

## 《原 著》

## $^{123}\text{I}$ -BMIPP ダイナミック SPECT を利用した心筋血流と脂肪酸の同時評価

小林 秀樹\* 浅野 竜太\*\* 井上 征治\*\* 岡 俊明\*\*  
 百瀬 満\*\* 一方井裕子\*\* 住吉 徹哉\*\* 松本 延介\*\*  
 堀江 俊伸\*\* 日下部きよ子\* 細田 瑳一\*\*

**要旨**  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 投与直後からダイナミック SPECT を用いて心筋像を撮像し、 $^{123}\text{I}$ -BMIPP 投与後 2～5 分の初期分布像の臨床的意義について検討した。ダイナミック SPECT の撮像は、3 検出器ガンマカメラを用いて  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 投与 2 分後から 3 分毎に連続 5 回施行した。不安定狭心症の 10 例中 8 例、心筋梗塞の 11 例中 9 例は、投与 2 分後から撮像した  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 像が安静時  $^{201}\text{Tl}$  像ときわめて類似した RI 集積所見を呈した。不安定狭心症の 10 例全例、心筋梗塞の 11 例中 5 例は、安静時  $^{201}\text{Tl}$  像と比べ  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 投与 30 分後像で低集積領域を認めた。非虚血性心疾患 6 例は、投与 2 分後と 30 分後に撮像した  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 像がいずれも安静時  $^{201}\text{Tl}$  像と同様の所見を呈した。以上より、 $^{123}\text{I}$ -BMIPP 投与後 2～5 分で撮像される初期分布像は心筋血流を反映した像が得られている所見であり、初期分布像と 30 分後の遅延像を撮像することによって  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 1 回の投与で心筋血流と脂肪酸代謝の同時評価ができる可能性が示唆された。

(核医学 32: 19-29, 1995)

### I. はじめに

$^{123}\text{I}$ -15-(p-iodophenyl)-3-(R,S)methyl pentadecanoic acid ( $^{123}\text{I}$ -BMIPP) は、心筋の脂肪酸代謝を反映する放射性化合物として、臨床応用が開始されている<sup>1-5)</sup>。

臨床的に心筋梗塞歴のない不安定狭心症では、 $^{123}\text{I}$ -BMIPP 集積の低下を検出することにより狭心症責任冠動脈の同定が可能と報告されている<sup>6)</sup>が、心筋梗塞例では従来  $^{201}\text{Tl}$  像と  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 像を

比較してその RI 集積の乖離所見から、心筋梗塞領域における残存心筋や同領域の脂肪酸代謝異常について判定されている<sup>1-7)</sup>。しかし  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 心筋像のみの撮像による心筋梗塞例の臨床的評価法は、未だ報告されていない。

$^{123}\text{I}$ -BMIPP の 1 回投与により心筋血流像と脂肪酸代謝像の得られる方法があれば、 $^{123}\text{I}$ -BMIPP 心筋 SPECT の検査のみで脂肪酸代謝異常の評価が可能となり、临床上において大きな利点になると考えられる。

Ambrose ら<sup>8)</sup> はインビトロの実験的検討で、 $^{123}\text{I}$ -BMIPP の心筋摂取後の逆拡散の存在を報告し、松成ら<sup>9)</sup> は  $^{123}\text{I}$ -BMIPP の早期動態を心筋梗塞例で検討して投与直後の一過性の心筋集積を報告している。

本研究は、不安定狭心症および急性心筋梗塞症を対象として、 $^{123}\text{I}$ -BMIPP 投与直後の初期分布

\* 東京女子医科大学放射線科  
 \*\* 同 循環器内科

受付：6 年 6 月 20 日

最終稿受付：6 年 11 月 1 日

別刷請求先：東京都新宿区河田町 8-1 (〒162)

東京女子医科大学放射線科

小林 秀樹

像が心筋血流を反映した像であるのか否か  $^{201}\text{Tl}$  像と比較し,  $^{123}\text{I}$ -BMIPP の 1 回投与による心筋血流と脂肪酸代謝の同時評価の可能性について検討したので報告する。

## II. 対 象

不安定狭心症および急性心筋梗塞の診断で当院 CCU へ入院した虚血性心疾患 21 例 (男性 16 例, 女性 5 例, 平均年齢  $61.5 \pm 9$  (平均  $\pm$  標準偏差, 以下同様) 歳) と非虚血性心疾患 6 例 (拡張型心筋症 3 例, 高血圧性心疾患 2 例, 心筋炎 1 例, 男性 5 例, 女性 1 例, 平均年齢  $52.6 \pm 16$  歳) を対象とした。対象例を不安定狭心症群 10 例 (UAP 群, 1 例は陳旧性心筋梗塞の既往あり), 急性心筋梗塞群 11 例 (MI 群), 非虚血性心疾患群 6 例 (NIHD 群) の 3 群に分類して, 以下の方法で検討を行った。なお急性期または亜急性期に全例に冠動脈造影検査を施行しており, NIHD 群はいずれの症例も冠動脈狭窄が認められなかった (Table 1)。

## III. 方 法

UAP 群は CCU 入室後 3~6 日, MI 群は入室後 3~5 日の間に  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 心筋シンチグラフィを施行した。いずれの症例も検査前日の夕食後から絶食とし, 当日午前 9 時から検査を開始した。

$^{123}\text{I}$ -15-(p-iodophenyl)-3-(R,S)methyl pentadecanoic acid ( $^{123}\text{I}$ -BMIPP) の投与は, 対象例が SPECT 撮像装置のベッドに臥床した状態で, 肘静脈より 111~140 MBq を静注し, 20 ml の生理食塩水で急

速にフラッシュを行った。そして  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 投与 2 分後から, 3 分毎に 5 回のダイナミック SPECT を下記条件で撮像した。さらに  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 投与 30 分後から, 通常の SPECT を撮像した。

$^{123}\text{I}$ -BMIPP 心筋 SPECT 撮像法: 使用した装置は東芝社製 3 検出器ガンマカメラ GCA9300A/HG および画像解析装置 GMS5500U を用いた。撮像条件は低エネルギー高分解能型コリメータを使用し, 収集エネルギーウィンドーは  $159 \text{ KeV} \pm 10\%$ ,  $64 \times 64$  マトリクスを用いた。

ダイナミック SPECT は, 3 検出器が 3 分間で 120 度を往復する連続回転モードにより, 6 度毎の投影データを往路と復路で積算して 360 度収集を施行した。通常の SPECT 撮像は, 3 検出器により 6 度毎, 1 方向 40 秒の 360 度収集を施行した (足方から見て反時計回転で収集)。

SPECT 像の再構成は, 画像処理装置 GMS5500U を用いて, 360 度投影データから再構成を行った。ダイナミック SPECT 像の前処理フィルターは Butterworth filter (カットオフ周波数 0.24 cycles/pixel, オーダー 8) を用い, 通常 SPECT 像の前処理フィルターは Butterworth filter (カットオフ周波数 0.30 cycles/pixel, オーダー 8) を用いた。再構成フィルターはいずれも Shepp and Logan を使用し,

Defect score:  
3=defect, 2=moderately reduced uptake,  
1=mildly reduced uptake, 0=normal

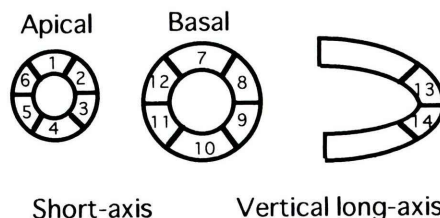


Fig. 1 Visual interpretation of regional  $^{123}\text{I}$ -BMIPP and  $^{201}\text{Tl}$  distribution. Basal and mid-ventricular short-axis images were divided into 12 segments, and vertical long-axis image was also divided into 2 apical segments.  $^{123}\text{I}$ -BMIPP and  $^{201}\text{Tl}$  myocardial defects were visually scored and judged for 4 grade in each segment.

Table 1 Clinical backgrounds

|                  | UAP            | AMI            | NIHD          |
|------------------|----------------|----------------|---------------|
| Number of pts    | 10             | 11             | 6             |
| Age              | $60.6 \pm 9.4$ | $62.5 \pm 9.7$ | $52.6 \pm 16$ |
| Sex (M/F)        | 7/3            | 9/2            | 5/1           |
| OMI (+)          | 1              | 0              | 0             |
| CAG (1V, 2V, 3V) | 4, 5, 1        | 6, 4, 1        | 0, 0, 0       |

UAP: Unstable angina pectoris group. AMI: Acute myocardial infarction group. NIHD: Non-ischemic heart disease group. M/F: Male/Female. CAG: Coronary angiography. 1V: 1 Vessel disease. 2V: 2 Vessel disease. 3V: 3 Vessel disease.

SPECT 再構成の後、3 方向のカラー表示 SPECT 像を作成した。さらに  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 投与 2 分後と 14 分後から撮像した再構成短軸断面から、Bull's eye 表示画像を作成した。

$^{201}\text{Tl}$  心筋 SPECT の撮像法： $^{123}\text{I}$ -BMIPP 施行日から 2 日以上の間隔をあけて、安静時  $^{201}\text{Tl}$  心筋シンチグラフィまたは運動負荷  $^{201}\text{Tl}$  心筋シンチグラフィの再静注像（一部症例は 24 時間像）を撮像した。SPECT 撮像条件および再構成条件は、 $^{123}\text{I}$ -BMIPP の通常 SPECT 像と同様のプロトコルを用い、収集エネルギーウィンドーは 71 KeV  $\pm 10\%$  を用いた。

### 1) $^{123}\text{I}$ -BMIPP の初期分布像および 30 分後像と安静時 $^{201}\text{Tl}$ 像の RI 集積の比較

ダイナミック SPECT により  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 投与 2 分後から 3 分間で撮像した初期分布像、30 分後から撮像した通常 SPECT 像および安静時  $^{201}\text{Tl}$  像について、心筋領域を Fig. 1 に示した 14 領域に分割し、RI 集積を視覚的に正常、軽度集積低下、中等度集積低下、欠損の 4 段階に判定した。そして、 $^{123}\text{I}$ -BMIPP 初期分布像および  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 30 分後像と安静時  $^{201}\text{Tl}$  像のセグメント毎の RI 集積を比較し、各群でセグメント毎の一致率を求めた。

また症例毎に  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 30 分後像と安静時  $^{201}\text{Tl}$  像、および  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 初期分布像と安静時  $^{201}\text{Tl}$  像のセグメントを比較し、不一致セグメント数が 1 以下の症例を“一致”、不一致セグメント数が 2 以上の症例を“不一致”と判定した。

### 2) $^{123}\text{I}$ -BMIPP の初期分布像と 30 分後像の比較による狭心症例の責任冠動脈の同定

UAP 群の症例に限定して、 $^{123}\text{I}$ -BMIPP 初期分布像と 30 分後像をおのおの左前下行枝領域：セグメント 1, 6, 7, 12, 13, 14, 左回旋領域枝：セグメント 2, 3, 8, 9, 右冠動脈領域：セグメント 4, 5, 10, 11 の 3 領域に分類し、各セグメントの RI 集積判定から得られるスコア（正常 0 点、軽度集積低下 1 点、中等度集積低下 2 点、欠損 3 点、Fig. 1）を領域毎に合計して、症例毎の領域別欠損スコアを求めた。そして  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 初期分布像の領域別欠損スコアから 30 分後像の領域別欠損スコアを減じて、

症例毎の“領域別欠損スコア”を算出した。

領域別欠損スコアが 2 以上の領域を  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 像から判定した責任冠動脈領域とし、冠動脈造影所見および慢性期の運動負荷  $^{201}\text{Tl}$  心筋シンチグラフィ所見から判定した狭心症責任冠動脈と比較した。

### 3) ダイナミック SPECT の 2～5 分像と 14～17 分像における洗い出し率、および梗塞部 %uptake の検討

$^{123}\text{I}$ -BMIPP 投与後の 2～5 分像と 14～17 分像から作成した Bull's eye 表示画像から、心筋全体の平均洗い出し率（心筋洗い出し率）を求めた。また AP 群において、安静時  $^{201}\text{Tl}$  像と  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 投与 30 分後像で RI 集積乖離を示した脂肪酸代謝異常領域の洗い出し率を求めた。

心筋梗塞例について、慢性期に施行した運動負荷  $^{201}\text{Tl}$  心筋シンチグラフィの結果から梗塞部心筋 viability ありと判定した 7 例と梗塞部心筋 viability なしと判定した 4 例に分類し、ダイナミック SPECT の 2～5 分像における梗塞部 %uptake を算出した。

### 4) 肺野の $^{123}\text{I}$ -BMIPP 集積の経時的变化の検討

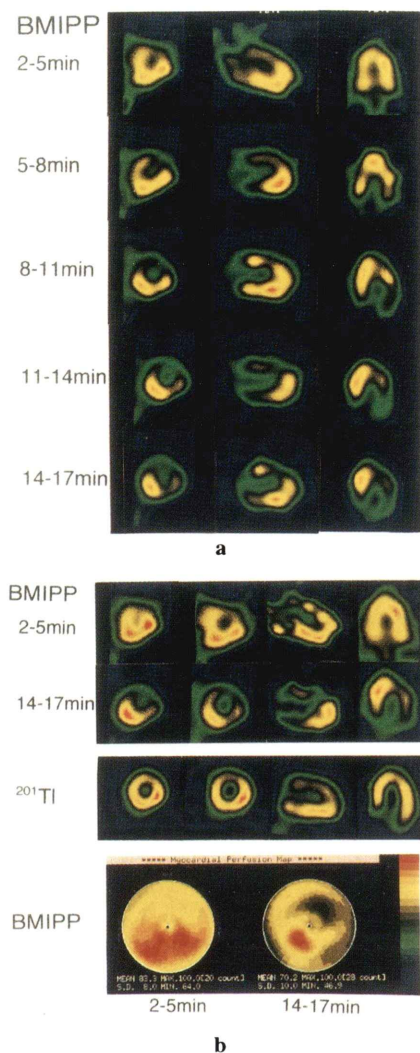
心筋のバックグラウンドとなる肺野カウントの経時的变化を検討するため、ダイナミック SPECT 施行例と異なる虚血性心疾患 5 例を対象として、 $^{123}\text{I}$ -BMIPP 投与直後から 15 秒毎に連続 900 秒、計 60 スライスの正面 planar 像を撮像した。そして左中肺野（左室隣接部）、左室心筋（非虚血部）および肝臓に ROI を作成し、ROI 内のカウントの経時的变化を planar 像の最大カウントに対する %uptake として算出して検討した。

## IV. 結 果

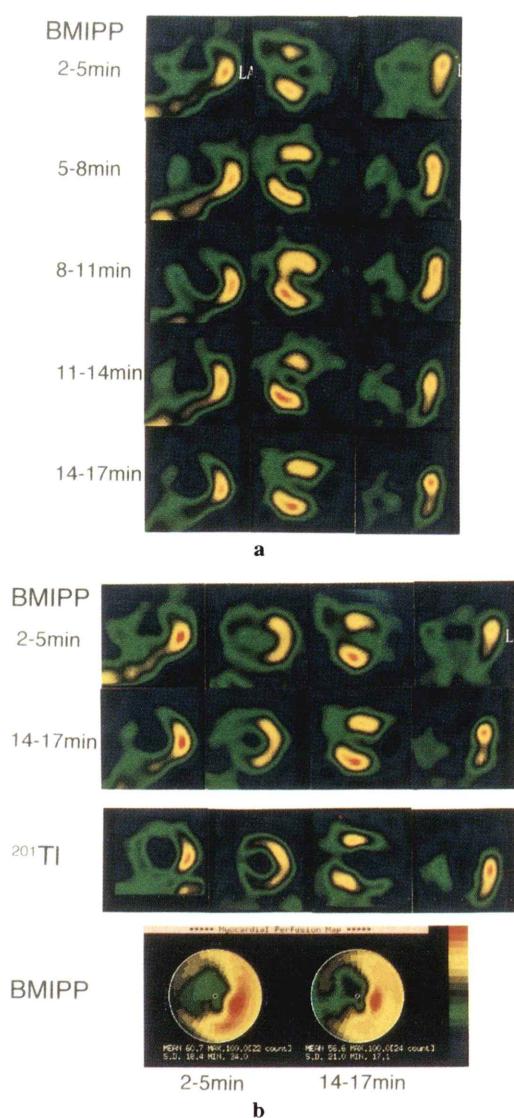
### 症例呈示

症例 1：58 歳の女性、近医で狭心症と診断されていたが狭心症発作が頻回となり、不安定狭心症の診断で入院となった。CCU 入室 4 日後に施行した  $^{123}\text{I}$ -BMIPP ダイナミック SPECT 像（Fig. 2a）は、2～5 分後像において前側壁に軽度集積低下

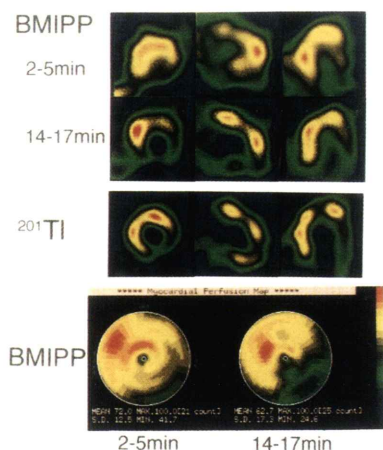




**Fig. 2** Serial dynamic SPECT images of a patient with unstable angina pectoris. In the early image of  $^{123}\text{I}$ -BMIPP, mildly reduced accumulation was observed in the anterior-lateral segment (a). In the later image of  $^{123}\text{I}$ -BMIPP, myocardial defect was observed in the anterior-lateral segment. Initial distribution image of  $^{123}\text{I}$ -BMIPP showed similar finding to the  $^{201}\text{Tl}$  myocardial image at rest (b). Coronary angiography showed LAD and LCX arterial stenosis. Revascularization therapy was performed after the examination.



**Fig. 3** Serial dynamic SPECT images of a patient with acute myocardial infarction (a). Anterior-septal myocardial defect was observed both in the early and late  $^{123}\text{I}$ -BMIPP images. Anterior-septal myocardial defect was also observed in the  $^{201}\text{Tl}$  myocardial images at rest (b).



**Fig. 4** <sup>123</sup>I-BMIPP and <sup>201</sup>Tl images of a patient with acute myocardial infarction. In the early image of <sup>123</sup>I-BMIPP, moderate accumulation was observed in the inferior-apical segment. In the late image of <sup>123</sup>I-BMIPP, severe defect was observed in the inferior-apical segment. Myocardial viability in the inferior-apical segment was observed in <sup>201</sup>Tl myocardial stress scintigraphy.

を示し、徐々に集積低下範囲が広がって、14～17分像で前側壁の集積低下が著明となった。<sup>123</sup>I-BMIPP の2～5分後像は、7日後に施行した安静時<sup>201</sup>Tl像と類似した所見であった (Fig. 2b). 本例は、冠動脈造影で、左前下行枝近位部90%、回旋枝近位部90%の狭窄を認める2枝病変狭心症と診断された。

症例2：58歳の男性、胸痛を主訴に当院を受診し急性心筋梗塞の診断で緊急冠動脈造影が施行された。左前下行枝近位部に完全閉塞が認められ、血栓溶解療法によりTIMI III度に再灌流が成功した。梗塞発症4日後に<sup>123</sup>I-BMIPPダイナミックSPECT (Fig. 3a)を施行し、2～5分後像、14～17分像いずれも梗塞部に欠損所見が認められた(%BMIPP uptakeが50%未満)。後日施行した運動負荷<sup>201</sup>Tl心筋シンチグラフィ24時間像においても梗塞部に再分布はなく、梗塞部の心筋viabilityはないと判定された。<sup>123</sup>I-BMIPP 2～5分後像、14～17分像と運動負荷<sup>201</sup>Tl心筋シンチグラフィ24時間像は同様の心筋集積所見を呈した(Fig. 3b).

#### UAP group (N=10)

##### Initial distribution image of I-123-BMIPP

|          | Normal | Mild | Moderate | Defect |
|----------|--------|------|----------|--------|
| Normal   | 9      | 1    | 0        | 0      |
| Mild     | 9      | 2    | 3        | 0      |
| Moderate | 0      | 0    | 7        | 2      |
| Defect   | 0      | 0    | 0        | 2      |

Complete concordance 123/140=87.8%

#### MI group (N=11)

##### Initial distribution image of I-123-BMIPP

|          | Normal | Mild | Moderate | Defect |
|----------|--------|------|----------|--------|
| Normal   | 7      | 1    | 5        | 0      |
| Mild     | 1      | 0    | 8        | 2      |
| Moderate | 0      | 0    | 7        | 9      |
| Defect   | 0      | 0    | 3        | 2      |

Complete concordance 117/154=75.9%

#### NIHD group (N=6)

##### Initial distribution image of I-123-BMIPP

|          | Normal | Mild | Moderate | Defect |
|----------|--------|------|----------|--------|
| Normal   | 6      | 5    | 2        | 0      |
| Mild     | 3      | 1    | 0        | 1      |
| Moderate | 0      | 0    | 2        | 1      |
| Defect   | 0      | 0    | 0        | 0      |

Complete concordance 77/84=91.6%

##### Delayed image of I-123-BMIPP

|          | Normal | Mild | Moderate | Defect |
|----------|--------|------|----------|--------|
| Normal   | 8      | 5    | 8        | 3      |
| Mild     | 5      | 8    | 1        | 1      |
| Moderate | 0      | 0    | 3        | 6      |
| Defect   | 0      | 0    | 0        | 2      |

Complete concordance 98/140=70%

TI-201

##### Delayed image of I-123-BMIPP

|          | Normal | Mild | Moderate | Defect |
|----------|--------|------|----------|--------|
| Normal   | 7      | 3    | 3        | 0      |
| Mild     | 3      | 2    | 4        | 0      |
| Moderate | 0      | 0    | 3        | 2      |
| Defect   | 0      | 0    | 1        | 2      |

Complete concordance 124/154=80.5%

TI-201

##### Delayed image of I-123-BMIPP

|          | Normal | Mild | Moderate | Defect |
|----------|--------|------|----------|--------|
| Normal   | 6      | 4    | 3        | 0      |
| Mild     | 3      | 1    | 1        | 0      |
| Moderate | 0      | 1    | 2        | 0      |
| Defect   | 0      | 0    | 0        | 0      |

Complete concordance 77/84=91.6%

TI-201

**Fig. 5** Segmental comparison between <sup>123</sup>I-BMIPP image and <sup>201</sup>Tl image at rest.

**Table 2** The cases with AP and MI groups. Discordant segments between  $^{201}\text{Tl}$  image at rest and initial distribution image of  $^{123}\text{I}$ -BMIPP were counted in the each coronary territory. Discordant segment number below 1 in the each coronary territory was estimated as concordant

| AP group |     |     |                           |     |     |     |             |  |
|----------|-----|-----|---------------------------|-----|-----|-----|-------------|--|
| Name     | Age | Sex | Discordant segment number |     |     |     | Concordance |  |
|          |     |     | LAD                       | RCA | LCX | Sum |             |  |
| 1 S.M.   | 61  | M   | 1                         | 0   | 0   | 1   | ○           |  |
| 2 T.S.   | 62  | M   | 0                         | 0   | 1   | 1   | ○           |  |
| 3 T.T.   | 55  | M   | 0                         | 0   | 0   | 0   | ○           |  |
| 4 M.H.   | 43  | M   | 3                         | 0   | 0   | 3   | ×           |  |
| 5 K.K.   | 56  | M   | 0                         | 0   | 0   | 0   | ○           |  |
| 6 T.S.   | 60  | M   | 0                         | 0   | 0   | 0   | ○           |  |
| 7 M.S.   | 65  | M   | 0                         | 0   | 0   | 0   | ○           |  |
| 8 K.K.   | 58  | F   | 0                         | 0   | 0   | 0   | ○           |  |
| 9 M.Y.   | 80  | F   | 0                         | 0   | 0   | 0   | ○           |  |
| 10 H.H.  | 66  | F   | 2                         | 0   | 0   | 2   | ×           |  |
| MI group |     |     |                           |     |     |     |             |  |
| Name     | Age | Sex | Discordant segment number |     |     |     | Concordance |  |
|          |     |     | LAD                       | RCA | LCX | Sum |             |  |
| 1 M.O.   | 58  | M   | 1                         | 0   | 0   | 1   | ○           |  |
| 2 K.K.   | 55  | M   | 0                         | 0   | 0   | 0   | ○           |  |
| 3 T.Y.   | 63  | M   | 1                         | 0   | 0   | 1   | ○           |  |
| 4 T.S.   | 45  | M   | 0                         | 0   | 0   | 0   | ○           |  |
| 5 M.I.   | 75  | M   | 0                         | 2   | 0   | 2   | ×           |  |
| 6 S.H.   | 61  | M   | 1                         | 1   | 0   | 2   | ×           |  |
| 7 S.A.   | 63  | M   | 1                         | 0   | 0   | 1   | ○           |  |
| 8 H.T.   | 56  | M   | 0                         | 0   | 0   | 0   | ○           |  |
| 9 M.N.   | 51  | M   | 1                         | 0   | 0   | 1   | ○           |  |
| 10 K.K.  | 71  | F   | 0                         | 0   | 0   | 0   | ○           |  |
| 11 T.I.  | 77  | F   | 0                         | 0   | 0   | 0   | ○           |  |

症例 3: 45 歳の男性, 胸痛を主訴に当院を受診し, 急性心筋梗塞と診断された. 緊急冠動脈造影が施行され, 右冠動脈近位部に 90% 狭窄が認められた. 梗塞発症 4 日後に施行した  $^{123}\text{I}$ -BMIPP ダイナミック SPECT の結果 (Fig. 4), 2~5 分後像において梗塞部の心尖部側に RI 集積が認められ, 14~17 分後像で同領域は欠損所見 (%BMIPP uptake が 50% 未満) を呈した. 後日施行した運動負荷  $^{201}\text{Tl}$  心筋シンチグラフィにおいて下壁梗塞の心尖部側に再分布が認められた.  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 2~5 分後像と再静注  $^{201}\text{Tl}$  像は, ほぼ同様の心筋集積所見を呈した.

#### 1) $^{123}\text{I}$ -BMIPP の初期分布像と安静時 $^{201}\text{Tl}$ 像のセグメント毎の RI 集積の比較

各群における  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 初期分布像 (2~5 分後像) と安静時  $^{201}\text{Tl}$  像のセグメント毎の比較結果を Fig. 5 に示した. セグメント毎の完全一致率は, UAP 群で 87.8%, MI 群で 75.9%, NIHD 群で 91.6% であった. 2 段階以上の RI 集積乖離を示すセグメントは, いずれの群にも認められなかった. 症例毎に  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 初期分布像と  $^{201}\text{Tl}$  像を比較すると, RI 集積に差のあるセグメント数が 1 以下の例は UAP 群 10 例中の 8 例, MI 群 11 例中の 9 例 (Table 2) であり, これらの症例の  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 初期分布像は心筋血流を反映した RI 分布を呈し



**Table 3** Discordant segment number between dynamic  $^{123}\text{I}$ -BMIPP image and  $^{201}\text{Tl}$  image at rest

| AP Group        | Discordant Segment Number |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|-----------------|---------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Case            | 1                         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 2-5 min image   | 2                         | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 1  |
| 5-8 min image   | 2                         | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 6 | 3  |
| 8-11 min image  | 2                         | 2 | 2 | 5 | 6 | 2 | 3 | 2 | 6 | 6  |
| 11-14 min image | 2                         | 2 | 2 | 5 | 6 | 4 | 3 | 2 | 8 | 6  |
| 14-17 min image | 2                         | 2 | 2 | 5 | 6 | 4 | 3 | 2 | 8 | 6  |

| MI Group        | Discordant Segment Number |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|-----------------|---------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| Case            | 1                         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 2-5 min image   | 1                         | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1  | 0  |
| 5-8 min image   | 1                         | 3 | 2 | 0 | 0 | 4 | 3 | 3 | 0 | 1  | 0  |
| 8-11 min image  | 1                         | 3 | 4 | 0 | 0 | 4 | 6 | 2 | 0 | 1  | 1  |
| 11-14 min image | 1                         | 3 | 4 | 0 | 0 | 4 | 6 | 2 | 0 | 1  | 1  |
| 14-17 min image | 1                         | 3 | 4 | 0 | 0 | 4 | 6 | 2 | 0 | 1  | 1  |

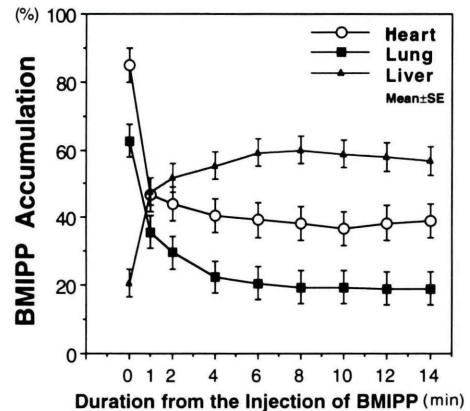
| Control Group   | Discordant Segment Number |   |   |   |   |   |
|-----------------|---------------------------|---|---|---|---|---|
| Case            | 1                         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2-5 min image   | 1                         | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 5-8 min image   | 1                         | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 8-11 min image  | 1                         | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 11-14 min image | 2                         | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 14-17 min image | 1                         | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |

ていると判定された。

ダイナミック SPECT で連続的に撮像した各時期の  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 像と、安静時  $^{201}\text{Tl}$  像の症例毎の乖離セグメント数を Table 3 に示したが、2～5 分後像において乖離セグメント数が最も少なく、5～8 分後像から、11～14 分後像まで乖離セグメント数が増加した。

#### 安静時 $^{201}\text{Tl}$ 像と $^{123}\text{I}$ -BMIPP 30 分後像のセグメント毎の RI 集積の比較

各群の安静時  $^{201}\text{Tl}$  像と  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 30 分後像のセグメント毎の比較を、Fig. 5 に示した。UAP 群の、安静時  $^{201}\text{Tl}$  像と  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 30 分後像のセグメント毎の完全一致率は 70% であり、症例毎の比較では  $^{201}\text{Tl}$  像と  $^{123}\text{I}$ -BMIPP の集積乖離が 10 例全例に認められた。MI 群の、安静時  $^{201}\text{Tl}$  像と  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 30 分後像のセグメント毎の完全一致率は 80.5% であり、症例毎の比較では  $^{201}\text{Tl}$  像と



**Fig. 6** Serial change of RI accumulation after the injection of  $^{123}\text{I}$ -BMIPP on planar dynamic images. Lung RI accumulation was decreased to plateau level at 4 minute after the injection.

$^{123}\text{I}$ -BMIPP の集積乖離が 11 例中 5 例に認められた。MI 群で乖離所見を示したセグメントはいずれも心筋梗塞領域であった。NIHD 群の安静時  $^{201}\text{Tl}$  像と  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 30 分後像のセグメントの完全一致率は 91.6% であった。

#### 2) $^{123}\text{I}$ -BMIPP の初期分布像と 30 分後像の比較による狭心症の責任冠動脈の同定

領域別△欠損スコアが 2 以上の領域を認めた例は、UAP 群 10 例中の 8 例であった。他の 2 例はすべての領域で領域別△欠損スコアが 0 であった。 $^{123}\text{I}$ -BMIPP 像の領域別△欠損スコアから判定された 8 例の責任冠動脈領域は、冠動脈造影により判定された責任冠動脈と全例一致していた。領域別△欠損スコアが 0 を示した 2 症例は、左前下行枝が責任冠動脈の 2 枝病変例と右冠動脈が責任冠動脈の 1 枝病変例であり、2 例とも  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 初期分布像から RI 集積の低下が認められた ( $^{201}\text{Tl}$  像と  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 30 分後像の乖離所見は 2 例とも認められた)。

なお NIHD 群における  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 初期分布像と 30 分後像の RI 集積変化は、1 症例の 1 セグメントで 1 段階の集積低下が認められるのみであった。

### 3) ダイナミック SPECT の 2~5 分像と 14~17 分像における洗い出し率、および梗塞部 %uptake の検討

2~5 分像と 14~17 分像から算出される  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 心筋洗い出し率は AP 群  $-5.8 \pm 6.6\%$ , MI 群  $-11.7 \pm 4.6\%$ , NIHD 群  $-10.9 \pm 11\%$  といずれの群も心臓全体の平均洗い出し率が負の値を示した。AP 群における脂肪酸代謝異常部の洗い出し率は、 $27 \pm 18\%$  と洗い出し所見が見られ、他領域と比べて洗い出し率が亢進していた。

ダイナミック SPECT の 2~5 分後像における梗塞部 %uptake は、梗塞部の viability を有する 7 例において平均  $69 \pm 6\%$ 、全例が 50% 以上を呈しており、梗塞部 viability なしと判定された 4 症例は平均  $37 \pm 4\%$  でいずれの例も 50% 未満であった。

### 4) 肺野の $^{123}\text{I}$ -BMIPP 集積の経時的変化の検討

連続撮像した planar 像の左中肺野、左室心筋および肝臓 ROI の %uptake の変化を Fig. 6 に示した。心臓隣接部における肺野の  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 集積は、1 分後  $62.6 \pm 20\%$ 、2 分後  $35.6 \pm 9\%$ 、4 分後  $22.4 \pm 7\%$ 、6 分後  $20.6 \pm 7\%$ 、8 分後  $19.4 \pm 5\%$ 、10 分後  $19.0 \pm 6\%$ 、12 分後  $19.0 \pm 6\%$ 、14 分後  $19 \pm 5\%$  と投与直後から急速に低下し、4 分後以降はほぼプラトーの値を示した。

## V. 考 察

本検討の結果、不安定狭心症の 10 例中 8 例、心筋梗塞 11 例中 9 例の初期分布像 (2~5 分後像) は、安静時  $^{201}\text{Tl}$  像に類似した SPECT 所見を呈しており、 $^{123}\text{I}$ -BMIPP 初期分布像は安静時心筋血流を反映した像であることが示唆された。そして  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 初期分布像と、脂肪酸代謝を反映する  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 投与 30 分後像を撮像することにより、安静時心筋血流と脂肪酸代謝が  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 1 回の投与で評価できる可能性が考えられた。従来、 $^{123}\text{I}$ -BMIPP 像と  $^{201}\text{Tl}$  像を比較しながら読影し、両像の乖離所見から脂肪酸代謝異常を判定していたが<sup>1~7)</sup>、 $^{123}\text{I}$ -BMIPP の 1 回投与のみで心筋

血流と脂肪酸代謝が評価できるようになれば、臨床的に大きなメリットになると思われる。

しかし  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 初期分布像において安静時  $^{201}\text{Tl}$  像より集積低下領域を有する例が、少数ではあるが認められた。この原因として、 $^{123}\text{I}$ -BMIPP の洗い出しが非常に早いために 2 分後の撮像では血流像が得られなかった、安静時  $^{201}\text{Tl}$  像を後日に検査していることから急性期と亜急性期で安静時心筋血流が変化していた、あるいは投与直後から血流に依存した RI 集積がなかったなどの可能性が考えられる。 $^{123}\text{I}$ -BMIPP 投与後の至適撮像時期を検討することにより、さらに多くの症例で心筋血流を反映した像が得られるのではないかと考えられる。

本対象の UAP 群において、 $^{123}\text{I}$ -BMIPP 30 分後像と安静時  $^{201}\text{Tl}$  像を比較すると、10 例全例で  $^{123}\text{I}$ -BMIPP の集積低下を示し、集積低下領域は冠動脈造影から判定された狭心症責任冠動脈とすべて一致していた。 $^{123}\text{I}$ -BMIPP の初期分布像と 30 分後像を比較して狭心症責任冠動脈の検出を試みると、10 例中の 8 例と検出が低下したが、これは 2 症例において初期分布像から責任冠動脈領域の RI 集積が低下していたことによる。安静時  $^{201}\text{Tl}$  像を用いた場合と比較して、狭心症責任冠動脈の検出は低下したが、BMIPP 初期分布像の至適な撮像時期を検討することで、検出率が向上するのではないかとと思われる。

本方法は、狭心症のみならず心筋梗塞例においても応用可能な結果と考えられる。心筋梗塞例では、心筋 viability 評価が問題になるが、心筋梗塞例の  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 初期分布像も安静時  $^{201}\text{Tl}$  像に類似した所見を示した。慢性期の運動負荷  $^{201}\text{Tl}$  心筋シンチグラフィにより心筋 viability ありと判定された 7 例は、 $^{123}\text{I}$ -BMIPP 2~5 分後像で梗塞部 %uptake がいずれの例も 50% 以上を示し、梗塞部 viability なしと判定された 4 症例は、全例とも梗塞部 %uptake が 50% 未満であった。本法を用いた心筋梗塞部の viability 評価については、心筋梗塞の発症時期および stunned myocardium, hibernating myocardium との関連を含め、今後の検討が必



要と考えられる。

**$^{123}\text{I}$ -BMIPP 投与直後の初期分布像が安静時血流を反映した像を呈する動態について**

Ambrose<sup>8)</sup>、松成<sup>9)</sup>の報告と本検討の結果から推察すると、 $^{123}\text{I}$ -BMIPP は投与直後に血流に応じて心筋に集積し、その後脂肪酸代謝の異常部位で逆拡散によって集積が低下していると考えられる。本対象例で、2～5 分像の初期分布像と 14～17 分像の脂肪酸代謝異常部の洗い出し率は平均  $27 \pm 18\%$  であり、初期に心筋集積した  $^{123}\text{I}$ -BMIPP は、逆拡散と思われる洗い出し所見を呈している。虚血心筋への集積と早期洗い出しの機序については今後の検討が必要と思われる。

**初期分布像の撮像開始時期について**

本検討では  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 投与 2 分後から撮像を開始したが、投与後 2 分の時期は初回循環が終了し血液中の  $^{123}\text{I}$ -BMIPP が 2 回目の循環で心筋に達している時期と考えられる。 $^{123}\text{I}$ -BMIPP 投与後の血中濃度については、投与後急速に低下することが報告<sup>2,10)</sup>されている。本検討において、心臓の周囲組織である肺の RI カウント変化を planar 像で 15 秒毎に連続撮像して検討したところ、投与後 4 分まで肺野のカウントは減少し、その後プラトーになる結果であった (Fig. 6)。

心筋像のバックグラウンドを下げるためには血中の  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 濃度が低下するのを待つことが望まれる。しかし、狭心症責任冠動脈領域における  $^{123}\text{I}$ -BMIPP の洗い出しを視覚的に観察すると、5～8 分像ですでに集積低下を呈す例 (Table 2) が認められ、心筋血流を反映していると考えられる初期分布像の撮像は  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 投与後早期から開始する必要がある。

この投与後 2 分後から撮像した SPECT 像において、バックグラウンドが高いことにより本来見られるはずの  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 欠損が過小評価される可能性について、運動負荷  $^{201}\text{Tl}$  心筋シンチグラフィにより梗塞部に残存心筋がないと判定された 4 例の  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 2～5 分後像と 15 分後像を視覚的に

比較したところ、いずれの症例も両像間で欠損範囲に差を認めなかった (再静注  $^{201}\text{Tl}$  像の欠損範囲と同様であった)。定量的に 4 例の梗塞部 %uptake を 2～5 分後像と 14～17 分後像で比較すると、 $37 \pm 4.1\%$  (最大 41%) および  $21 \pm 4.8\%$  と、2～5 分後像の %uptake が 14～17 分後像より高値を示し、定量評価の際にはバックグラウンドの影響に注意が必要と思われた。しかし視覚的な判定による欠損範囲は両像間で差がなく、バックグラウンドの高い状況が欠損範囲を変化させるほどには影響していない結果であった。

**撮像時間の短縮による RI カウント低下が SPECT 像におよぼす影響について**

本検討では、3 検出器カメラを用いて 3 分間で 360 度投影データを収集しているが、通常の SPECT 撮像に比べると RI カウントの減少は明らかであり、前処理フィルターのカットオフ周波数を低めに設定 (0.24 cycles/pixel) して画像再構成を行った。

撮像時間の短縮による RI カウント低下が SPECT 像におよぼす影響について、 $^{123}\text{I}$ -BMIPP の心筋摂取を投与量の 4% と仮定してファントムによる検討を行ったところ、3 検出器、3 分間収集の心筋 SPECT 像の画質および再現性はともに良好であった。ただし収集時間が 2 分以下では、画質低下が明らかとなりファントム心筋部に不均一な集積所見が出現した<sup>11)</sup>。また低いカットオフ周波数を用いた SPECT 像は、高いカットオフ周波数を用いた通常の SPECT 像に比べて欠損部の辺縁が鈍になり、視覚的に欠損部がやや広い範囲として描出された<sup>11)</sup>。短時間で撮像した初期分布像と、通常法で撮像した  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 30 分後像を比較する場合は、画質の違いに注意を要する結果であり、ダイナミック SPECT を用いて撮像した場合には撮像条件、再構成条件が同一で画質に差がない像を用いて比較 (本プロトコルでは 2～5 分後像と 14～17 分後像の比較) するのが実際的と考えられた。

$^{123}\text{I}$ -BMIPP 初期分布像を撮像する際の、至適な

撮像開始時期、収集時間を検討することにより、さらに多くの症例で心筋血流を反映した初期分布像の撮像が可能になると思われる。また RI 投与量、コリメータおよび撮像時間を工夫することで単検出器カメラにおいても初期分布像の得られる可能性が考えられる。

本検討の結果、ダイナミック SPECT を用いて  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 投与直後の初期分布像を撮像することにより、心筋血流と脂肪酸代謝が同時に評価できる可能性が示唆された。従来、安静時  $^{201}\text{Tl}$  像と  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 像を比較して得られていた情報が  $^{123}\text{I}$ -BMIPP の 1 回投与で得られる結果であり、今後の臨床応用が期待される。

## VI. ま と め

1) 不安定狭心症、心筋梗塞症を対象に  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 投与直後からダイナミック SPECT による撮像を行い、 $^{123}\text{I}$ -BMIPP の初期分布像と 30 分後像を安静時  $^{201}\text{Tl}$  心筋像と比較した。

2)  $^{123}\text{I}$ -BMIPP の投与後 2 分から撮像した初期分布像は、UAP 群 10 例中 8 例、MI 群 11 例中 9 例で安静時  $^{201}\text{Tl}$  心筋像に類似した画像を呈した。

3)  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 投与 2 分後から得られる、初期分布像は心筋血流を反映した像を呈していると考えられ、 $^{123}\text{I}$ -BMIPP の初期分布像と 30 分後像を比較することによって、心筋血流と脂肪酸代謝の同時評価が可能になると考えられた。

## 文 献

- 1) Tamaki N, Kawamoto M, Yonekura Y, Fujibayashi Y, Takahashi N, Konishi J, et al: Regional metabolic abnormality in relation to perfusion and wall motion in patients with myocardial infarction: Assessment with emission tomography using an iodinated branched fatty acid analog. *J Nucl Med* **33**: 659-667, 1992
- 2) 鳥塚莞爾, 米倉義晴, 西村恒彦, 玉木長良, 植原敏勇, 池窪勝治, 他: 心筋脂肪酸代謝イメージン

- グ剤  $\beta$ -メチル-p-( $^{123}\text{I}$ )ヨードフェニルペンタデカン酸の第 1 相臨床試験. *核医学* **28**: 781-690, 1991
- 3) 鳥塚莞爾, 米倉義晴, 玉木長良, 西村恒彦, 植原敏勇: 心筋脂肪酸代謝イメージング剤  $\beta$ -メチル-p-( $^{123}\text{I}$ )ヨードフェニルペンタデカン酸の第 2 相臨床試験. *核医学* **29**: 305-317, 1992
  - 4) 鳥塚莞爾, 米倉義晴, 西村恒彦, 玉木長良, 分校久志, 植原敏勇, 他: 心筋脂肪酸代謝イメージング剤  $\beta$ -メチル-p-( $^{123}\text{I}$ )ヨードフェニルペンタデカン酸の第 3 相臨床試験. *核医学* **29**: 413-433, 1992
  - 5) 植原敏勇, 西村恒彦, 汲田伸一郎, 下永田剛, 斉藤克己, 土師和夫, 他:  $^{123}\text{I}$ -BMIPP ( $\beta$ -methyl iodophenyl pentadecanoic acid) による虚血性心疾患の診断. *核医学* **29**: 347-358, 1992
  - 6) 岡 俊明, 内田達郎, 浅野竜太, 住吉徹哉, 斉藤克己, 細田瑤一, 他: 不安定狭心症における  $^{123}\text{I}$ -BMIPP シンチによる虚血部位の同定, 第 58 回日本循環器学会学術集会抄録集: 3, 1994
  - 7) 高尾祐治, 村田 啓, 小宮山伸之, 小野口昌久, 大竹英二, 丸野廣大: 虚血性心疾患における  $^{123}\text{I}$ -BMIPP シンチグラムの臨床的意義——タリウム負荷心筋シンチグラム所見との比較検討——. *核医学* **29**: 59-68, 1992
  - 8) Ambrose KR, Kropp J, Lambert CR: Back diffusion and release of metabolite ("X") contribute to wash out radioiodinated BMIPP from isolated rat heart. *Eur J Nucl Med* **18**: 671, 1991
  - 9) 松成一朗, 一柳健次, 滝 淳一, 中嶋憲一, 利波紀久, 久田欣一: 虚血性心疾患における  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 早期動態の検討. *核医学* **30**: 1445-1450, 1993
  - 10) Nishimura T, Sago M, Kihara K, Oka H, Shimonagata T, Katabuchi T, et al: Fatty acid myocardial imaging using  $^{123}\text{I}$ - $\beta$ -methyl-iodophenyl-pentadecanoic acid (BMIPP): Comparison of myocardial perfusion and fatty acid utilization in canine myocardial infarction (Occlusion and reperfusion model). *Eur Nucl Med* **15**: 341-345, 1989
  - 11) 寺田慎一郎, 金谷信一, 小林秀樹, 松本延介, 日下部きよ子:  $^{123}\text{I}$ -BMIPP のダイナミック SPECT 像の撮影および画像処理法の検討. 第 41 回核医学関東甲信越地方会, 1994
  - 12) Nakajima K, Syuke N, Taki J, Ichihara T, Motomura N, Hisada K, et al: A simulation of dynamic SPECT using radiopharmaceuticals with rapid clearance. *J Nucl Med* **33**: 1200-1206, 1992

## Summary

### **Simultaneous Evaluation of Myocardial Perfusion and Fatty Acid Metabolism Using Dynamic SPECT with Single Injection of $^{123}\text{I}$ -15-(p-Iodophenyl)-3-Methyl Pentadecanoic Acid (BMIPP)**

Hideki KOBAYASHI\*, Ryuta ASANO\*\*, Toshiaki OKA\*\*, Seiji INOUE\*\*, Mitsuru MOMOSE\*\*, Yuko IKKATAI\*\*, Tetsuya SUMIYOSHI\*\*, Nobusuke MATSUMOTO\*\*, Toshinobu HORIE\*\*, Kiyoko KUSAKABE\* and Saichi HOSODA\*\*

*\*Department of Radiology, Tokyo Women's Medical College Hospital*

*\*\*Department of Cardiology, Tokyo Women's Medical College Hospital*

The purpose of this study is to clarify whether dynamic SPECT (DECT) immediately after the injection of  $^{123}\text{I}$ -15-(p-iodophenyl)-3-methyl pentadecanoic acid (BMIPP) may represent myocardial perfusion imaging. Ten patients with unstable angina pectoris (UAP), 11 patients with acute myocardial infarction (AMI) and 6 patients with non-ischemic heart disease (NIHD) were studied using BMIPP myocardial scintigraphy with DECT.

DECT acquisition was started 2 minutes after the injection of BMIPP, and DECT images were obtained every three minute for 15 minutes with 3-headed gamma camera SPECT system. Additionally, static SPECT images were acquired 30 minutes after the injection of BMIPP. These SPECT images of BMIPP were compared with thallium-201 myocardial perfusion images at rest.

In UAP group, early DECT images showed almost

the same findings as thallium-201 images in 8 of 10 patients, and SPECT images at 30 minutes after the injection showed reduced accumulation of BMIPP compared with thallium-201 images in all patients. In AMI group, early DECT images showed the same findings as thallium-201 perfusion images in 9 of 11 patients, and SPECT images at 30 minutes after the injection showed reduced accumulation of BMIPP compared with thallium-201 images in 5 of 11 patients.

These results indicate that myocardial perfusion can be evaluated in the early image using DECT, in addition to myocardial fatty acid metabolism in the delayed image.

**Key words:** Beta-methyl-iodophenylpentadecanoic acid (BMIPP), Dynamic SPECT, Myocardial perfusion, Myocardial viability, Unstable angina pectoris.