

《原 著》

# 心電図同期 $^{99m}$ Tc-MIBI 心筋断層像による左室収縮動態の検討 ——多方向長軸断層像による試み——

成田 充啓\* 栗原 正\* 新藤 高士\* 宇佐美暢久\*  
本田 稔\*\*

**要旨** 安静時に心電図同期  $^{99m}$ Tc-MIBI 心筋断層像 (G-SPECT) を撮像、左室各部で 1 心拍での心筋カウントの経時的変化を観察した。収縮に伴う心筋カウントの増加率 (%CC) は 21 例で M-モード心エコーで求めた中隔、後壁の収縮に伴う壁厚増加率 (%WT) と  $r=0.86$  ( $p<0.01$ ) の相関を示した。健常 (N) 10 例、心筋梗塞 (MI) 9 例で多方向長軸断層像を作成、心尖部を含む左室 17 箇所で %CC、ピークカウント (PC) の出現時期を見た。N で %CC は心尖部、左室中央部、心基部に至るにつれ有意の低下を示し、中隔部では側壁部より低値を示すため、各区域毎に %CC の正常値を決定した。MI では N と異なり各区域での PC 出現のばらつきが大で、梗塞域で遅れを示した。MI において %CC の低下は心筋灌流イメージングでみた梗塞域の 91% に出現、さらに運動負荷による虚血域の 83%、梗塞のない脂肪酸代謝低下部の 89% でも低下を示した。安静時での %CC の低下は壊死部のみでなく compromised myocardium をも反映し、G-SPECT は有用な情報をもたらした。

(核医学 32: 1227-1239, 1995)

## I. はじめに

$^{99m}$ Tc methoxy-2-isobutyl isonitrile ( $^{99m}$ Tc-MIBI) は  $^{201}$ Tl 同様に心筋灌流量に応じて心筋に取り込まれる心筋イメージング製剤<sup>1-3)</sup> であるが、 $^{99m}$ Tc が 140 KeV というガンマカメラに適したエネルギーを有していること、半減期が短いため大量に投与可能であること<sup>4)</sup> より、通常の心筋断層像のみでなく、心電図同期心筋断層像の撮像も可能とし<sup>5)</sup>、心筋灌流の評価とともに心機能の評価が可能となつた<sup>6)</sup>。心電図同期心筋断層像での心機能

の評価法として、心収縮に伴う左室心内膜面の動きや、左室心筋の厚みの変化を視覚的に判定し、心機能を見ようとする方法<sup>6-8)</sup> と、収縮に伴う心筋カウントの変化をもとに心機能を評価しようとする方法<sup>9-11)</sup> が行われている。しかしこのような心筋カウントの変化がどの程度収縮に伴う壁厚の変化を反映しているのか、健常例において心筋各部で心収縮の状態が均一であるか否かの詳細な報告は少ない。そこでわれわれは安静時に心電図同期  $^{99m}$ Tc-MIBI 断層像を撮像し、1) 心筋の収縮に伴うカウントの変化が心筋の壁厚の変化を反映するかを心エコー図との対比で検討するとともに、2) 心尖部を含めた心筋各部での収縮に伴う心筋カウントの変化を、多方向長軸断層像を作成、検討し、その健常例における特徴、心筋梗塞例でこの方法を応用することの意義を検討した。

\* 住友病院内科

\*\* 同 アイソトープ検査部

受付: 7年 7月 27 日

最終稿受付: 7年 9月 18 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

## II. 対象と方法

### 1. 対象

心筋カウントの変化と左室壁厚の変化の対比  
対象は洞調律で、心電図同期断層像撮像と同日に心エコーが施行され、良好な心エコー図が得られ、壁厚の計測が可能であった症例である。健常4例、陳旧性心筋梗塞(MI)9例、肥大型心筋症(HCM)4例、拡張型心筋症(DCM)2例、心不全既往のある弁膜症2例の計21例で、男性18例、女性3例、平均年齢67±21歳(mean±SD)(37-84歳)であった。

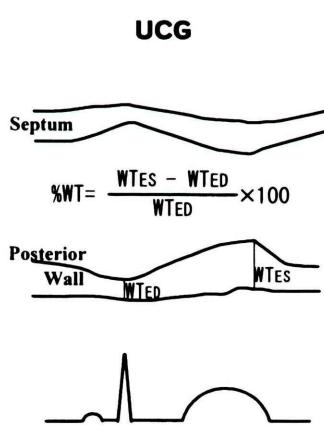
#### 長軸断層像による検討

対象は健常10例(男:女=7:3)、平均年齢64±13歳(43-80歳)とMI9例(いずれも洞調律)(男:女=7:2)(45-75歳)である。健常例の4例、MI全例は心筋カウントの変化と左室壁厚の対比の検討の症例でもある。MIの内訳は前壁梗塞5例、下壁梗塞2例、側壁梗塞(回旋枝領域の

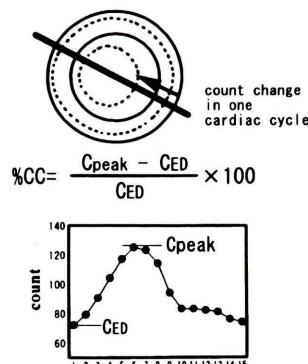
梗塞)2例で、病変冠動脈は前下行枝1枝病変5例、回旋枝1枝病変2例、右冠状動脈と回旋枝の2枝病変1例、3枝病変1例であった。

### 2. 方 法

健常10例、MI9例、HCM4例、DCM1例では座位自転車エルゴメータを用い運動負荷を行い、一定の基準(狭心症の出現、年齢別予測心拍数の85%に至る、重症不整脈の出現、下肢疲労のため自転車の回転維持困難)に至った際<sup>99m</sup>Tc-MIBI 200MBqを静注した。その後30分間座位で安静にした後、低エネルギー、汎用コリメータを装着したStarcum 3000XC/Tを用い、患者を仰臥位とし、左後斜位45度から右前斜位45度までの180度、32方向より撮像した(64×64マトリックス)。1方向の撮像時間は30秒、光電ピークは140KeV、ウインドー幅は20%とした。運動負荷時断層像で灌流異常が存在した症例ではニトログリセリン0.3mgを舌下投与し、また灌流異常が存在しなかった症例ではニトログリセリンを投与



**ECG-gated SPECT  
(short axis image)**



**Fig. 1** Calculation of %WT and %CC. Left; Percent wall thickening during systole (%WT) were calculated at septum and posterior wall as the percent change of wall thickness during systole by M-mode echocardiography (UCG). WTED: wall thickness at end-diastole (corresponded to R-wave). WTES: wall thickness at maximal contraction. Right; Percent count change (%CC) was calculated at anterior-septum and inferolateral wall as the count increasing rate between first frame (end-diastole, ED) to peak count frame. Time activity curves of myocardial count during one cardiac cycle were constructed from short axis images which were obtained by ECG-gated tomography with <sup>99m</sup>Tc-MIBI. CED: count at ED, Cpeak: count at peak systole.

することなく、運動負荷像の撮像 1-1.5 時間後に  $^{99m}$ Tc-MIBI 800 MBq を静注、30 分後に軽食を摂取、さらに 30 分後安静時イメージングを行った。安静時イメージングは運動負荷時同様に通常の断層像を撮像(1 方向の撮像時間は 20 秒)、次いで心電図同期断層像を撮像した。心電図同期断層像も、左後斜位 45 度から右前斜位 45 度までの 180 度で 32 方向より撮像した(64×64 マトリックス)。1 方向の撮像時間は 60 秒で、心電図の R 波をもとに、1 心拍を 16 に区分した。通常の断層像は Rump-Hanning filter を用いた back-projection 法により、スライス厚 6 mm の体軸横断断層像を作成、これをもとに心長軸矢状断層像、心長軸水平断層像、短軸断層像の oblique image を作成した。また、短軸断層像をもとに Bull's-eye map 表示を行った<sup>12,13</sup>。残りの症例では安静時に  $^{99m}$ Tc-MIBI 600 MBq を静注、その 30 分後に軽食を摂取させ、さらにその 30 分-1 時間後より通常

の心筋断層像、心電図同期心筋断層像を撮像した。

#### 心電図同期心筋断層像

心電図同期心筋断層像も、通常の断層像と同様に体軸横断断層像を作成、ついで 3 つの oblique image を同一の軸を用いて作成した。各 oblique image の中央面でシネモードによる壁運動の観察を行った。

心筋カウントの変化と心エコー図左室壁厚変化の対比：心エコー検査は超音波断層装置 SSA-260A を用いて行った。アメリカ心エコー学会の基準<sup>14</sup>に従い、M モード心エコー図をもとに、左室後壁、心室中隔での収縮に伴う壁厚の増加率、%wall thickening (%WT) を求めた(Fig. 1)。心電図同期断層像は短軸断層像の中央部を選び、心エコー図で %WT を求めた部位とはほぼ同一になるよう、下壁寄りの側壁と前壁寄りの中隔<sup>9</sup>を結ぶ線上で、各部位の心拍に伴う心筋カウントの変化

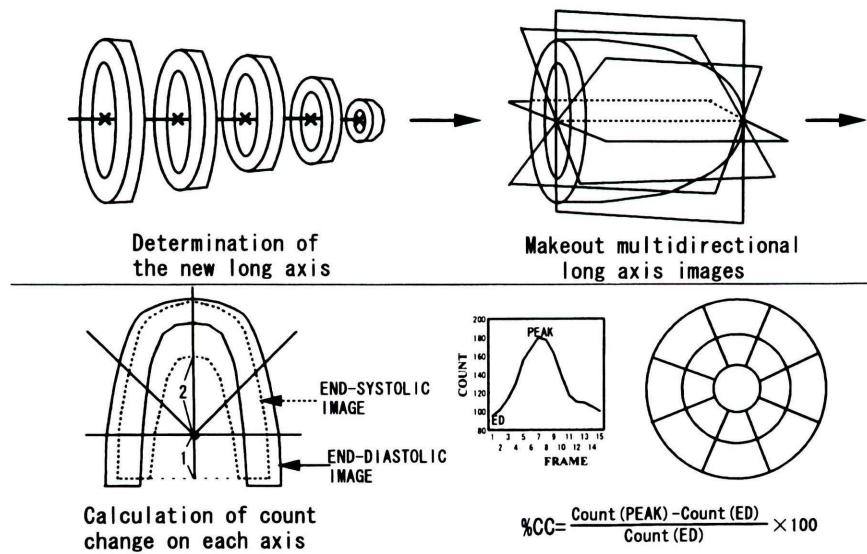


Fig. 2 Construction of multi-plane long axis tomography. Short axis images at end-diastole (ED) were arranged from apex to cardiac base, and the cardiac long axis which connected apex to the center of cardiac base was confirmed. By using this long axis, horizontal plane, vertical plane and other 2 oblique planes were constructed. As the center of left ventricular contraction, proximal one third point on the long axis of end-systole was selected. On 5 lines which passed through the common center, time activity curves of myocardial count in one cardiac cycle were constructed. And entire the left ventricle, 17 curves were obtained.

を見た(Fig. 1)。心筋カウントの変化は各時相での断層像の当該線上の最高カウントの変化で示し、3点スムージングを行った。第1フレームを拡張終期(ED)とみなした。心収縮に伴ったカウントの増加(ピークカウントからEDカウントを減じた)をEDカウントで除し、%表示した(%CC)。21例で相対応する42部位での%WTと%CCの関連を見た。またEDにおける後壁、中隔の壁厚と同じ部位での%CC・%WT比との関連を検討した。

多方向長軸断層像による検討：心電図同期多方向長軸断層像はFig. 2のごとく作成した。まずEDでの短軸断層像を心基部から心尖部まで表示し、心長軸が心基部断層面の中央部と心尖部を結んでいることを確認した。この長軸が上記条件を満たさぬ場合には、この条件を満たすまで再度断層像を作成した。次いでこの心長軸を利用し、垂直長軸面、水平長軸面、およびこれに45度で交わる2つの長軸面の計4つの面で断層像を作成した。この4つの長軸断層像を縦横とも2倍に拡大、2つのpixelの間を補間法で埋めることにより、128×128のイメージを作成した。各断層像

において、EDでの心長軸と収縮終期(ES)での心長軸が一致していることを確かめた。両者で長軸のずれが生じているときは各時相での長軸がEDの長軸に一致するように短軸断層像を移動調整した<sup>15)</sup>。また、短軸断層像各時相での左室と右室接合部を比較し、大きなずれがあるときにはED以外の短軸断層像を回転し、左室、右室接合部がすべての時相でEDと同じになるよう調整を行った。長軸のうち、ESでの心尖部心内膜面と2つの心基部先端部を結ぶ線と交わる部分をESでの長軸とみなし、この線上で心基部側1/3の部分を心収縮の中点と考えた。長軸、心収縮の仮想中心点を通りかつ長軸に直角に交わる線、この線と心尖部に向かう長軸と45度に交わる2つの線、計5つの線上での収縮、拡張に伴うカウントの変化(各時相での断層像の当該線上の最高カウント)をプロットした。カウントの経時的变化は3点スムージングを行った。心尖部は各線上で共通であるため、左室全体では17の区域でカウントの変化、%CCを計測した。また左室各区域でピークカウントの出現時間をR-Rを100に換算して表示した。

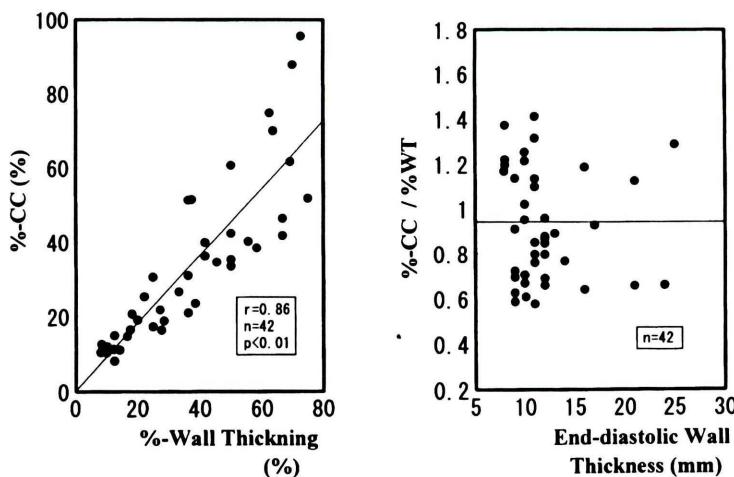


Fig. 3 Left; Correlation between %CC and %WT. %CC correlated well with %WT (correlation coefficient 0.86,  $p<0.01$ ). Right; Relation of end-diastolic wall thickness to %CC/%WT. %CC/%WT distributed between 0.58 to 1.49 irrespective of end-diastolic wall thickness.

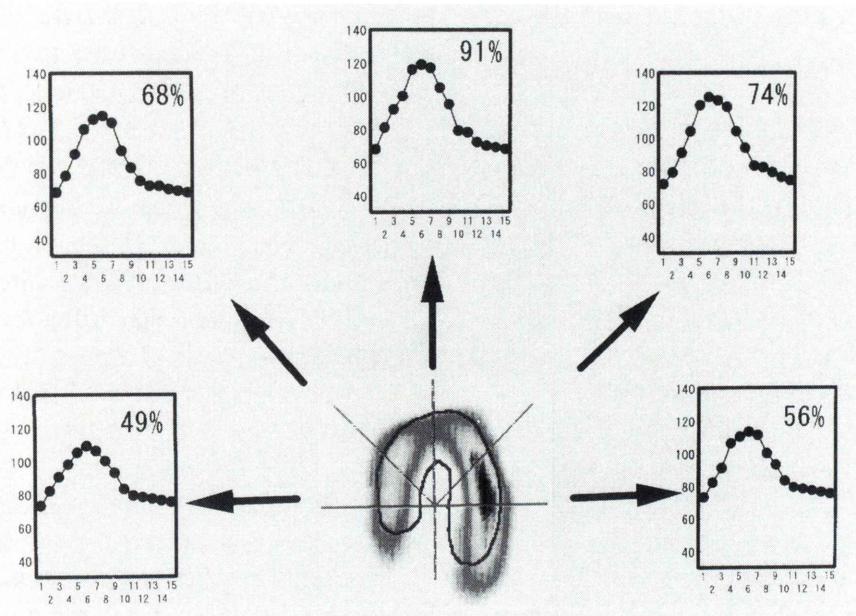


Fig. 4 Time activity curves of myocardial count in a case of normal subject. To demonstrate time activity curves, horizontal long axial plane was selected. Time activity curves were obtained at apex, 2 parts of mid left ventricle (LV) and two parts of LV base. Numbers within each time activity curve represented %CC.

#### $^{123}$ I-BMIPP 心筋イメージング

心筋梗塞の9例中7例で $^{99m}$ Tc-MIBI検査の1週間以内に、安静時に $^{123}$ I-BMIPP [ $\beta$ -methyl-p-( $^{123}$ I)iodophenyl-pentadecanoic acid] 心筋イメージングを施行した。すなわち安静空腹時に $^{123}$ I-BMIPP 111 MBqを静注、20分後より断層像を撮像した。断層像の撮像法、機種は1方向の撮像時間が20秒、光電ピークが159 KeVであることを除いては $^{99m}$ Tc-MIBIイメージングと同様である<sup>13)</sup>。また $^{123}$ I-BMIPPの断層像の作成も $^{99m}$ Tc-MIBIの場合と同様であり、Bull's-eye map表示を行った<sup>13)</sup>。

#### $^{99m}$ Tc-MIBI, $^{123}$ I-BMIPP 心筋イメージと心電図同期心筋断層像の対比

運動負荷および安静時 $^{99m}$ Tc-MIBI心筋灌流断層像、 $^{123}$ I-BMIPP心筋断層像とも、Bull's-eye mapを用い、心電図同期心筋断層像の表示と同様に17の区域に区分した。そして相対応する区域で3者の対比を行った。いずれの心筋断層像の場合も

各症例での最高カウントの60%未満の部分が心筋区域の50%を超えるとき、その区域は欠損域とみなした<sup>13,16)</sup>。

#### 統計処理

各群の値は mean  $\pm$  SDで示した。多群間の比較にはANOVA(一元置換分散分析またはKruskal-Wallis検定)を行い、有意なものに関して各群間でMann-WhitneyのU検定を行った。各群間の出現率の差に関してはFisher法を用いた。回帰性の解析には直線回帰を行った。いずれの場合も危険率5%未満を有意とみなした。

### III. 結 果

全例で満足する $^{99m}$ Tc-MIBI心筋イメージング、 $^{123}$ I-BMIPP心筋イメージングが得られた。健常例では灌流異常は存在せず、心電図同期断層像oblique imageで観察した左室壁運動は全例で良好であった。

## 心筋カウントの変化と心エコー図左室壁厚変化の対比

心収縮に伴う壁厚の増加率(%WT)と心筋カウントの増加(%CC)には $r=0.86$  ( $p<0.01$ )の高度の相関が存在した(Fig. 3)。EDにおける左室後壁、心室中隔の壁厚は8–25 mm(平均 $12\pm 4$  mm)であり、EDでの各壁厚と%CC・%WT比は0.58–1.49の間に分布し(平均 $0.93\pm 0.28$ )、分布の広がりはEDでの壁厚によって影響されていなかった(Fig. 3)。

### 多方向長軸断層像による検討

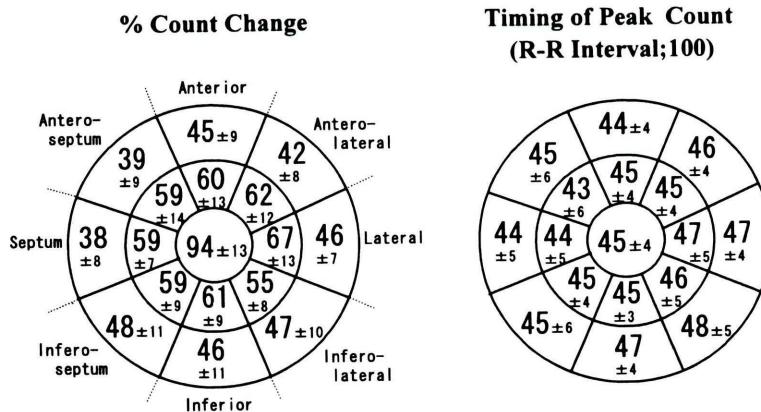
健常例での結果：健常例での多方向長軸断層像の一断層面における心筋カウントの経時的变化をFig. 4に示す。

健常例での心筋各部での%CCはFig. 5に示すごとくあり、心尖部で最大であり、左室中央部、心基部いずれの部位より有意( $p<0.01$ )に大であった。左室中央各部位での%CCは下壁寄りの側壁(infero-lateral)を除いて心基部各部の%CCより有意に大( $p<0.01$ 、一部 $p<0.05$ )であった。この心中央部のinfero-lateralでの%CCは心基部のinfero-lateral、infero-septumの%CCと有意差は

見ないものの、他の心基部の各区域の%CCとは有意( $p<0.01$ または $p<0.05$ )に異なっていた。左室中央部における各区域の%CCは、側壁で中隔側より高値を示したが有意差は存在しなかった。心基部側においても側壁での%CCは中隔側での%CCより大であり、septumとinfero-lateral、infero-septum(ともに $p<0.05$ )、antero-septumとanterior、lateral、infero-lateral、inferior、infero-septum( $p<0.01$ または $p<0.05$ )には有意差が存在した。したがって、各心筋部位での%CCの正常値は健常例の各区域でのデータより区域毎に決定した。すなわち、平均値–2SD未満の%CCを異常値と診断した。

収縮の始まり(R波)からpeak count(PC)までの時間は心筋各部において差を見なかった(Fig. 4)。各症例での心筋17区域でのR-PC時間のばらつき(各症例毎の17区域でのR-PC時間のSD)は3.2–4.0( $3.4\pm 0.5$ )であった。

心筋梗塞例での検討：MIでは運動負荷 $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI心筋イメージングで全例に欠損の出現を見た。全例で運動負荷での欠損の広がりは安静時の欠損の広がりより大であった。運動負荷で全9例



**Fig. 5** Left; Percent count change in normal subjects. Numbers represented mean $\pm$ SD in 10 normal subjects. %CC is highest at apex (center) and it decreased from apex to left ventricular base. Middle and peripheral 8 segments represented mid left ventricle and left ventricular base respectively. Right; Timing of peak count appearance in normal subject. R-R interval was transformed to 100. R to peak count interval was not different among myocardial segments.

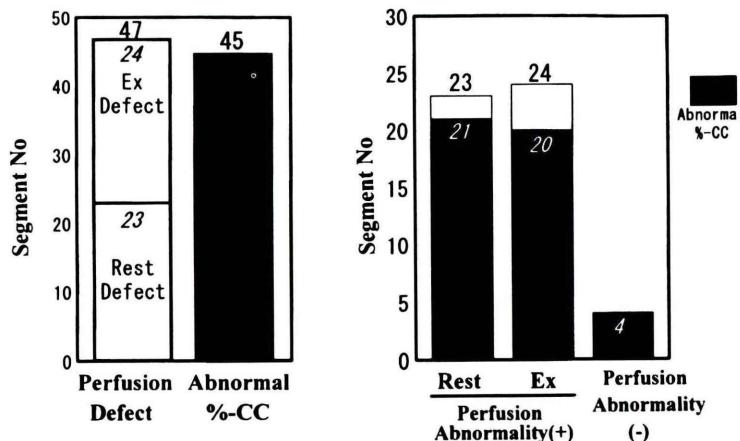


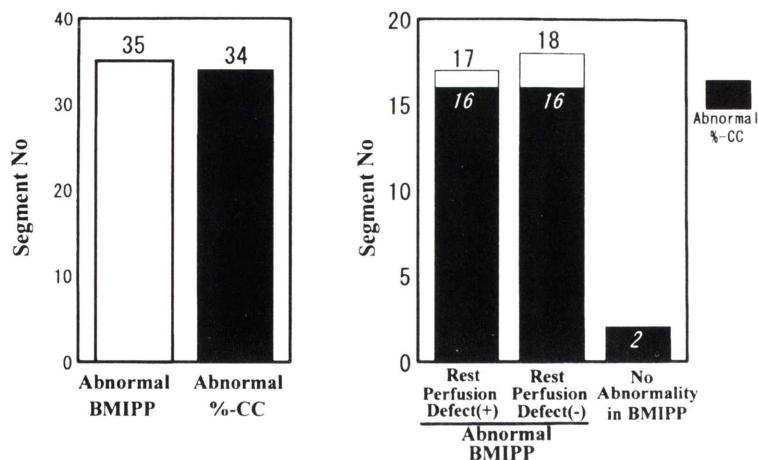
Fig. 6 Abnormal myocardial perfusion and abnormal %CC. Left; In exercise stress (Ex) perfusion imaging with  $^{99m}$ Tc-MIBI, perfusion defect appeared in 47 segments in 9 patients with myocardial infarction. In rest imaging perfusion defect persisted in 23 segments. On the other hand abnormal %CC was observed in 45 segments. Right; Abnormal %CC was observed in 21 (91%) of 23 rest defect segments, in 20 (83%) of 24 exercise induced defect segments and in four segments without rest and exercise perfusion defect.

で 47 区域に欠損が存在し、安静時に欠損は 23 区域に減じた。23 区域が梗塞域、24 区域が運動負荷誘発虚血域と考えられた。他方 %CC が異常を示した区域は 45 区域であり、%CC の低下域は梗塞域より有意に ( $p < 0.05$ ) 大であった (Fig. 6)。梗塞部 23 区域中 21 区域 (91%) で %CC の低下を示し、また運動負荷で欠損の広がった 24 区域中 20 区域 (83%) でも %CC が低下を示した。安静時、運動負荷時に欠損を見ないにかかわらず %CC が低下を示したのは 4 区域に過ぎなかった (Fig. 6)。しかしこの 4 区域も運動負荷で欠損を生じた周辺区域に限られていた。 $^{123}$ I-BMIPP イメージングは 7 例の心筋梗塞で計 35 区域に欠損を見た、他方同一症例での %CC の低下は 34 区域に見られた (Fig. 7)。 $^{123}$ I-BMIPP で欠損を生じた 35 区域中 17 区域は安静時  $^{99m}$ Tc-MIBI でも欠損を見た梗塞域であり、18 区域は非梗塞域であったが、梗塞域の 16/17 (94%)、非梗塞域の 16/18 (89%) で %CC の低下を見た (Fig. 7)。2 区域では  $^{123}$ I-BMIPP で欠損を見ないにもかかわらず %CC の低下が存在したが、いずれも  $^{123}$ I-BMIPP 欠損の

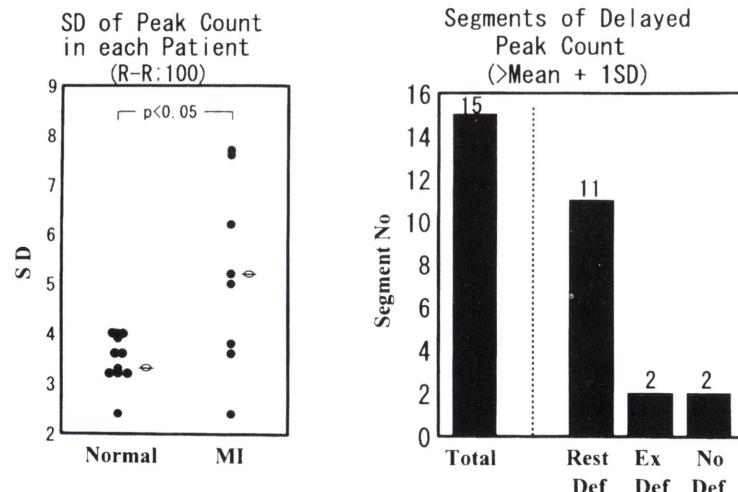
周辺に限局していた。

MI 各症例 17 区域での R-PC 時間のばらつき (SD) は 2.4–7.7 ( $5.2 \pm 1.9$ ) と健常例の  $3.4 \pm 0.5$  より有意 ( $p < 0.05$ ) に大であった (Fig. 8)。梗塞域 (23 区域) での R-PC 時間は  $54 \pm 9$  で、運動負荷で欠損の出現域 ( $43 \pm 9$ )、梗塞域を除いた  $^{123}$ I-BMIPP での欠損域 ( $43 \pm 10$ )、いずれでも欠損を見なかつた領域 ( $44 \pm 8$ ) より有意 ( $p < 0.01$ ) に大であった。各症例で R-PC 時間の延長をきたした区域 (各症例の R-PC 時間の mean + SD 以上) は心筋梗塞例で 15 区域存在したが、そのうち 11 区域 (73%) は梗塞域であり、2 区域は運動負荷で欠損が出現した区域、2 区域は欠損のない区域であり、梗塞域で有意に ( $p < 0.05$ ) 大であった (Fig. 8)。

[症例] Fig. 9 に前壁梗塞例を示す。安静時心筋イメージング ( $^{99m}$ Tc-MIBI) で欠損 (梗塞域) は中隔、前壁に存在した。運動負荷により欠損は梗塞域の周辺に拡大し、compromized myocardium の存在を示した。 $^{123}$ I-BMIPP イメージングでの欠損は梗塞領域より明らかに大きく、心筋での脂肪酸代謝障害は梗塞領域を超えていた。%CC が異常



**Fig. 7** Abnormal  $^{123}\text{I}$ -BMIPP imaging and abnormal %CC. Left; In  $^{123}\text{I}$ -BMIPP imaging, abnormal fatty acid uptake was observed in 35 segments in 7 patients with myocardial infarction. On the other hand, abnormal %CC was observed in 34 segments. Right; Abnormal  $^{123}\text{I}$ -BMIPP imaging was classified with or without rest perfusion abnormality. Abnormal %CC was observed in 16 (94%) of 17 abnormal  $^{123}\text{I}$ -BMIPP with abnormal perfusion, in 16 (89%) of 18 abnormal  $^{123}\text{I}$ -BMIPP with normal perfusion and in 4 segments without  $^{123}\text{I}$ -BMIPP abnormality.



**Fig. 8** Dispersion of the timing of peak count. Left; Dispersion of the peak count appearance in each case was judged by the SD of R to peak count (R-PC) interval among 17 segments. R-R interval was transformed to 100. In patients with myocardial infarction (MI), SD of R-PC intervals distributed in wide range and was greater than that in normal subjects ( $p < 0.05$ ). Right; The segments of prolonged R-PC interval was defined as R-PC was greater than mean + SD of each patient. Fifteen delayed segments were observed in 9 patients with MI. Eleven of them (74%) corresponded to infarctional segments and two (13%) corresponded to exercise induced defect and two (13%) corresponded to normal perfusion both at exercise and rest.

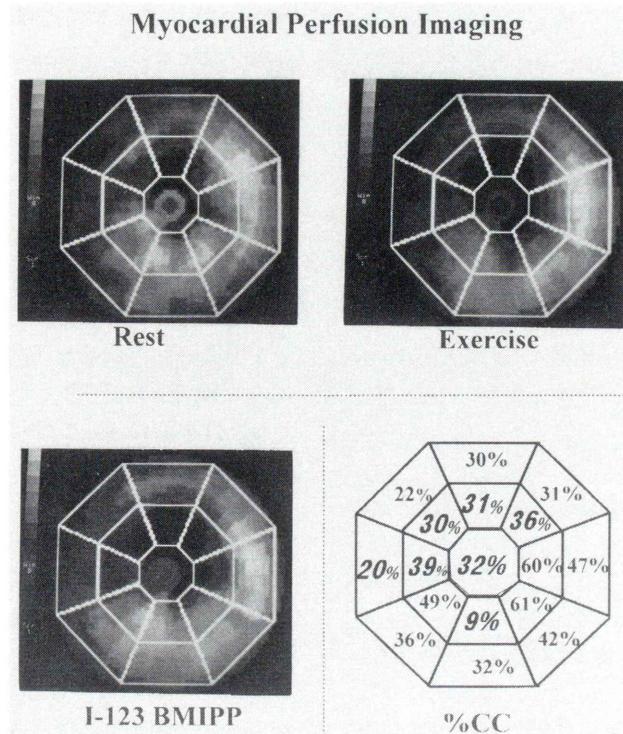


Fig. 9 A case of anterior myocardial infarction. In exercise stress imaging ( $^{99m}$ Tc-MIBI), perfusion abnormality extended around the rest perfusion defect (infarcted segment). In  $^{123}$ I-BMIPP imaging at rest abnormal fatty acid metabolism appeared more extensively than perfusion defect at rest. In %CC map, thick letters represented abnormal %CC. Segments of abnormal %CC were more extensive than those of rest perfusion defect and they rather resembled perfusion abnormality in exercise stress imaging or defects in  $^{123}$ I-BMIPP imaging.

を示した区域は梗塞域より大きく、むしろ運動負荷での欠損域や脂肪酸代謝障害域に近似していた。本症例の R-PC 時間の SD は 5.2 であった。

#### IV. 考 案

$^{99m}$ Tc-MIBI は心筋灌流と同時に心機能の評価が可能であり、われわれも心電図同期心筋断層像をもとに収縮に伴う心筋各部のカウントの変化から心筋の収縮状態の評価を試みた。この場合に心筋カウントの変化がどの程度壁厚の変化を反映しているかが一つの問題となる。したがって M モード心エコーで求めた後壁、心室中隔の%WT と心電図同期心筋断層像でそれにほぼ匹敵すると考

えられる短軸断層像中央面での下壁寄りの側壁、前壁よりの中隔<sup>9)</sup>での %CC との関連を検討した。その結果両者の間には  $r=0.86$  ( $p<0.01$ ) の高さの相関が存在し、%CC は %WT を反映していると考えられた。しかし、この %CC には部分容積効果が影響すると考えられている<sup>6,17)</sup>。したがって心筋の厚さによって %CC と %WT の関係が異なるてくる可能性が考えられる。そこで M モード心エコーで求めた ED での壁厚が %CC・%WT 比に影響を及ぼしているかを検討した。拡張終期の壁厚とは 8 mm–25 mm (平均  $12 \pm 4$  mm) に分布していたが、壁厚と %CC/%WT の間には関連を認めず、壁厚の程度によらずほぼ同じ範囲

に分布していた。われわれの用いているシステムにおいて<sup>99m</sup>TcでのFWHMは9mmであるが、こうした結果は、肥大心を含めわれわれが日常遭遇する症例を対象とした場合には%CCが%WTを反映していることを示すと考えられた。しかし%CC・%WT比の平均値は0.93であり、%CCは%WTより小さく見積もっていることになる。これは%CCを計測するに当たって収縮、拡張に伴う心筋カウントの変化を3点スムージングしたためピークカウントが低めに見積もられた可能性も存在する。しかし、オリジナルのカウント変化曲線は症例によってはノイズの存在もあり、ノイズを除去した方が正確な判定が可能と考えた。われわれは3点スムージングのほか、2,3,4次のFourier fittingも試みたが、3点スムージングがオリジナルのカウント変化を損なうことなく求めらかな曲線が得られるためこの方法を選んだ。

さらに左室全域での%CCを得るため多方向長軸断層像を新たに作成した。通常左室全域での収縮期のカウント変化を見るため、ED, ESでのBull's-eye mapが用いられている<sup>9,11)</sup>。この方法は左室全体を細かな単位で見られるという利点を有している。しかし、通常のBull's-eye mapでは心尖部付近の情報は得られても、心尖部そのものの情報は得られない。しかし心尖部は種々の疾患で病変の起こりやすい部位でもあり、したがって多方向長軸断層像で心尖部の情報も得られるようにした。Bull's-eye mapを用いた場合にEDとESで同一の座標を示す点が果たして相対応しているかとの疑問も存在する。また、経時的な心筋カウントをみたのは、カーブの形態から収縮の状態がある程度判定されること、心筋各部におけるピークカウントの出現時期の差、すなわち収縮の心筋各部でのずれを把握しうることで、これはことに虚血性心疾患では有用な情報をもたらすと考えられた。今回は検討の対象としなかったが、拡張期での壁伸展の状態も把握しうる<sup>18)</sup>という利点も有している。この経時的な心筋カウントの変化を把握するにあたっては、ED像で決定したある点がESに至る各時相でずれないことが必要であり、われ

われはESでの長軸心基部側1/3の点を収縮の中点と仮定した。この点を収縮の中点と仮定したのは、シネアンギオでの詳細な検討では健常例において収縮終期での重心に向かって均等に収縮が生じるというRickardsら<sup>19)</sup>の報告にもとづくものであり、4例の健常例で心内腔の重心(面積中心)をED, ES, その中間期で検討したところ、各重心は収縮終期での長軸心基部側1/3の点にほぼ一致したことによる。しかし、収縮に際しては心尖部を中心としたねじれ運動が起こったり<sup>20)</sup>、心長軸の偏移が生じたり<sup>19)</sup>、かなり複雑である。そこでねじれ運動に関しては収縮の各時相での左室・右室の接合部を拡張終期にあうように回転させることである程度の補正を行った。しかし、このねじれ運動は心臓の各部で同一ではなく、心尖部で最も大であると報告されており<sup>20)</sup>、完全な補正には至らなかった。また軸偏移に関しては収縮終期での短軸断層像に心長軸を重ねることで、心長軸が心尖部を通るように短軸断層像の移動を行った。しかし今回の症例では1ピクセル以内のずれにとどまっており補正が可能であったが、さらに大きなずれの生じる症例では補正そのものが困難であると考えられた。

このようにして得られた左室各部での%CCは均一ではなく、心尖部、左室中央部、心基部に向かうにつれて低下を示した。また同じ心基部においてもその部位による差が見られたことは、心エコーを用いた報告<sup>21)</sup>やcomputed tomographyを用いた研究<sup>22)</sup>、さらには<sup>99m</sup>Tc-MIBI心筋イメージングでの検討<sup>16,23)</sup>と一致する結果であった。このように左室の部位で%CCが異なるため、健常例のデータをもとに左室各部での%CCの正常値を決定した。以前の報告はこの収縮期の心筋カウントの増加の程度が他の方法で見た左室壁運動と一致することを報告している<sup>6,9,11)</sup>。しかしこの指標は分母にEDカウントを用いるため、<sup>99m</sup>Tc-MIBI集積の低下した部位ではEDカウントが小さいため、%CCを実際の壁運動より大きく反映する欠点を有しているとの指摘があり、いくつかの補正法も試みられている<sup>9,10,18)</sup>が満足のいくものは得

られておらず、現時点では ED カウントで標準化するのが最も普遍的なようである。われわれはこの安静時の %CC の計測が MI においてどのような意義を有しているかを検討するため、安静時および運動負荷心筋灌流イメージング、脂肪酸イメージングと対比した。その結果、%CC は心筋壊死部で低下しているのみでなく、運動負荷で虚血を生じた領域、安静時の心筋灌流が保たれているにもかかわらず脂肪酸の取り込みが低下を示した領域でも低下していた。こうした結果は %CC の低下は単に心筋壊死部を示しているのみでなく、*hibernation* を含む *viable but compromised myocardium* をも反映している<sup>24,25)</sup>と考えられた。しかも運動負荷灌流欠損部や脂肪酸イメージング欠損部に接して %CC の低下部が存在したことは、*compromized myocardium* がこれらの心筋イメージングで検出されるよりさらに広範囲に存在することを示す所見かもしれない。しかし、逆に梗塞域であるにもかかわらず %CC が正常に留まった区域も存在した。これは、われわれの方法では左室を 17 箇所から観察しているに過ぎず、さらに多方向からの検討が必要と考えられた。本法は一度の検査で心筋灌流と心筋収縮動態を同時に評価する利点は有するものの、われわれは単検出器型ガンマカメラを使用したため 1 人当たりの撮像時間が 30 分以上という長時間を要した。したがってその適応にも限界はあろうし、眞の有用性の検討にはさらに多くの症例で、また多疾患にわたる検討が必要と考えられた。

## V. 結論

安静時に心電図同期  $^{99m}$ Tc-MIBI 心筋断層像を撮像し、心筋各部の収縮に伴う経時的なカウントの変化から次の検討を行った。

1) 心電図同期心筋断層像の短軸断層像の中央部における中隔、後壁での収縮に伴うカウントの増加率 (%CC) と同一症例での M モード心エコー図で求めた中隔、後壁での収縮に伴う左室壁増加率 (%WT) を対比した。%CC と %WT には  $r=0.86$  ( $p<0.01$ ) の高度の相関が存在した。また %CC,

%WT 両者の関係は拡張終期の壁厚によって影響されなかった。

2) 健常 10 例、陳旧性心筋梗塞 (MI) 9 例を対象に多方向長軸断層像を作成、心尖部を含む 17 箇所で %CC を計測した。

① 健常例において、%CC は心尖部、左室中央部、心基部の順で有意の低下を示した。また中隔側では側壁側に比し %CC は小であった。したがって各区域での %CC の異常値を健常例の %CC の平均値から 2SD を減じた値未満と定義した。各区域でのピークカウントの出現時間に差を見なかった。

② MI で %CC と安静時および運動負荷時心筋灌流イメージング、 $^{123}$ I-BMIPP イメージングとの関連を見た。MI で各区域でのピークカウントの出現時間のばらつきは健常例より有意に大で、安静時灌流イメージングでの欠損領域(梗塞域)でピークカウントの出現が遅れていた。%CC の低下は梗塞域 91% のほか、運動負荷により欠損をきたした領域の 83% で低下を示した。また  $^{123}$ I-BMIPP で欠損をきたした領域の 91% (梗塞域を除くと 89%) で %CC は低下を示した。この結果は %CC は梗塞域のみでなく *compromized myocardium* においても低下を示すことを示唆した。

こうした結果は、心電図同期心筋断層像は心筋灌流と同時に心筋収縮動態を知りうる方法と考えられたが、長時間を要する検査でもあり、さらに多くの症例を重ねて有用性の検討が必要と思われた。

## 文献

- 1) Hoe J, Herman GA, Iskandrian AS, Askenase A, Segal BL: New myocardial perfusion imaging agent: Description and application. Am Heart J 115: 1111-1117, 1988
- 2) Gerundini P, Maffioli L: Cationic complexes of technetium for myocardial imaging. J Nucl Med 30: 1415-1419, 1989
- 3) Okada RD, Glover D, Gaffney T, Williams S: Myocardial kinetics of technetium-99m-hexakis-2-methoxy-2-methylpropyl-isonitrile. Circulation 77: 491-498, 1988
- 4) Zaret BL, Wackers FJ: Nuclear cardiology (first of

- two parts). *New Eng J Med* **329**: 775-783, 1993
- 5) Grucker D, Florentz P, Oswald T, Chambon J: Myocardial gated tomography with  $^{99m}\text{Tc}$ -methoxy-2-isobutyl-isonitrile (MIBI): regional and temporal activity curve analysis. *Nucl Med Commun* **10**: 723-732, 1989
  - 6) Chua T, Kiat H, Germano G, Mauer G, van Train K, Friedman J, et al: Gated technetium-99m sestamibi for simultaneous assessment of stress myocardial perfusion, postexercise ventricular function and myocardial viability. *J Am Coll Cardiol* **23**: 1107-1114, 1994
  - 7) Najim YC, Timmis AD, Maisey MN, Ellam SV, Mistery R, Curry VL, et al: The evaluation of ventricular function using gated myocardial imaging with Tc-99m MIBI. *Eur Heart J* **10**: 142-148, 1989
  - 8) DuPuey EG, Rozanski A: Using technetium-99m-sestamibi SPECT to characterize fixed myocardial defects as infarct to artefact. *J Nucl Med* **36**: 952-955, 1995
  - 9) 岡山憲一, 倉田千弘, 俵原 敬, 田口貴久, 青島重幸, 小林 明, 他: 陳旧性心筋梗塞における  $^{99m}\text{Tc}$  methoxy-2-isobutyl-isonitrile (MIBI) による心電図同期心筋 SPECT の有用性とその限界. *核医学* **29**: 1331-1339, 1992
  - 10) 今井嘉門, 荒木康史, 斎藤 頴, 小沢友紀雄, 八杉忠男, 鎌田力三郎:  $^{99m}\text{Tc}$ -methoxy isobutyl isonitrile (MIBI) を用いての心拍同期 SPECT による左室壁運動異常の検出. *核医学* **30**: 323-330, 1993
  - 11) 渋田伸一郎, 隈崎達夫:  $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI 心拍同期心筋シンチグラフィを用いた心機能 map の開発——三検出器型ガンマカメラシステムによる臨床応用——. *核医学* **31**: 43-52, 1994
  - 12) 成田充啓, 栗原 正, 村野謙一, 宇佐美暢久, 本田 稔:  $^{123}\text{I}$ -metaiodobenzylguanidine 心筋イメージングの定量評価——心不全における検討——. *核医学* **31**: 347-358, 1994
  - 13) 成田充啓, 栗原 正, 宇佐美暢久, 本田 稔: 肥大型心筋症と高血圧肥大心で心筋脂肪酸代謝は異なるか? *核医学* **31**: 1465-1476, 1994
  - 14) Sahn DJ, DeMaria A, Kissolo J, Weyman A: Recommendations in regarding quantitation in M-mode echocardiography: results of a survey of echocardiographic measurements. *Circulation* **58**: 1072-1083, 1978
  - 15) 成田充啓, 栗原 正, 村野謙一, 宇佐美暢久:  $^{99m}\text{Tc}$  心プールシンチ任意長軸多方向断層像による心機能の評価. *心臓* **23**: 63-69, 1991
  - 16) 成田充啓, 栗原 正: 拡張型心筋症における心筋脂肪酸代謝: その特徴と予後評価の可能性について. *J Cardiol* **25**: 223-231, 1995
  - 17) Marcassa C, Marzullo P, Parodi O, Sambuceti G, L'Abbate A: A new method for noninvasive quantitation of segmental myocardial wall thickening using technetium-99m 2-methoxy-isobutyl-isonitrile scintigraphy—results in normal subjects. *J Nucl Med* **31**: 173-177, 1990
  - 18) 足立 至, 杉岡 靖, 田渕耕次郎, 山本和宏, 辰吉光, 雜賀良典, 他: 心筋ゲート SPECT による心筋収縮・弛緩機能の評価. *核医学* **31**: 1453-1463, 1994
  - 19) Rickards A, Seabra-Gomes R, Thurston P: The assessment of regional abnormalities of the left ventricle by angiography. *Eur J Cardiol* **5**: 167-182, 1976
  - 20) Kroeker CAG, Tyberg JV, Beyer R: Effect of load manipulations, heart rate, and contractility on left ventricular apical rotation. An experimental study in anesthetized dogs. *Circulation* **92**: 130-141, 1995
  - 21) Haendhen RV, Wyatt HL, Mauer G, Zweth W, Bear M, Meerbaum S, et al: Quantification of regional myocardial function by two-dimensional echocardiography. I. Patterns of contraction in the normal left ventricle. *Circulation* **67**: 1234-1245, 1983
  - 22) Lanzer P, Garrett J, Lipton MJ, Gould R, Silvers R, O'Connel W, et al: Quantitation of regional myocardial function by cine computed tomography: pharmacologic change in wall thickness. *J Am Coll Cardiol* **8**: 682-692, 1985
  - 23) 杉原秀樹, 玉木長良, 野澤真人, 稲本康彦, 谷口義光, 仲口孝治, 他: 単検出器型ガンマカメラを用いた心電図同期  $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI SPECT による左心壁カウントの評価. *核医学* **31**: 1201-1208, 1994
  - 24) Knapp FF, Franken P, Kropf J: Cardiac SPECT with iodine-123-labeled fatty acids: evaluation of myocardial viability with BMIPP. *J Nucl Med* **36**: 1022-1030, 1995
  - 25) 滝 淳一, 中嶋憲一, 松成一朗, 分校久志, 高田重男, 村守 朗, 他: 虚血性心疾患における安静時  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 心筋シンチグラフィの意義:  $^{201}\text{Tl}$  運動負荷心筋シンチグラフィとの比較検討. *核医学* **32**: 353-358, 1995

## Summary

### Assessment of Left Ventricular Contraction Kinetics by ECG-Gated Myocardial SPECT with $^{99m}$ Tc-MIBI: A New Attempt with Multi-plane Long Axial Tomography

Michihiro NARITA\*, Tadashi KURIHARA\*, Takashi SHINDOH\*,  
Masahisa USAMI\* and Minoru HONDA\*\*

\*Department of Internal Medicine, Sumitomo Hospital

\*\*Department of Nuclear Medicine, Sumitomo Hospital

To investigate left ventricular (LV) contraction kinetics, we performed ECG gated myocardial tomography (gated-SPECT) with  $^{99m}$ Tc-MIBI ( $^{99m}$ Tc methoxy-2-isobutyl isonitrile) at rest. Data were obtained from 32 views and R-R interval was divided into 16.

To clarify whether myocardial count change during systole (%CC) reflected LV wall thickening (%WT), we compared septal and posterior %CC in short axis image with %WT which were obtained by echocardiography. And %CC correlated well with %WT ( $r=0.86$ ,  $p<0.01$ ).

In order to assess myocardial contraction kinetics in various parts of LV, multi-plane long axial tomograms were constructed in 10 normal subjects and 9 patients with myocardial infarction (MI). By multi-plane long axial tomography, LV was divided into 17 segments. In each segment %CC was calculated from time activity curves of myocardial count of  $^{99m}$ Tc-MIBI. And the disparity of the appearance of peak count in each segment was also observed. In normal subjects %CC was greatest at apex and they decreased from apex to car-

diac base. Besides %CC at lateral segments was greater than that in septal segments. Normal range of %CC was determined segment by segment. In normal subjects the intervals from ECG R-wave to peak count were not different in each segment. But in patients with MI they distributed in wide range and prolonged intervals were observed in segments with rest perfusion defect (infarcted segment). In patients with MI decreased %CC was observed in 91% of infarcted segments, in 83% of the segments with exercise induced ischemia and in 89% of the segments with  $^{123}$ I-BMIPP defects. These results indicated decreased %CC represented viable but compromised myocardium as well as necrotic myocardium.

In gated-SPECT we obtained useful informations in addition to myocardial perfusion. But it took more than 30 minutes to perform. More experience will be necessary to ascertain the value of this technique.

**Key words:**  $^{99m}$ Tc-MIBI, ECG gated SPECT, Multiple long axial tomography, Percent count change.