様であった。これに反し、1/2 RF で拡張期壁運動異常を示したのは、Group I 11例中 8 例、Group II 全例であり、両群をあわせると 22 例中 19 例 (86%) であった。かつ FR-in-1/2 RF が異常値を示した 17 例は全例 1/2 RF での壁運動異常を示した。逆に 1/2 RF での壁運動が正常 (outward)

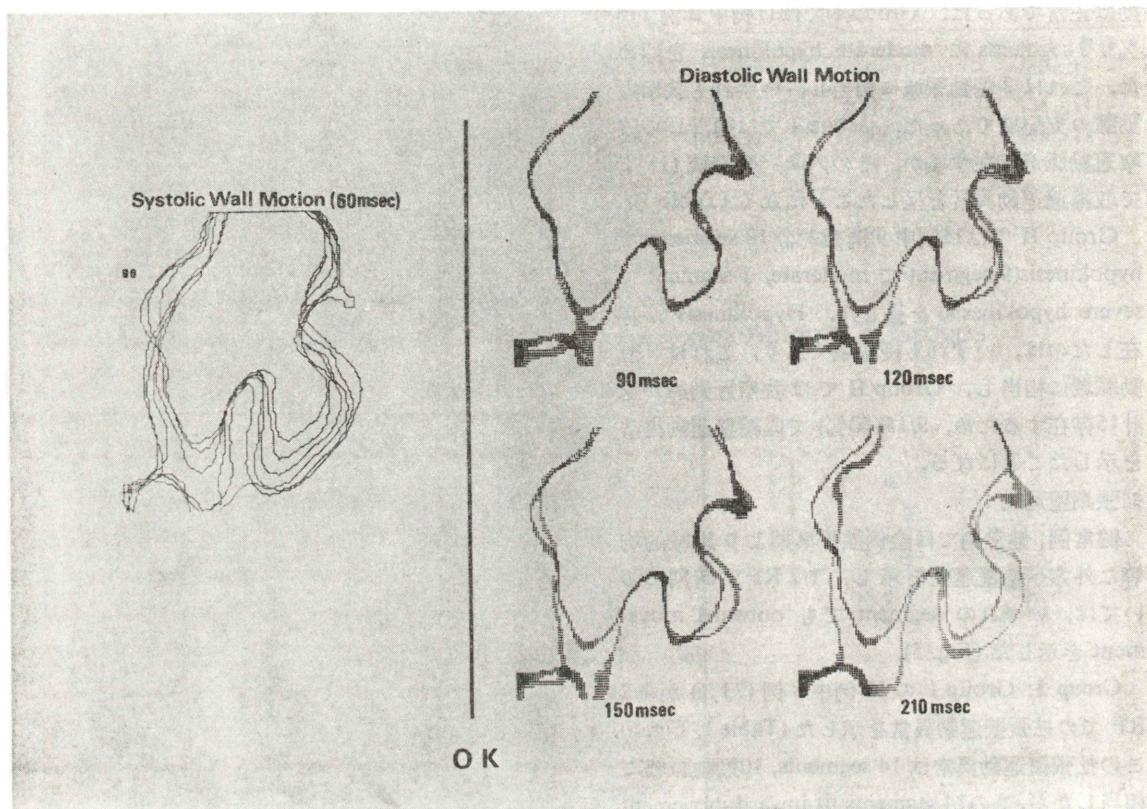


Fig. 6 Systolic and diastolic wall motion in a patient with Group I (Table 1, Case 3) at LAO position. Sequential systolic wall motion (left side) showed normal wall motion. Right side panels showed diastolic wall motion. End-systolic perimeter (vertical lines) was expressed in each panel as fixed figure and diastolic wall motion (horizontal lines) was superimposed. Numerals under each panel represented the time interval from end-systole. At the middle of the rapid filling phase (150 msec), posterolateral segment showed outward movement but septal segment showed no movement.

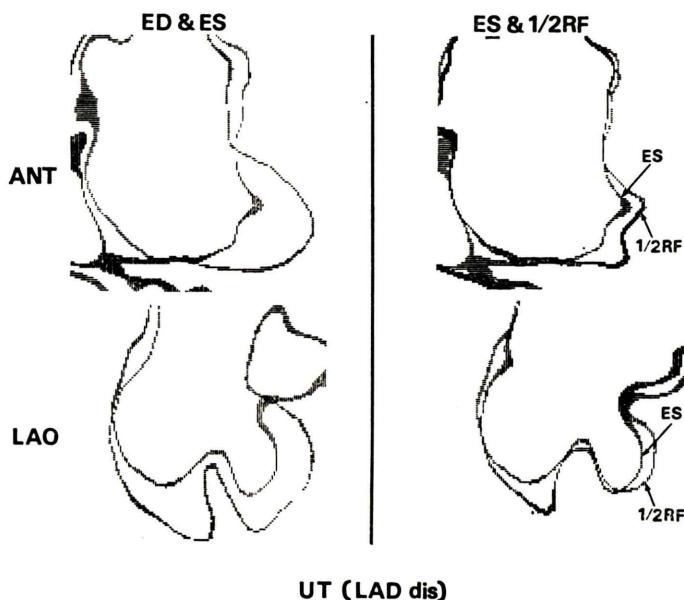
であったにもかかわらず FR-in-1/2 RF が異常値を示した例は存在しなかった。

#### 4. 1/2 RF における左室壁運動と Regional ES

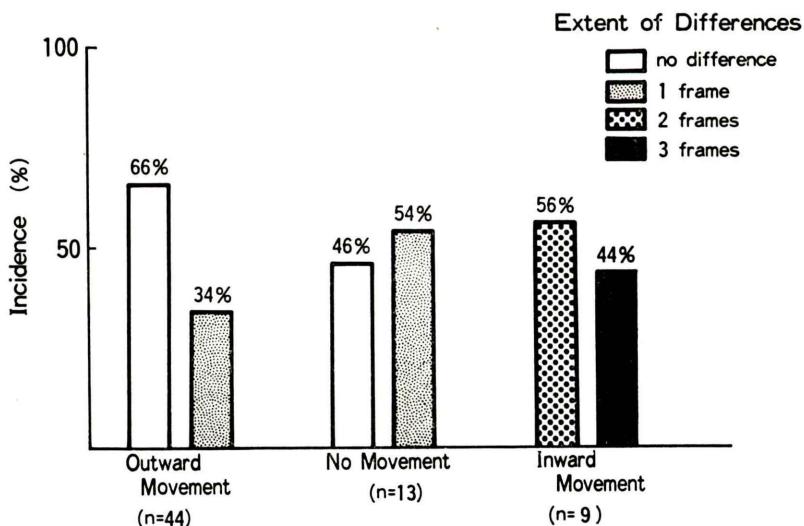
CAD 22例, LAO 66 segment で regional ES が算出された。Outward movement (44 segments), no movement (13 segments), inward movement (9 segments) での regional ES の global ES に対する timing のずれ (frame 数) を Fig. 8 に示す。

Inward movement を示した 9 segments は、いずれも regional ES が global ES に比し 2~3 frames の遅れ (平均  $2.4 \pm 0.5$  frames) を示した。

Figure 9 に症例を示す。No movement を示した 13 segments では regional ES が global ES と等しいか (Fig. 10), もしくは 1 frame の遅れを示し, regional ES の global ES に対する遅れは平均  $0.5 \pm 0.5$  frame であった。これに反し, 1/2 RF で outward movement を示した 44 segments では, regional ES が global ES と同一 frame か, 前後 1 frame のずれであり, その差は平均  $0.4 \pm 0.5$  frame であった。すなわち, inward segment では no movement を示した segment や outward segment に比し regional ES の global ES に対するお



**Fig. 7** Systolic and diastolic wall motion in a patient with Group II (Table 2, Case 6). Systolic wall motion (left side) showed septal hopokinesis at LAO view. Right side panels showed end-systolic perimeter (horizontal lines) and the perimeter at the middle of the rapid filling phase (vertical lines). In LAO view, postero-lateral segment showed outward movement, but the septal segment existed inside of the end-systolic perimeter (inward movement).



**Fig. 8** Segmental diastolic wall motion at the middle of rapid filling period (1/2 RF) and the differences between global and regional end-systole. Segments which moved inwardly at 1/2 RF showed significantly greater delay of regional end-systole (2 or 3 frames, 60 to 90 msec) than no movement segments and outward movement segments.

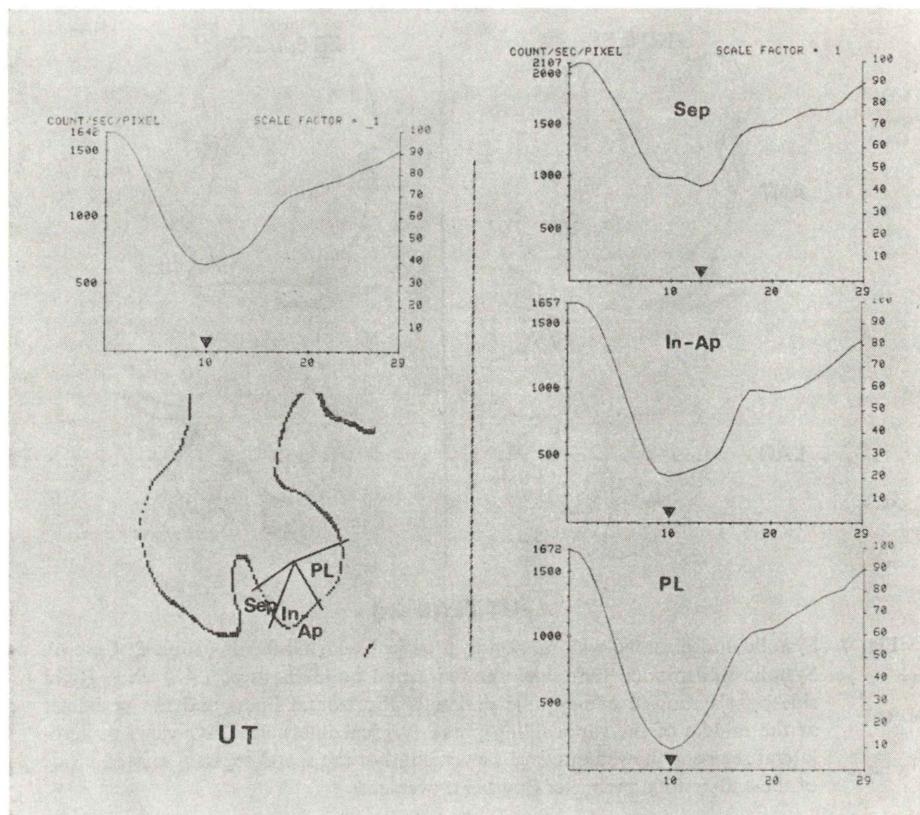


Fig. 9 Global and regional volume curves in a patient with Group II whose diastolic wall motion was shown in Fig. 7 (Table 2, Case 6). Regional end-systole of the septal segment (13th frame) delayed for 3 frames in comparing with other regional end-systole (infero-apical and posterolateral segments) and global end-systole (10th frame). Left upper panel represents global volume curve (EF; 62%, FR-in-1/2 RF;  $0.72 \text{ sec}^{-1}$ , 1/3 FRmean;  $1.20 \text{ sec}^{-1}$ .)

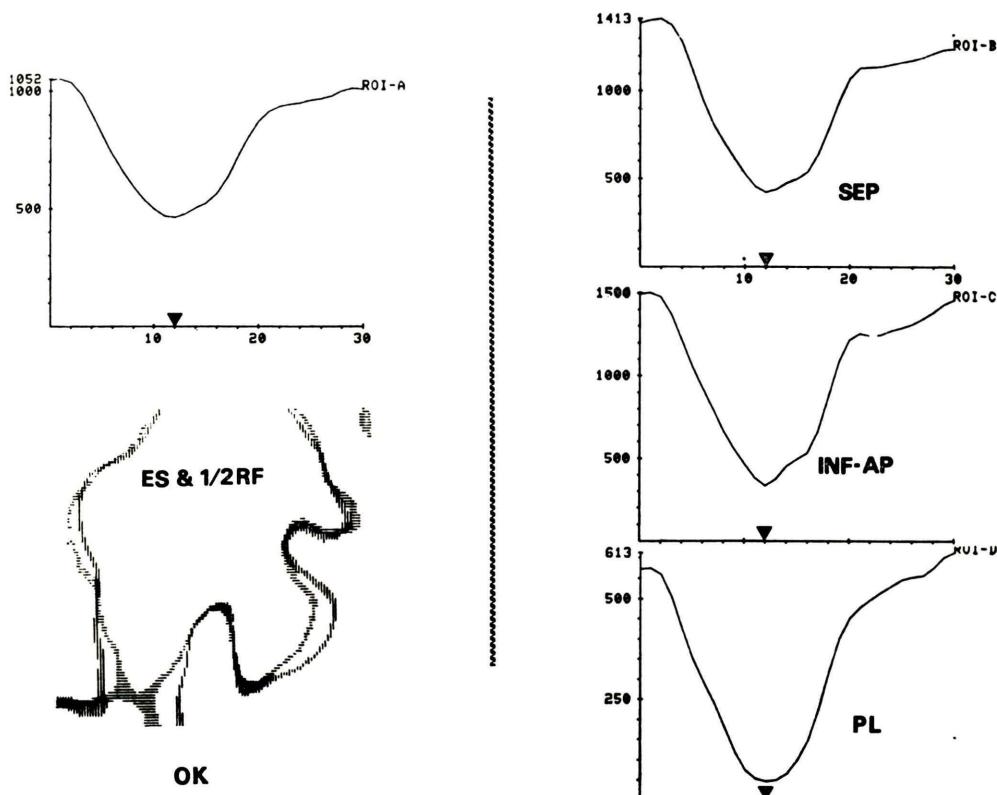
これが有意に（ともに  $p < 0.001$ ）大であったが、no movement を示した segment と outward segment の間に regional ES-global ES difference は有意差をみなかった。

なお健常例 30 segments においては regional ES は global ES と同一 frame (Fig. 2) か、前後 1 frame のずれであり、regional ES-global ES difference は平均  $0.3 \pm 0.4$  frame で、CAD outward segment や no movement segment と有意差をみなかった。

#### IV. 考 案

CADにおいて、左室拡張機能障害が収縮機能

障害に先立って生じ、左室機能障害の早期かつ敏感な指標であることが示唆されてきた<sup>1,2)</sup>。このような拡張機能は、従来、等容拡張期における圧変化<sup>1,2)</sup>や、拡張期の圧容積関係<sup>10,11)</sup>より論じられてきたが、近年心エコー法<sup>12)</sup>、<sup>99m</sup>Tc 心アンギオ法<sup>3,4)</sup>をもとに、左室拡張機能を拡張早期における左室容積変化よりとらえようとする試みがなされている。われわれも、<sup>99m</sup>Tc 心プールイメージングより得た左室容積曲線をもとに、左室拡張機能を左室拡張早期 1/3 における容積変化率 (1/3 FR mean) としてとらえ、CAD の診断、評価上、左室 global systolic function としての LVEF や、regional systolic function としての壁運動異常よ



**Fig. 10** Global and regional volume curves in a patient with Group I whose diastolic wall motion was shown in Fig. 6 (Table 1, Case 3). Each end-systolic point of the regional volume curves (right side) coincided with the end-systolic point (12th frame) of the global volume curve (upper panel of the left side). But early diastolic filling at the septal segment (no movement) was very slow compared with posterolateral segment. Lower panel of the left side showed end-systolic perimeter and the perimeter at the middle of the rapid filling phase.

LVEF; 55%, Global FR-in-1/2 RF; 0.75 sec<sup>-1</sup>, Global 1/3 FRmean; 1.17 sec<sup>-1</sup>

り鋭敏な指標であることを報告してきた<sup>5,6)</sup>。しかし、これらは左室全体 (global) として拡張様式をとらえようとする試みであり、今回、われわれは、左室充満様式を regional にとらえるため、拡張期左室壁運動の面より検討を加えた。また regional diastolic function を示す拡張期壁運動異常が、global diastolic function に比し、どの程度敏感に CAD の存在を反映するかをみるため、ES からま 1/2 RF での左室平均充満速度 (FR-in-1/2 RF) をも併せて検討した。

左室拡張期壁運動に関する研究は比較的少なく、

コントラストシネアンギオ法を用い、主として等容拡張期における壁運動異常に焦点がおかれている。Altieri ら<sup>13)</sup>は、胸痛を有する 100 例 (CAD 59 例, no CAD 41 例) 中 83 例で、等容拡張期に左室壁の 1 部で外方に向かって突出する現象をみたとし、これを segmental early relaxation phenomenon と名付け、これは冠動脈疾患の有無にかかわらず出現するため左室拡張様式の normal variation の 1 つと結論した。友常<sup>14)</sup>は、等容拡張期における同様の左室壁外方突出運動を asynchronous relaxation と名付け、これが虚血性心疾患で

高頻度にみられることより, asynchronous relaxation の原因として心筋の虚血が関係しうると指摘した。逆に Gibson ら<sup>15)</sup>は、健常例においては等容拡張期に左室に 1.5~3.0mm の均等な外方への運動がみられるが、CAD においては狭窄冠動脈の支配心筋域 (affected area) はこの時期に abnormal inward movement を示し、一方 non-affected area にみられる 6 mm をこえる abnormal outward movement はむしろ compensatory phenomenon であるとしており、等容拡張期における壁運動に関しては、必ずしも意見の一致をみていない。

われわれは等容拡張期ではなく、実際に左室が充满している時点での壁運動を検討した。この拡張期壁運動異常を判定する時点として 1/2 RF を選んだのは、(1) 健常例で拡張期左室壁を 1 frame ごとに検討したところ、外方への左室の拡張が拡張早期より認められるが、その excursion 程度は segment により多少異なる。しかし、いずれの segment においても 1/2 RF (ES より平均 120 msec, ES より第 4 frame) では明らかな外方運動が認められること (Fig. 5), (2) 収縮機能を良好な CAD では、拡張早期における左室容積の増加は緩徐であるが、拡張早期 1/3 位の時点より急速となる症例が多くみられる<sup>5)</sup>ため、拡張期壁運動の検討にも拡張期早期 1/3 以内の時点が適切と思えるが、1/2 RF は拡張早期 1/3 の時点より平均 33 msec (約 1 frame) 早い timing であること、(3) 心ペルリメーリングの採取に先立って一定の R-R interval をあらかじめ設定し、検査中に採取される R-R interval が同一症例では比較的一定に保たれるようにしているが、心拍数の異なる症例間では、拡張早期 1/3 時点の diastolic phase における timing が異なりうる。しかし rapid filling の長さは心拍数の影響をうけにくく<sup>16)</sup>、むしろ疾患そのものの影響をうける<sup>12)</sup>などの理由による。

また global diastolic function を表す FR-in-1/2 RF の CAD における有用性をみるために、CAD の拡張機能の評価上特に有用であった拡張早期 1/3 における左室平均充満速度 (1/3 FR mean) との対

比を行った。Table 1, Table 2 に示すごとく FR-in-1/2 RF, 1/3-FR mean とも全く同一症例で低下を示した。前述のごとく、rapid filling の長さは心拍数の影響を受けにくいため、FR-in-1/2 RF は、心拍数が大きく異なる症例間でも心拍数の差を考慮せずに対比できる利点を有するが、他方心機能の不良な症例 (今回の study では、心機能良好な症例のみを対象としているため問題とならないが) や左室 compliance が著しく低下した症例では、拡張期の容積増加が、拡張期早期から拡張終期に至るまで同等の勾配を有するため rapid filling phase が不明となる症例も存在する。このような点も考慮し、FR-in-1/2 RF は 1/3 FR mean と同等の価値を有すると考えられた。

また拡張期壁運動異常を、1/2 RF における左室 perimeter が end-systolic perimeter と重なっている (no movement) か、end-systolic perimeter より内方に存在する (inward movement) と定義することにより CAD 22例中19例 (86%) で拡張期壁運動異常を示した。Global diastolic phase index である FR-in-1/2 RF もしくは 1/3 FR mean の異常を示したのが22例中17例 (77%) とやや低く、拡張期壁運動異常を示さずに global diastolic phase index のみ異常を示した症例は存在しなかったことを考慮すると、両者の CAD 診断における sensitivity 統計学的に有意差はないものの、regional に拡張期左室充満様式を検討することで、CAD の診断がより sensitive になるとと考えられた。さらにこのような壁運動異常の検討の利点は、狭窄冠動脈の診断も可能であることで、狭窄冠動脈34枝の内、21冠動脈域 (62%) で冠動脈狭窄の診断が可能であった。これは systolic wall motion による冠動脈狭窄の診断 (32%) より有意 ( $p < 0.01$ ) に大である。また、specificity もすぐれており CAD 22 例での非狭窄冠動脈32枝中 1 冠動脈域に拡張期壁運動異常が出現したにすぎず、specificity も 97% であった。

また拡張期壁運動異常を inward movement と no movement に区別したが、inward movement を示した 9 segments の内 8 segments までが梗塞

域で、梗塞域以外で inward movement を示したのは 1 segment にすぎない。またこうした inward movement を示した segment では、regional ES が global ES に比し 2~3 frames 遅れていることが示された (Fig. 8)。梗塞域においては phase 解析などより、健常左室壁に比し駆出開始の遅れが存在することが報告されているが<sup>17)</sup>、このような駆出の局所的なおくれが梗塞部における regional ES の遅延をきたし、同部での 1/2 RF における inward movement をひきおこし、ひいては early diastolic phase index の低下をきたしたと考えられた。しかし 22 segments では no movement を示し、LAO での 13 の no movement segment では regional ES の global ES に対する有意の遅延はみられない。しかし、Fig. 10 に示した症例のごとく、いずれの region の regional ES も global ES と一致しているが、狭窄冠動脈 (LAD) の支配域である septal region では、ES 後の左室容積の増加が inferoapical, posterolateral region に比しきわめて緩徐であり、こうしたことが septal region での 1/2 RF における no movement (Fig. 6)、ひいては global diastolic phase index の低下として現れたものと考えられた。しかし、拡張期壁運動異常のさらに軽微なものとしては、outward movement を示すがその程度が健常部より小という場合も存在すると思われる。しかし今回は、定量的な評価を行っていないため、1/2 RF で多少とも外方に動いていれば正常と解釈した。

壁運動そのものの定量的評価、もしくは各 region での early diastolic phase index の検討は CAD の診断、CAD での左室充満の状態を把握するうえで有用と思われ、今後検討していきたいと考える。

## V. 結 論

1) 健常 10 例、左室収縮機能良好な CAD 22 例 (心梗塞の既往のない Group I 11 例、心梗塞の既往のある Group II 11 例) を対象に、安静時に <sup>99m</sup>Tc 心プールイメージングを正面、左前斜位 40 度の 2 方向より施行し、左室容積曲線より early

diastolic phase index (FR-in-1/2 RF, 1/3 FR mean) を求めるとともに左室拡張様式を regional にとらえるため、1/2 RF における左室壁運動様式を検討した。

2) CAD では健常例に比し、FR-in-1/2 RF, 1/3 FR mean とも有意に低く、Group I 11 例中 6 例 (55%), Group II 全例で異常値を示した。

3) 健常例においては 1/2 RF において、すべての segment で endsystolic perimeter に比べ左室壁の明らかな外方運動 (outward movement) を示した。したがって 1/2 RF における左室壁が endsystolic perimeter と重なる (no movement) か、もしくは内方に存在する (inward movement) 場合を拡張異常運動と解釈したが、CAD Group I では 11 例中 8 例 (73%) (14 segments, 10 冠動脈域) で、Group II では 11 例全例 (100%) (17 segments, 12 冠動脈域) で拡張期壁運動異常を示した。これは収縮期壁運動異常の出現頻度より有意 ( $p < 0.01$ ) に高い。また本法の狭窄冠動脈診断の specificity も 97% と高かった。

4) LAO における心プールイメージングより、septal, inferoapical, posterolateral での regional volume curve を用いて検討したところ、inward movement を示した 9 segments では、regional ES が global ES に比し 2~3 frames の遅れを示していた。他方、no movement segment の場合には、該当部の regional ES の遅れは存在しなかつたが、同部での拡張早期での左室容積の増加が outward movement を示した segment にくらべてきわめて緩徐であった。

5) Global early diastolic phase index に加え、同時期での左室拡張期壁運動異常を検討することで、CAD 診断の向上と同時に、狭窄冠動脈の診断が 62% で可能であった。

## 文 献

- 1) Mann T, Goldberg S, Mudge GH Jr, et al: Factors contributing to altered left ventricular properties during angina pectoris. Circulation 59: 14-20, 1979
- 2) Papapietro SE, Coghlan HC, Zissermann D, et al:

- Impaired maximal rate of left ventricular relaxation in patients with coronary artery disease and left ventricular dysfunction. *Circulation* **59**: 984-991, 1979
- 3) Reduto LA, Wickemeyer WJ, Young JB, et al: Left ventricular diastolic performance at rest and during exercise in patients with coronary artery disease: Assessment with first-pass radionuclide angiography. *Circulation* **63**: 1228-1237, 1981
- 4) Bonow RO, Bacharach SL, Green MV, et al: Impaired left ventricular diastolic filling in patients with coronary artery disease: Assessment with radionuclide angiography. *Circulation* **64**: 315-323, 1981
- 5) 成田充啓, 栗原正, 村野謙一, 他: 心プールイメージングより求めた diastolic phase index の有用性——虚血性心疾患における検討——. *核医学* **19**: 1147-1157, 1982
- 6) 成田充啓, 栗原正, 村野謙一, 他:  $^{99m}\text{Tc}$  心プールイメージングより得た early diastolic phase index の意義——虚血性心疾患において——. *心臓* **214**: 1315-1321, 1982
- 7) 成田充啓, 栗原正, 村野謙一, 他: 心プールイメージングによる虚血性心疾患における各種 systolic phase index の評価. *核医学* **19**: 409-417, 1982
- 8) Corbett JR, Dehmer GJ, Levis SE, et al: The prognostic value of submaximal exercise testing with radionuclide ventriculography before hospital discharge in patients with recent myocardial infarction. *Circulation* **64**: 535-544, 1981
- 9) Dunn RF, Freedman B, Bailey I, et al: Exercise thallium imaging. Location of perfusion abnormalities in single-vessel coronary disease. *J Nucl Med* **21**: 717-722, 1980
- 10) Gaash WH, Levine HJ, Quinones MA, et al: Left ventricular compliance: Mechanism and clinical implications. *Am J Cardiol* **38**: 645-653, 1976
- 11) Lewis BG, Gotsman MS: Current concepts of left ventricular relaxation and compliance. *Am Heart J* **99**: 101-112, 1980
- 12) Hanrath P, Mathey DG, Siegert R, et al: Left ventricular relaxation and filling pattern in differential forms of left ventricular hypertrophy: An echocardiographic study. *Am J Cardiol* **45**: 15-23, 1980
- 13) Altieri PI, Wilt SM, Leighton RF: Left ventricular wall motion during the isovolumic relaxation period. *Circulation* **48**: 499-505, 1973
- 14) 友常一洋: 左室拡張動態に関する研究——時に asynchronous relaxation について——. *日内会誌* **71**: 764-777, 1982
- 15) Gibson DG, Previtt TA, Brown DJ: Analysis of left ventricular wall movement during isovolumic relaxation and its relation to coronary artery disease. *Brit H J* **38**: 1010-1019, 1976
- 16) Berne RM, Levy MN: *Cardiovascular physiology*. 2nd ed. CV Mosby, St Louis, 1972, p 80
- 17) Adams EW, Tarkowska A, Bitter F, et al: *Cardiac nuclear medicine*, Holman BL, Abrams HL, Zeitler E eds, Springer-Verlag, Berlin, Heiderberg, New York, 1979, p 21-33

## Summary

### Analysis of Left Ventricular Wall Motion During Early Diastole in Patients with Coronary Artery Disease

Michihiro NARITA\*, Tadashi KURIHARA\*, Kenichi MURANO\*,  
Masahisa USAMI\*, Minoru HONDA\*\* and Keisuke KANAO\*\*

*\*Department of Medicine, Sumitomo Hospital  
\*\*Division of Nuclear Medicine, Sumitomo Hospital*

In order to investigate the left ventricular (LV) wall motion during the early phase of diastole, multigated cardiac blood pool imaging with Tc-99m were performed at rest at anterior and 40-degree left anterior oblique (LAO) positions. Ten normal subjects and 22 patients with CAD with normal LV ejection fraction ( $\geq 55\%$ ) were studied.

Mean LV filling rate during the first half of the rapid filling period (FR-in-1/2 RF) was obtained as early diastolic phase index. In LAO images, three regional volume curves (septal, inferoapical and posterolateral) were obtained. For the diastolic wall motion analysis, anterior and LAO LV perimeters were divided into 6 segments, and they were analyzed frame by frame, but final decision was made at the middle of the rapid filling period (1/2 RF).

In patients with CAD, FR-in-1/2 RF was significantly ( $p < 0.001$ ) lower than that of normal subjects. Abnormal FR-in-1/2 FR ( $< 1.37 \text{ sec}^{-1}$ ) were found in 77% of CAD.

In normal subjects, expansion of LV during the

early phase of the diastole was rapid, and at 1/2 RF LV perimeter moved outward in every segment in comparison with end-systolic (ES) perimeter. But in patients with CAD the following abnormalities were encountered: 1) In 22 segments, LV perimeter at 1/2 RF did not move from ES perimeter (no movement) 2) In 9 segments, LV perimeter at 1/2 RF moved inward in comparison with ES perimeter. These abnormal diastolic wall motions were found in 83% of CAD and they corresponded to the segments which were supplied by stenosed coronary artery except one. In segments with inward movement, delay of regional ES (60 to 90 msec) were observed but in segments with no movement only slow filling of LV were observed by regional volume curve analysis.

The investigation of abnormal LV diastolic wall motion at 1/2 RF made possible the detection of stenosed coronary artery in 62%.

**Key words:** diastolic left ventricular wall motion, middle of rapid filling phase, gated cardiac blood pool imaging, coronary artery disease.