

## 小児冠動脈疾患におけるポジトロンCT所見： $^{201}\text{Tl}$ 心筋SPECTとの比較検討

## Ischemic myocardial injury evaluated using positron emission tomography in children with coronary artery disease: Comparison with thallium-201 SPECT

吉林 宗夫  
玉木 長良\*  
西岡 研哉  
松村 正彦  
米倉 義晴\*  
山下 敬司\*  
小西 淳二\*  
伴 敏彦\*\*  
三河 春樹

Muneo YOSHIBAYASHI  
Nagara TAMAKI\*  
Kenya NISHIOKA  
Masahiko MATSUMURA  
Yoshiharu YONEKURA\*  
Keiji YAMASHITA\*  
Junji KONISHI\*  
Toshihiko BAN\*\*  
Haruki MIKAWA

### Summary

Regional myocardial perfusion and glucose metabolism were evaluated by positron emission tomography (PET) in children with coronary artery disease. Also, PET findings were compared with those of thallium-201 myocardial single photon computed tomography (SPECT). The study patients consisted of 11 children ranging in age from 3 to 14 years. Ten patients had significantly stenotic coronary arterial lesions due to Kawasaki disease, and one patient had a left coronary artery with an anomalous origin from the pulmonary artery. Evaluation was made before and after surgical revascularization in 3 patients.

Regional myocardial perfusion was assessed at rest using  $^{13}\text{N}$ -ammonia, and regional myocardial glucose metabolism was assessed at rest under fasting conditions using  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglucose ( $^{18}\text{FDG}$ ). SPECT was performed after dipyridamole infusion. Initial and delayed images were obtained 7 min and 3 hrs after dipyridamole infusion, respectively.

Left ventricular myocardial images were categorized as the septal, anterior, lateral, apical, and inferior segments, and evaluation was made for each segment. A total of 70 myocardial segments in

京都大学医学部 小児科

\*同 放射線核医学科

\*\*同 心臓血管外科

京都市左京区聖護院川原町 54 (〒606)

Departments of Pediatrics, \*Nuclear Medicine and

\*\*Cardiovascular Surgery, Kyoto University School of

Medicine, Shogoin Kawahara-cho 54, Sakyo-ku,

Kyoto 606

Received for publication October 23, 1990; accepted February 13, 1991 (Ref. No. 37-117)

11 patients were classified into 4 groups according to the PET findings: 1) segments with normal perfusion and without enhanced  $^{18}\text{F}$ FDG uptake (normal segments;  $n=55$ ), 2) normal perfusion with enhanced  $^{18}\text{F}$ FDG uptake (metabolically abnormal segments;  $n=3$ ), 3) hypoperfusion with enhanced  $^{18}\text{F}$ FDG uptake (ischemic but viable segments;  $n=9$ ), and 4) hypoperfusion without enhanced  $^{18}\text{F}$ FDG uptake (non-viable segments;  $n=3$ ). On SPECT, the numbers of myocardial segments showing no perfusion defects, complete redistribution, incomplete redistribution, and persistent perfusion defects were 38, 12, 14, and 6, respectively.

Comparisons were made between PET findings and SPECT findings. Segments with complete and incomplete redistribution were equally viable on SPECT and PET; while 50% of the segments with persistent perfusion defects detected on SPECT were missed on PET.

### Key words

Positron emission tomography  
disease Myocardial viability

Thallium-201 SPECT

Kawasaki disease

Coronary artery

## はじめに

近年、ポジトロン CT (PET) の出現によって心筋局所の血流と代謝の評価が可能となり、成人の虚血性心疾患におけるその有用性が報告されている<sup>1-3)</sup>。今回、小児冠動脈疾患において、PET を用いて心筋局所の血流と代謝を評価し、従来から心筋虚血の診断に用いられている  $^{201}\text{Tl}$  心筋 SPECT 所見と比較検討した。

## 対象と方法

対象は 3 歳から 14 歳までの小児冠動脈疾患 11 例 (左冠動脈肺動脈起始 1 例と、川崎病後の冠動脈障害 10 例) で、うち 3 例では冠動脈血行再建術の前後で検討した。

PET は、 $^{13}\text{N}$ -アンモニアによる心筋血流イメージングと、 $^{18}\text{F}$ -フルオロデオキシグルコース ( $^{18}\text{F}$ FDG) による心筋糖代謝イメージングを行った。血流イメージングは、安静時に  $^{13}\text{N}$ -アンモニア  $0.4\text{ mCi/kg}$  を静注し、3 分後より撮像した。糖代謝イメージングは、5 時間以上の絶食の後、安静時に  $^{18}\text{F}$ FDG  $0.1\text{ mCi/kg}$  を静注し、60 分後より撮像した。各々全身用多断層 PET 装置 POSITOLÓGICA III を用いて、8 mm 間隔の横断断層像を得た。左室心筋を中隔、前壁、側壁、心尖、下壁の 5 区域に分け、各区域について、血

流低下の有無と、 $^{18}\text{F}$ FDG 集積増加 (糖代謝亢進) の有無を評価した。

$^{201}\text{Tl}$  心筋 SPECT は、ジピリダモール負荷 ( $0.6\text{ mg/kg}$  を 4 分間で静注) を行ない、2 分後に  $^{201}\text{Tl}$   $60\text{ }\mu\text{Ci/kg}$  を静注し、その 5 分後に初期像を、3 時間後に後期像を撮った。回転型ガンマカメラによって 32 方向 ( $180^\circ$ ) よりデータ収集し、各々 6 mm 間隔の短軸、長軸、および横断断層像を得た。各心筋区域について、初期像での血流低下の有無と、後期像での再分布の有無を評価した。

## 結 果

11 例での延べ 14 回における計 70 の心筋区域の PET 所見は、以下の 4 型に分類された。

- 1) 血流正常で糖代謝亢進なし (55 区域)
- 2) 血流正常で糖代謝亢進あり (3 区域)
- 3) 血流低下し糖代謝亢進あり (9 区域)
- 4) 血流低下し糖代謝亢進なし (3 区域)

$^{201}\text{Tl}$  心筋 SPECT 所見は、70 区域中 38 区域が血流低下なく、12 区域で完全再分布、14 区域で不完全再分布を認め、6 区域で固定性欠損を認めた。

Table 1 に、 $^{201}\text{Tl}$  心筋 SPECT 所見と PET 所見との対比を示した。

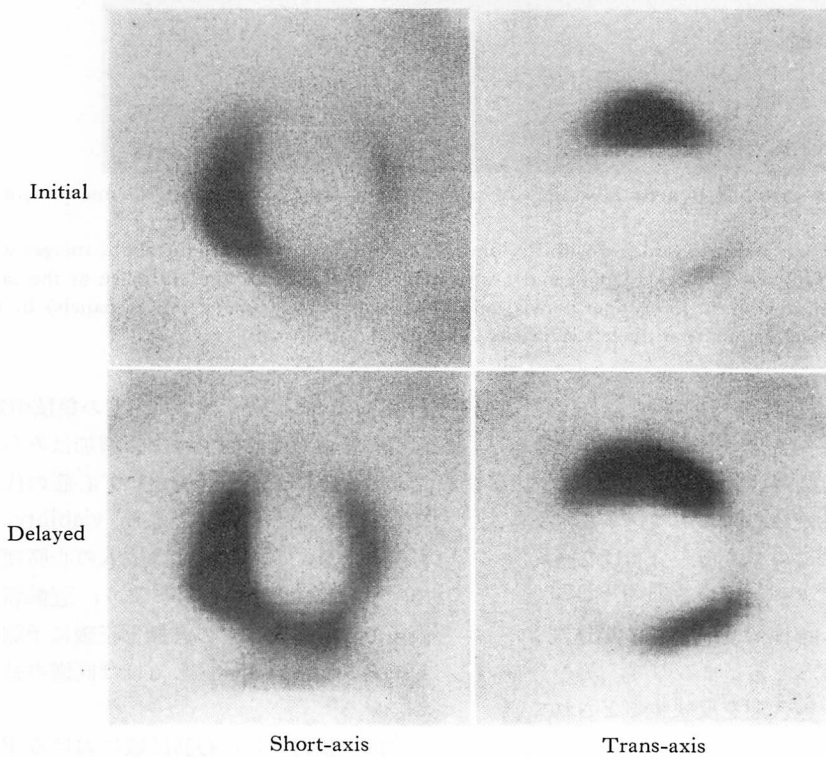
Figs. 1, 2 に、同一症例での PET 所見と  $^{201}\text{Tl}$  心筋 SPECT 所見を呈示した。

**Table 1. Comparison between PET and thallium-201 SPECT findings**

<sup>201</sup> Tl SPECT	PET	Blood flow	①	②	③	④
		Enhanced <sup>18</sup> FDG uptake	→	→	↓	↓
Normal	(n=38)	38	0	0	0	0
Complete RD	(n=12)	11	1	0	0	0
Incomplete RD	(n=14)	6	2	6	0	0
Persistent defect	(n=6)	0	0	3	3	0

Numbers in the table are those of myocardial segments.

PET=positron emission tomography; SPECT=single photon emission computed tomography; ① to ④=the classification of PET findings as mentioned in the text; →=normal perfusion; ↓=hypoperfusion; <sup>18</sup>FDG=<sup>18</sup>F-fluorodeoxyglucose; RD=redistribution.



**Fig. 1. Short-axial and trans-axial images of thallium-201 myocardial SPECT after dipyridamole infusion in a patient with an anomalous origin of the left coronary artery from the pulmonary artery.**

Upper panels are initial images (7 min after dipyridamole infusion) and lower panels are delayed images (3 hrs after dipyridamole infusion). On initial images, there are perfusion defects in the anterior, apical, lateral, and inferior segments of the left ventricle. On delayed images, redistribution is seen in the lateral and inferior segments, however, there is no redistribution in the anterior and apical segments.

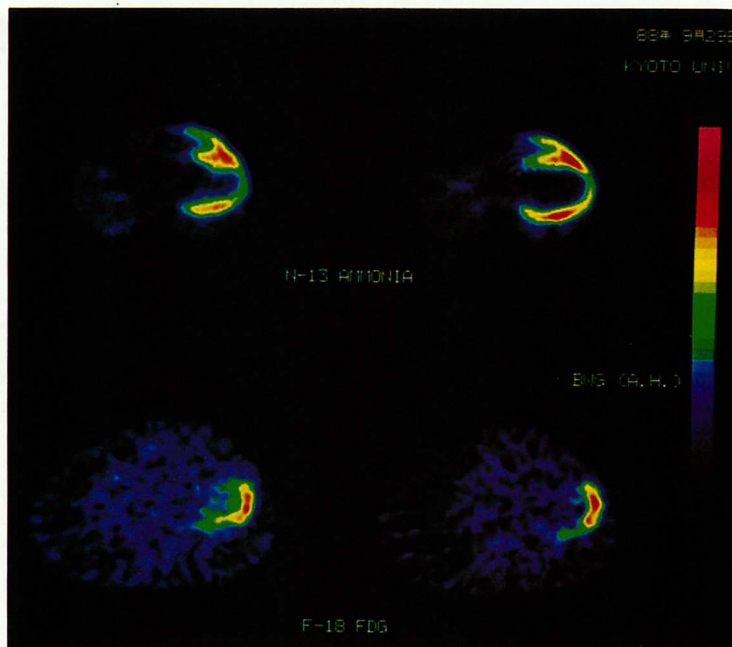


Fig. 2. Trans-axial myocardial images of positron emission tomography (same patient as in Fig. 1).

Upper panels are perfusion images with  $^{13}\text{N}$ -ammonia and lower panels are metabolic images with  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglucose ( $^{18}\text{F}$ FDG). Upper and lower images on the same side are taken at the same level. There are hypoperfusion (upper panels) and enhanced  $^{18}\text{F}$ FDG uptake (lower panels) in the anterior and apical segments of the left ventricle.

## 考 察

$^{13}\text{N}$ -アンモニアは、静注後、一価の陽イオンとして血流に従い速やかに心筋に取り込まれ、グルタミンの形でとどまるので、その分布は心筋局所の血流量を反映するとされている<sup>4)</sup>。 $^{18}\text{F}$ FDG は、静注後ブドウ糖と同様に心筋に取り込まれ、 $^{18}\text{F}$ FDG-6 リン酸の形でとどまるので、その分布は心筋局所のブドウ糖代謝を反映するとされている<sup>5)</sup>。

正常心筋は、空腹時にはエネルギー源の大部分を脂肪酸の  $\beta$  酸化に依存しているが<sup>6)</sup>、虚血心筋では酸素供給が低下するため、主なエネルギー源が解糖系に移行する<sup>7)</sup>。さらに虚血が進行して壊死に陥った心筋では、代謝活動はみられない。したがって、空腹時に糖代謝イメージングを施行し

た場合、虚血心筋では  $^{18}\text{F}$ FDG の集積増加が生じ、正常心筋と壊死心筋では集積増加はみられない。

このように、PET を用いて心筋の代謝活動の有無をみることにより、心筋 viability の評価が可能となる。Tillisch らは成人の心筋梗塞において、 $^{18}\text{F}$ FDG 集積の有無により、冠動脈バイパス術後での壁運動改善の有無を正確に予測し得たとしており<sup>1)</sup>、Tamaki らもほぼ同様の結果を報告している<sup>2)</sup>。

今回の検討では、心筋区域における PET 所見は、先に述べた 1) から 4) までの 4 型に分類されたが、上記の理由から、1) は正常心筋、3) は虚血心筋、4) は壊死心筋と考えられる。2) のパターン、すなわち血流は正常であるにもかかわらず  $^{18}\text{F}$ FDG の集積が増加(糖代謝が亢進)しているという所見は、血行再建術後の冠動脈や、セグメ

ント狭窄を有する冠動脈の支配領域心筋においてのみ認められ、再疎通により血流は正常化したものの、代謝の異常は残存している状態を表わしていると考えられる。

従来、 $^{201}\text{Tl}$  心筋イメージングでの再分布の有無は心筋 viability の有無を反映するとされてきたが、近年、再分布のない心筋区域においても、冠動脈バイパス術後に壁運動の改善を認める場合のあることが報告されるようになり<sup>8)</sup>、 $^{201}\text{Tl}$  心筋イメージングでの固定性欠損は、必ずしも non-viable な心筋を意味しないと考えられるようになった。

今回の検討では、 $^{201}\text{Tl}$  心筋 SPECT 上固定性欠損を認める心筋区域の 50% (3/6) は、PET 上、 $^{18}\text{F}$ FDG の集積増加を認め (Table 1), viable と判定された。この結果は、成人における Brunken ら<sup>9)</sup>の報告とほぼ同様である。このように、PET は、 $^{201}\text{Tl}$  心筋 SPECT では識別し得ない心筋 viability の有無を識別し得ると考えられる。また、今回の結果から (Table 1),  $^{201}\text{Tl}$  心筋 SPECT 上不完全ではあっても、再分布を認める心筋区域はすべて PET 上 viable であるということが言える。

## 結 語

小児冠動脈疾患において、PET を用いて心筋局所の血流と代謝を評価し、 $^{201}\text{Tl}$  心筋 SPECT 所見との対比検討を行なった。その結果、

1. PET により、1) 血流正常にもかかわらず代謝の異常を有する心筋、2) 虚血であるが viable な心筋、3) non-viable な壊死心筋、の 3 種類の虚血性心筋障害が示された。

2.  $^{201}\text{Tl}$  心筋 SPECT 所見との比較では、1) SPECT 上不完全であっても、再分布を認める心筋区域はすべて PET 上 viable であった。2) SPECT 上固定性欠損を認める心筋区域の 50% が PET 上 viable であった。

## 要 約

小児冠動脈疾患に対して、ポジトロン CT (PET) を用いて心筋局所の血流と糖代謝を評価し、 $^{201}\text{Tl}$  心筋 SPECT 所見と対比検討した。対象は 3 歳から 14 歳までの 11 例で、川崎病冠動脈障害 10 例と、左冠動脈肺動脈起始 1 例である。うち 3 例では冠動脈血行再建術前後で検討した。PET は、 $^{13}\text{N}$ -アンモニアによる安静時の心筋血流イメージングと、 $^{18}\text{F}$ FDG による安静空腹時の心筋糖代謝イメージングを施行した。左室心筋を、中隔、前壁、側壁、心尖、下壁の 5 区域に分け、各区域について、血流低下の有無と  $^{18}\text{F}$ FDG 集積増加 (糖代謝亢進) の有無を検討した。 $^{201}\text{Tl}$  心筋 SPECT は、ジピリダモール負荷を行ない、7 分後の初期像と 3 時間後の後期像を撮った。

11 例における延べ 14 回での計 70 の心筋区域は、PET 所見により、1) 血流正常で  $^{18}\text{F}$ FDG 集積増加なし (55 区域)、2) 血流正常で  $^{18}\text{F}$ FDG 集積増加あり (3 区域)、3) 血流低下して  $^{18}\text{F}$ FDG 集積増加あり (9 区域)、4) 血流低下して  $^{18}\text{F}$ FDG 集積増加なし (3 区域)、の 4 型に分類された。1) は正常心筋、2) は血流は正常化したものの代謝の異常が残存する心筋、3) は虚血であるが viable な心筋、4) は non-viable な壊死心筋を示すと考えられる。 $^{201}\text{Tl}$  心筋 SPECT 所見は、70 区域中 38 区域が灌流低下なし、12 区域が完全再分布、14 区域が不完全再分布、6 区域が固定性欠損を示した。

PET と  $^{201}\text{Tl}$  心筋 SPECT の対比では、SPECT 上不完全であっても再分布を示した心筋区域はすべて PET 上 viable であった。また、固定性欠損を示した心筋区域の 50% が PET 上 viable であった。

## 文 献

- 1) Tillisch J, Brunken R, Marshall R, Schwaiger M, Mandelkern M, Phelps M, Schelbert H: Reversibility of cardiac wall-motion abnormalities predicted by positron tomography. N Engl J Med

- 314: 884-888, 1986
- 2) Tamaki N, Yonekura Y, Yamashita K, Saji H, Magata Y, Senda M, Konishi Y, Hirata K, Ban T, Konishi J: Positron emission tomography using fluorine-18 deoxyglucose in evaluation of coronary artery bypass grafting. *Am J Cardiol* **64**: 860-865, 1989
  - 3) Marshall M, Tillisch JH, Phelps ME, Huang SC, Carson R, Henze E, Schelbert HR: Identification and differentiation of resting myocardial ischemia and infarction in man with positron computed tomography, <sup>18</sup>F-labeled fluorodeoxyglucose and N-13 ammonia. *Circulation* **67**: 766-778, 1983
  - 4) Schelbert HR, Phelps ME, Huang SC, MacDonald NS, Hansen H, Selin C, Kuhl DE: N-13 ammonia as an indicator of myocardial blood flow. *Circulation* **63**: 1259-1272, 1981
  - 5) Ratib O, Phelps ME, Huang SC, Henze E, Selin CE, Schelbert HR: Positron tomography with deoxyglucose for estimating local myocardial glucose metabolism. *J Nucl Med* **23**: 577-586, 1982
  - 6) Bing RJ: Cardiac metabolism. *Physiol Rev* **45**: 171-213, 1965
  - 7) Liedtke AJ: Alterations of carbohydrate and lipid metabolism in the acutely ischemic heart. *Prog Cardiovasc Dis* **23**: 321-336, 1981
  - 8) Liu P, Kiess MC, Okada RD, Block PC, Strauss HW, Pohost GM, Boucher CA: The persistent defect on exercise thallium imaging and its fate after myocardial revascularization: Does it represent scar or ischemia? *Am Heart J* **110**: 996-1001, 1985
  - 9) Brunken R, Schwaiger M, Grover-McKay M, Phelps ME, Tillisch J, Schelbert HR: Positron emission tomography detects tissue metabolic activity in myocardial segments with persistent thallium perfusion defects. *J Am Coll Cardiol* **10**: 557-567, 1987