

《原 著》

## 梗塞心筋の viability 評価に対する <sup>18</sup>F-フルオロデオキシグルコース・ポジトロン CT の有用性

庭山 博行\* 吉田 勝哉\* 増田 善昭\* 稲垣 義明\*

**要旨** 陳旧性心筋梗塞患者 18 例に対し、空腹時 (6 時間以上絶食後)、糖負荷時 (50 g ブドウ糖経口負荷) FDG-PET を施行した。空腹時画像は、健常部心筋の FDG 取り込みが抑制される群 (A 群 12 例) と抑制されない群 (B 群 6 例) の二つに分けられ、B 群では A 群に比し血清遊離脂肪酸値が有意に低かった。

以上のうち 7 例を対象に冠状動脈形成術を施行し、術前の FDG 取り込みの程度と 3 か月後の壁運動異常改善の関係をみた。糖負荷時画像でも空腹時画像でも、心腔の血液プールからはっきりと心筋が分離できる程度に FDG の取り込みが見られれば、術後高率に壁運動の改善がみられた (糖負荷時 11/13 セグメント、空腹時 6/8 セグメント)。心筋の viability 判定に FDG-PET 画像は有用と思われた。

(核医学 29: 1341-1352, 1992)

### I. 結 言

近年登場したポジトロン CT (以下 PET) は心筋 viability 評価に重要な役割を担いつつある。現在 PET を用いて心筋 viability を評価する最も一般的なのは、糖代謝のマーカーである <sup>18</sup>F-フルオロデオキシグルコース (以下 FDG) により心筋の糖利用をみる方法<sup>1-14)</sup>である。しかし FDG-PET 検査を空腹時<sup>1,5,6,10,11,13-19)</sup>にすべきか、糖負荷時<sup>2,3,7-9,20)</sup>にすべきかについては現在一定の見解がなく、また最近健常心筋における FDG 分布の不均一性<sup>15,21,22)</sup>が指摘されるなどその本態についても不明な点が多い。

これまでわれわれは、空腹時と糖負荷時の心筋の FDG 分布の違いに注目し検討を重ねてきた<sup>23)</sup>が、今回は陳旧性心筋梗塞例を対象として、糖負荷時および空腹時に FDG-PET 検査を施行、その

画像の特性を検討するとともに、同法による心筋 viability 評価の有用性を検討した。

### II. 対象と方法

#### 1) 対 象

対象は、発症後 1 か月以上経過した心筋梗塞患者 18 名 (男性 15 名、女性 3 名、平均年齢 60.0 ± 13.5 歳) で、全例に冠状動脈造影 (CAG)、左室造影 (LVG) を施行してあり、いずれの症例もブドウ糖負荷試験上、糖代謝異常を認めていない。Table 1 に各症例のプロフィールを示した。下壁梗塞の 1 例を除き全て前壁梗塞である。CAG、LVG の評価は American Heart Association (AHA) 分類<sup>24)</sup>に従い、前者では 75% 以上の狭窄を有意狭窄病変とし、後者では壁運動を normokinesis, hypokinesis, akinesis, dyskinesis の 4 段階に評価した。今回の対象者は左冠状動脈前下行枝 (LAD) の 1 枝病変が 18 例中 11 例であり、LVG 上 1 領域以上に左室壁運動異常が認められた。またこの 18 例のうち 7 例に対し、PET 検査終了後冠状動脈拡張術 (PTCA) や冠状動脈バイパス術 (CABG) などの冠状動脈形成術を施行した。

\* 千葉大学医学部第三内科

受付: 4 年 6 月 3 日

最終稿受付: 4 年 8 月 21 日

別刷請求先: 千葉市中央区亥鼻 1-8-1 (☎ 260)

千葉大学医学部第三内科

庭山 博行

## 2) 装置

FDG 合成には住友重機製小型サイクロトロン CYPRIS とトレーサー合成装置 CUPID を用い、合成後ミリポアフィルターを通した後使用した<sup>25)</sup>。撮像には島津社製 HEADTOME-III を用いた。この装置は2リング3スライスであり体軸方向に7ミリずらし補間スキャンを行うことにより、7ミリ幅の連続6枚の画像を得ることができる。また同装置の空間分解能(半値幅)は視野中心で8.3 mm, 中心から15 cm 周辺部で10.4 mm である<sup>26,27)</sup>。

## 3) 撮影方法

18例中17例に対し糖負荷時および空腹時検査を、残りの1例は空腹時検査のみ施行した。空腹時検査は朝少なくとも6時間の絶食後、糖負荷時検査は朝食を普通に摂取し、FDG 静注1時間前に50 g のブドウ糖(®トランG)を経口負荷後、ともに安静時に行った。

PET 検査は吸収補正のための transmission scan を施行後、FDG 74~185 MBq (2~5 mCi) を上腕正中静脈よりボーラス静注し、約60分後より6分

間の static scan を半スライスずらし2回行った。また一部の症例では FDG 静注開始と同時に57分間(1分間スキャン3フレーム, 2分間スキャン5フレーム, 4分間スキャン11フレーム)の dynamic scan も施行した。

画像表示はピークカウントを100%として、0~100%の表示とした。

## 4) 画像評価

このようにして得られた画像をもとに、左室心筋を前壁、中隔、心尖部、側壁、下壁の5つのセグメントに分けた<sup>28)</sup>。そしておのおののセグメントについて心筋の FDG 取り込みの程度を左室腔内の血液プールの FDG 濃度を基準として以下のごとく視覚的に4段階評価した。

- : 心筋の FDG 濃度が血液プール濃度と同じで心筋が分離できないもの
- 1+ : FDG がわずかに心筋に取り込まれ心筋の輪郭が分かるもの
- 2+ : FDG の取り込みが1+ と3+ の中間のもの
- 3+ : FDG が健常領域と同程度に心筋に強く

Table 1 Clinical characteristics and angiographic data of the subjects

Case	Age, Sex	MI	Onset to PET (Mo)	Diseased arteries	LVG	EF (%)	Coronary intervention
1.	69 m	A	2 Mo	LAD	#2, 3, 6A	45%	—
2.	70 f	A	1 Mo	LAD, LCX	#2, 6H, #3A	57%	—
3.	63 m	A	unknown	LAD, LCX, RCA	#1, 4, 5, 6H, #2, 3D	19%	—
4.	66 f	A	14 Mo	LAD	#2, 3, 4, 6, 7A	24%	—
5.	45 m	A	3 Mo	LAD	#3, 6A	51%	PTCA
6.	63 m	A	4 Mo	LAD, RCA	#2, 3D, #6A	40%	PTCA
7.	51 m	A	2 Mo	LAD, LCX	#2, 4, 5, 6, 7H, #3D	50%	—
8.	51 m	I	1 Mo	LAD, RCA	#2, 3, 4, 5H	63%	—
9.	58 m	A	2 Mo	LMT	#2, 3D	44%	CABG
10.	48 m	A	4 Mo	LAD	#2, 3H	67%	—
11.	67 m	A	3 Mo	LAD	#2, 6A, #3D	46%	PTCA
12.	66 m	A	unknown	LAD, LCX	#2, 6H	65%	—
13.	66 m	A	3 Mo	LAD	#2, 3, 6A	57%	PTCA
14.	40 m	A	11 Mo	LAD	#2H, #3, 6A	41%	—
15.	65 m	A	2 Mo	LAD	#2H	74%	PTCA
16.	46 m	A	1 Mo	LAD	#2, 3, 6H	61%	—
17.	69 f	A	2 Mo	LAD, LCX	#2, 3, 6D	—	—
18.	53 m	A	unknown	LAD	#2, 3D, #6A	51%	PTCA

MI A: Anterior, I: Inferior LVG H: Hypokinesis, A: Akinesis, D: Dyskinesis

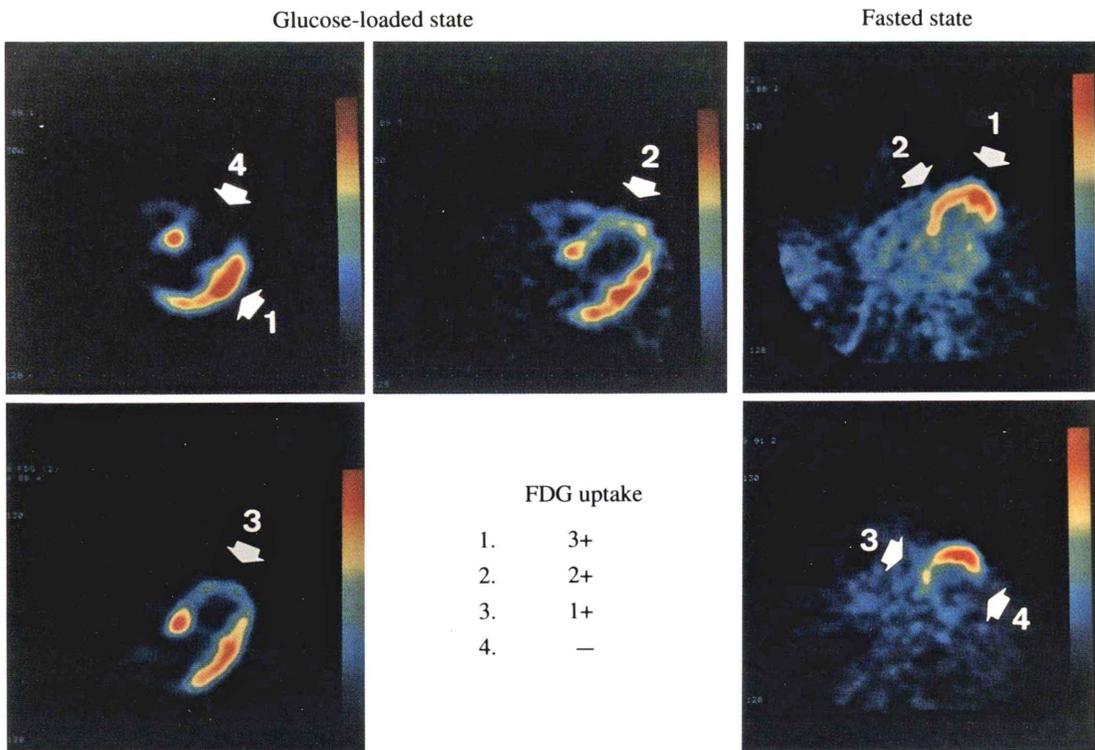


Fig. 1 Examples of visual evaluation of myocardial FDG uptake.

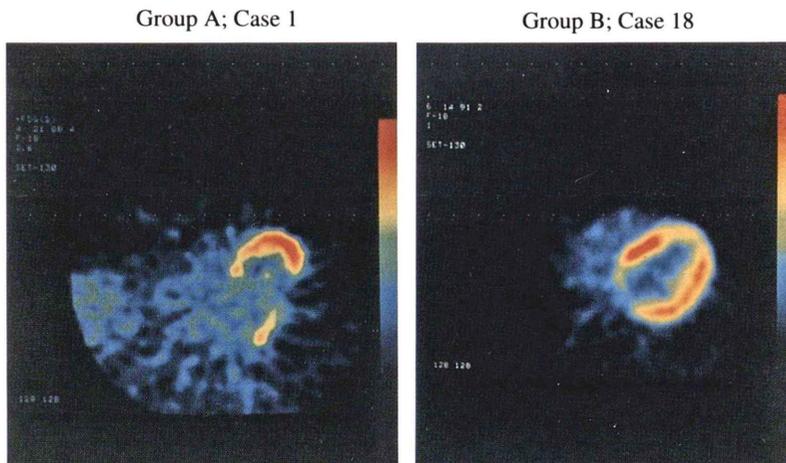
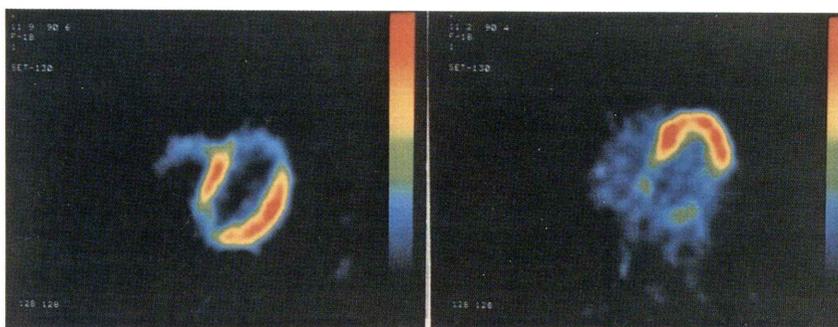
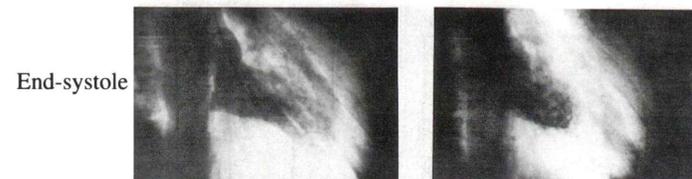
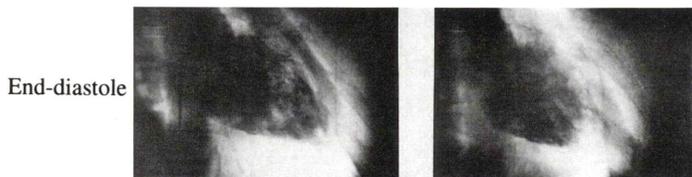


Fig. 2 Two groups of PET images in the fasted state. Group A (12 cases): FDG uptake of normal region is suppressed. Group B (6 cases): FDG uptake of normal region is not suppressed. The lateral wall is normal region in both examples. FDG uptake of the lateral wall is suppressed in case 1, but not suppressed in case 18.



Glucose-loaded

Fasted



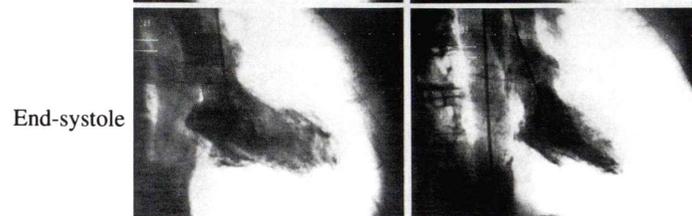
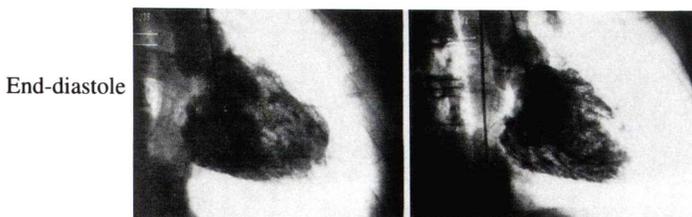
Before PTCA

After PTCA

**Fig. 3**

Upper panel: FDG-PET images of case 11. FDG uptake of the infarcted segment is 1+ in the glucose-loaded state and 3+ in the fasted state.

Lower panel: Left ventriculogram before and after PTCA. The wall motion of #2, 3, 6 was improved after PTCA.



Before PTCA

After PTCA

**Fig. 4**

Upper panel: FDG-PET image of case 18. FDG uptake of the infarcted segment is 1+ in the glucose-loaded state.

Lower panel: Left ventriculogram before and after PTCA. The wall motion of #2, 3, 6 was improved after PTCA.

取り込まれているもの

Figure 1 に画像評価の実例を示した。なお、画像評価には 2 人の PET 読影経験者があたり、読影所見が異なった場合は意見の一致が見られるまで討議を繰り返した。

### 5) 健常領域・梗塞領域の定義

LVG 上の壁運動が正常であり、灌流冠状動脈に有意狭窄病変がみられない領域を健常領域とし、心電図上の異常 Q 波に相当する部位で左室壁運動異常があり、灌流冠状動脈に有意狭窄病変がみられる領域を梗塞領域とした。Fig. 2 の例では両症例とも側壁が健常領域、前壁が梗塞領域である。

### 6) FDG 局所心筋取り込み率

Dynamic scan を施行した症例では、Camici ら<sup>17,29)</sup>の方法に準じ、scan 終了時点での梗塞領域、健常領域の局所心筋取り込み率 (Fractional Uptake) を計算した。

$$\text{FDG Fractional Uptake} \\ = \text{Cm}(T) \times 100 / \int \text{Ca}(t) dt$$

Cm(T) : 心筋の FDG カウント

Ca(t) : 動脈入力関数

この場合心筋カウント Cm(T) は梗塞、健常各領域に数個の関心領域 (ROI) を設定し、その平均値とした。動脈入力関数は ROI を左房中心に設定して得た<sup>23,30)</sup>。

### 7) Viability 評価

Table 1 に示した 7 症例につき、PTCA や CABG の冠状動脈形成術を加え、約 3 か月後 CAG 再検時に壁運動の再評価を行い、その改善の程度と FDG 取り込みの関係をみた。この場合術前に壁運動障害のあるセグメントを対象とした。なお、1 例のみ冠状動脈バイパス術 1 か月後に脳血管障害で死亡したため、CAG, LVG の再検はできず、術後の壁運動は死亡数日前の心エコー検査のものをを用いた。残りの 6 例は、CAG 再検時責任冠状動脈に有意狭窄を認めなかった。

### 8) データ処理

得られたデータは平均値±標準偏差で表し、有意差の検定は unpaired t-test および  $\chi^2$  検定を用い、 $p < 0.05$  をもって有意とした。

## III. 結 果

### 1) 空腹時の画像評価

空腹時 FDG-PET の画像評価より、健常部心筋の FDG 取り込みが抑制される群 (A 群 12 例) と抑制されない群 (B 群 6 例) の 2 つのタイプに分けられた (Fig. 2)。

その原因を検討するため A 群と B 群について、年齢、性別、絶食時間、梗塞発症から PET 検査までの期間、左室駆出率 (EF)、梗塞後狭心症の有無、冠状動脈の病変枝数、壁運動障害セグメント数、検査時 (FDG 静注直前) の血清インスリン値、遊離脂肪酸値、血糖値の 11 項目について群間比較したが、遊離脂肪酸値のみが有意に B 群で低値であった (Table 2)。

CAG・LVG 所見上の梗塞相当部位の FDG 取り込みは、A 群では 2+~3+ と強い取り込みを示すものが 12 例中 9 例、- が 3 例あった。この一部位の壁運動は 1 例が dyskinesia, 2 例が normokinesia で、前者のように梗塞による壁運動障害が非常に強い場合と、後者のようにそれが見られない場合の二通りがあった。一方 B 群では 3+ の取り込みが 6 例中 1 例、1+~2+ が 4 例、- が 1 例で、視覚判定では健常部に比べると取り込みは弱いものが多かった。

### 2) 糖負荷時の画像評価

糖負荷時画像では、空腹時 A 群の例も B 群の例も、健常部はすべて 3+ の取り込みであるのに対して、梗塞部は -~2+ の取り込みであり、その取り込みの程度に応じて高度~軽度の欠損像を示した。

### 3) FDG の Fractional Uptake による検討 (Table 3)

【健常部】 健常部の FDG 取り込み率は、空腹時では B 群の方が A 群より有意に高かった (A 群:  $1.46 \pm 0.63\%$ , B 群:  $3.72 \pm 1.95\%$ ,  $p < 0.05$ ) が、糖負荷時では両群間に差がなかった (A 群:  $4.33 \pm 1.14\%$ , B 群:  $4.94 \pm 1.46\%$ )。

【梗塞部】 A 群では糖負荷により、梗塞部心筋の FDG 取り込み率はほぼ 1~3 倍前後に増加し

Table 2 The comparison of clinical data between group A and group B

	Group A (12 cases)		Group B (6 cases)	
Age (year-old)	57.3±10.3	N.S.	61.3±8.71	
Sex (Female/Male)	1/11	N.S.	2/4	
Duration of fasting (hours)	5.42±0.79	N.S.	9.42±6.81	
Onset to PET (month)	3.2±2.9	N.S.	4.8±5.3	
LV ejection fraction (%)	47.7±13.0	N.S.	55.0±17.3	
Angina pectoris	8/12	N.S.	5/6	
Numbers of diseased arteries	1.67±0.65	N.S.	1.50±0.84	
Segments with impaired wall motion	2.92±0.90	N.S.	2.33±1.03	
Blood data in the fasted state				
Serum insulin ( $\mu$ U/ml)	10.60±3.58	N.S.	11.39±11.45	
Serum free fatty acid (mEq/l)	0.93±0.29	p<0.01	0.50±0.16	
Plasma glucose (mg/dl)	92.1±13.1	N.S.	88.3±7.7	
Blood data in the glucose-loaded state				
Serum insulin ( $\mu$ U/ml)	47.74±33.25	N.S.	29.85±27.43	
Serum free fatty acid (mEq/l)	0.20±0.12	N.S.	0.19±0.11	
Plasma glucose (mg/dl)	131.4±43.4	N.S.	137.8±42.1	

Table 3 FDG fractional uptake of the infarcted region and the normal region in each case

	Infarcted region			Normal region		
	FU(F) (%)	FU(G) (%)	FU(G)/FU(F)	FU(F) (%)	FU(G) (%)	FU(G)/FU(F)
Group A						
Case 1	2.27	3.28	1.45	1.17	5.58	4.79
3	2.04	4.54	2.23	1.42	5.57	3.95
6	1.07	1.20	1.13	0.72	4.11	5.79
7	2.13	3.29	1.55	1.49	4.76	3.19
8	0.77	2.76	3.58	0.84	2.71	3.23
9	1.85	1.77	0.96	1.79	2.25	1.26
11	2.13	1.99	0.93	1.23	4.82	3.93
12	1.40	4.00	2.86	1.07	4.10	3.85
Group B						
Case 2	2.13	6.47	3.04	2.81	6.45	2.30
4	0.97	0.90	0.93	7.60	6.61	0.87
10	1.89	2.11	1.12	2.36	4.49	1.91
13	3.77	2.46	0.65	2.94	4.61	1.58
18	2.56	1.58	0.62	3.03	2.85	0.98

FU(F): Fractional uptake in the fasted state      FU(G): Fractional uptake in the glucose-loaded state

ていたが、B群では糖負荷後の方が0.6倍と低いものも2例みられ、糖負荷による影響が一定していなかった。

#### 4) 心筋 viability に関する検討

冠状動脈形成術を加えた7例のうち、糖負荷時および空腹時両方でFDG-PETを施行しえたのは6例、空腹時のみが1例である。Tables 4, 5に

糖負荷時および空腹時における梗塞部心筋のFDG取り込みと術前の壁運動および術後の壁運動改善度との関係を示した。この場合空腹時はA群とB群でその意味するところが異なると思われたので、B群例(3例)を除外し、A群例(4例)のみを対象とした。

糖負荷時ではFDG取り込みが1+以上みられ

**Table 4** The relation between myocardial FDG uptake in the glucose-loaded state and improvement of regional wall motion after coronary intervention

		FDG uptake			
		3 +	2 +	1 +	-
Regional wall motion before coronary intervention	N				
	H	○			
	A			⊙⊙⊙ ○○○○	
	D			×× ⊙⊙○	

N: Normokinesis      ⊙: improvement of wall motion by 2 grades  
 H: Hypokinesis      ○: improvement of wall motion by 1 grade  
 A: Akinesis          ×: no improvement  
 D: Dyskinesis

**Table 5** The relation between myocardial FDG uptake in the fasted state and improvement of regional wall motion after coronary intervention

		FDG uptake			
		3 +	2 +	1 +	-
Regional wall motion before coronary intervention	N				
	H	○			
	A	⊙ ○○		⊙	
	D	× ⊙	×		

The abbreviations are same as in the Table 4.

壁運動障害のあった13セグメントが対象となり、そのうち11セグメントに改善をみた。特に術前 akinesis のものは7/7(100%)に、dyskinesis のものも3/5(60%)に壁運動の改善がみられ、そのうち前者で3セグメント、後者で2セグメントは2段階以上の改善がみられた。

空腹時では8セグメントが対象となったが、全セグメント1+以上のFDG取り込みがみられ、そのうち6セグメント(75%)に壁運動の改善がみられた。

**【症例呈示】**

症例 11 67歳 男性 (Fig. 3)  
 発症後3か月経過した前壁梗塞。慢性期 CAG

では LAD 7 番に90%狭窄あり。LVG では2番、6番 akinesis, 3番 dyskinesis, EF 46%であった。<sup>201</sup>Tl 運動負荷シンチグラフィでは100Wまで施行して、前壁中隔領域に欠損像を認め、4時間後像でも再分布を認めなかった。しかしFDG-PETを施行したところ同部に糖負荷時で1+, 空腹時で3+のFDG取り込みを認めたため、PTCA施行し成功した。この3か月後CAGとLVG再施行、LADに有意狭窄病変なし、LVGは2番、3番 hypokinesis, EF 67%に改善していた。

症例 18 53歳 男性 (Fig. 4)

発症時期不明の前壁梗塞。CAGではLAD7番に90%狭窄あり。LVGでは2番、3番 dyskinesis,

6番 akinesia, EF 51%であった。糖負荷 FDG-PETにて前壁中隔領域に1+のFDG取り込みを認めたため、LADに対しPTCA施行し成功した。3か月後、LAD 7番は再狭窄なし、LVGは2番、6番 hypokinesia, 3番 akinesia, EF 72%に改善していた。

#### IV. 考案

近年虚血性心疾患の増加とともに、PTCAやCABGなどの冠状動脈形成術が盛んに行われるようになってきており、この適応を決定する上で、心筋 viability 評価の重要性がクローズアップされてきている。これまでは、<sup>201</sup>Tl 運動負荷心筋シンチグラフィの再分布像<sup>31)</sup>や心プールシンチグラフィ・左室造影の壁運動<sup>32)</sup>、心電図上の異常Q波が用いられてきたが<sup>9,10)</sup>、これらの方法では、viabilityを過小評価してしまう欠点が指摘されている<sup>3-5,7,9,10,13,33-39)</sup>。

昨今PETの登場とともに、特にFDGを使用した場合の心筋 viability 評価における有用性が示されつつある<sup>1-14)</sup>。この方法では梗塞領域における血流と糖代謝のミスマッチをviabilityありとするのが一般的となっている<sup>1,2,6,8,9)</sup>。しかし、最近空腹時における心筋FDG分布の不均一性に関する報告も散見されるようになり<sup>15,21,22)</sup>、FDG-PETの撮影方法に関し空腹時が良いか<sup>1,5,6,10,11,13-19)</sup>糖負荷時が良いか<sup>2,3,7-9,20)</sup>、いまだ統一的な見解が得られていない。

そこで今回は虚血性心疾患例について空腹時および糖負荷時のFDG-PET画像を用い、両法の比較をするとともにviability評価における有用性も検討した。

まず空腹時画像の評価では、健常部心筋へのFDG取り込みが抑制される群(A群)と抑制されない群(B群)の二つのタイプに分けられた。両群間で種々のパラメータを比較したが、血清遊離脂肪酸値のみがB群で有意に低値をとった。著者の施設における食事条件は、空腹時は朝食軽量摂取後6時間以上の絶食の場合が多いが、朝食の量は患者の自己申告であり、内容も特に決められて

いない。そのため朝食の内容による影響を受けることも考えられたが、B群には前日の夜からの絶食例が2例含まれており、食事の内容や絶食時間による影響は考えにくい。

B群のような画像の成立する機序として、健常心筋が本来持っているFDG分布の不均一性<sup>15,21,22)</sup>、微小循環の障害による虚血、何らかの代謝異常により脂肪酸代謝が抑制されていることなどが考えられるが、これに関しては今後、健常例とともに症例を積み重ねて検討したい。

B群は例数的にも18例中6例と全体の1/3を占めており、少なくともこのことは空腹時FDG画像は、血清遊離脂肪酸に代表されるような何らかの生体内外の因子に影響される可能性のあることを示している、B群のような症例での空腹時での病態やviability評価には注意が必要と思われる。血清遊離脂肪酸は食事、種々のストレス、運動、体位、温度などの生理的因子のほかカテコラミン<sup>40)</sup>やグルカゴンなどのホルモンや薬剤の影響を受けるとされており<sup>41)</sup>、今後このような因子についても調べ、また再現性について検討するなど、空腹時画像については今後のさらなる検討が必要と思われる。

一方、糖負荷時画像の方は、画質が安定しており、また長時間の空腹を強いられることもないため、患者にとっての負担も少なく有用性が高いと思われた。しかし、糖負荷時画像は嫌気性糖代謝の亢進<sup>4,15)</sup>を直接反映しているわけではなく、この点空腹時画像とは異なる意味を有し、一概に比較できない点もあると考える。

次にviability評価に関するFDG-PETの有用性であるが、糖負荷時でも空腹時でも梗塞部心筋のFDG取り込みが1+以上あれば、冠状動脈形成術後相当な割合の心筋セグメントの壁運動が改善しており、他施設での報告<sup>1-20)</sup>のように同法の有用性は高いと思われた。特に糖負荷時での検討では、術前 akinesia や dyskinesia の部位であっても全セグメントに1+のFDG取り込みがみられ、そのうち術後それぞれ 7/7 (100%)、3/5 (60%) の壁運動が改善しており、この中に二段階壁運動が

改善しているセグメントも見られることは、壁運動による viability 評価が過小評価になりやすい<sup>32,36)</sup>ことを裏づけ、糖負荷法を用いた FDG-PET が、これまで報告されている空腹時同様、心筋 viability 評価に有用であることも示している。このような例は、最近の hibernating myocardium<sup>36,42)</sup> という考え方を支持するものであり、今後このような症例で多方面からの積極的な検討が必要であろう。

他施設ではこれまで血流のトレーサーと FDG の組み合わせにより、viability を判定<sup>1,2,7-9,12-14)</sup>し好成績を得ているが、今回の検討では FDG のみを用いた場合の有用性について検討を試みた。その結果、高率に viability の判定がなされ、この点に関してとくに有用と思われた。今後症例を増やすとともに血流のトレーサーとも組み合わせ検討したい。

著者の FDG 取り込みの評価法は、糖負荷時においては FDG 取り込み量と同時に壁の薄さ・残存心筋量も反映しており、viability 評価においては簡便な方法と思われる。しかし、今回の評価法では部分容積効果<sup>43)</sup>の補正はしていないので、陳旧性心筋梗塞例で壁の菲薄化した例などで、特に糖負荷時、取り込み低下が強調される可能性がある。このような場合、虚血部に特異的に FDG の取り込まれる空腹時画像が診断の助けになると思われる。また今後は、より定量的な評価法が必要と考えられるが、今回用いた fractional uptake は簡便で有用と思われ<sup>17,23,29)</sup>、できるかぎり併用することが望ましいと考える。

空腹時 FDG 画像は A 群では Schelbert<sup>4)</sup> や玉木ら<sup>15)</sup>が述べているように、虚血による糖代謝の亢進を感度よく反映しており、糖負荷時画像とは別の意味での有用性がある。そのためどちらが優れていると論ずるのではなく、PET 検査の目的により糖負荷時、空腹時と使い分けたり、併用したりすることが必要と考える。

われわれは心筋の viability 評価にあたっては、まず患者の負担が少なく画像が安定している糖負荷 FDG-PET を施行し、梗塞部に 1+ 以上の

FDG 取り込みがみられれば viability ありとし、取り込み (一) の場合は、先に述べたような部分容積効果による影響も考えられるので空腹時 FDG-PET を施行すべきであり、また嫌気性糖代謝の亢進を評価する場合は、もちろん空腹時 FDG-PET をと考えている。空腹時 B 群の場合、その意義については不明であるので、この点については今後検討を積み重ねたい。

## V. まとめ

陳旧性心筋梗塞患者 18 例に糖負荷時および空腹時 FDG-PET 検査を施行した。

1. 空腹時 FDG-PET 画像の視覚評価により、健常部心筋の FDG 取り込みが抑制される群 (A 群 12 例) と抑制されない群 (B 群 6 例) に分けられた。

2. B 群では A 群に比し、検査時の血清遊離脂肪酸値が有意に低値であった。

3. この 18 例中 7 例を対象に、冠状動脈形成術を施行し、術前の FDG 取り込みの程度と 3 か月後の壁運動改善の関係を見た。

4. 糖負荷時画像でも空腹時画像でも心腔の血液プールからはっきりと心筋が分離できる程度に FDG 取り込みがみられれば、術後高率に壁運動の改善がみられた。

5. 心筋の viability 評価に FDG-PET は有用と思われた。

本論文の要旨は第 29 回日本核医学会総会、第 56 回日本循環器学会総会にて発表した。

## 文 献

- 1) Tamaki N, Yonekura Y, Yamashita K, Saji H, Magata Y, Senda M, et al: Positron emission tomography using fluorine-18 deoxyglucose in evaluation of coronary artery bypass grafting. *Am J Cardiol* **64**: 860-865, 1989
- 2) Nienaber CA, Brunken RC, Sherman CT, Yeatman LA, Gambhir SS, Krivokapich J, et al: Metabolic and functional recovery of ischemic human myocardium after coronary angioplasty. *J Am Coll Cardiol* **18**: 966-978, 1991
- 3) Brunken RC, Kottou S, Nienaber CA, Schwaiger

- M, Ratib OM, Phelps ME, et al: PET detection of viable tissue in myocardial segments with persistent defects at TI-201 SPECT. *Radiology* **172**: 65-73, 1989
- 4) Schelbert HR: Positron emission tomography for the assessment of myocardial viability. *Circulation* **84** (suppl I): I-122-I-131, 1991
  - 5) Fudo T, Kambara H, Hashimoto T, Hayashi M, Nohara R, Tamaki N, et al: F-18 deoxyglucose and stress N-13 ammonia positron emission tomography in anterior wall healed myocardial infarction. *Am J Cardiol* **61**: 1191-1197, 1988
  - 6) Schwaiger M, Brunken R, Grover-Mckay M, Krivokapich J, Child J, Tillisch JH, et al: Regional myocardial metabolism in patients with acute myocardial infarction assessed by positron emission tomography. *J Am Coll Cardiol* **8**: 800-808, 1986
  - 7) Tillisch J, Brunken R, Marshall R, Schwaiger M, Mandelkern M, Phelps M, et al: Reversibility of cardiac wall-motion abnormalities predicted by positron tomography. *New Engl J Med* **314**: 884-888, 1986
  - 8) Marshall RC, Tillisch JH, Phelps ME, Huang SC, Carson R, Henze E, et al: Identification and differentiation of resting myocardial ischemia and infarction in man with positron computed tomography, F-18 labeled fluorodeoxyglucose and N-13 ammonia. *Circulation* **67**: 766-778, 1983
  - 9) Brunken R, Tillisch J, Schwaiger M, Child JS, Marshall R, Mandelkern M, et al: Regional perfusion, glucose metabolism, and wall motion in patients with chronic electrocardiographic Q wave infarction: evidence for persistence of viable tissue in some infarct regions by positron emission tomography. *Circulation* **73**: 951-963, 1986
  - 10) Hashimoto T, Kambara H, Fudo T, Hayashi M, Tamaki S, Tokunaga S, et al: Non-Q wave versus Q wave myocardial infarction: regional myocardial metabolism and blood flow assessed by positron emission tomography. *J Am Coll Cardiol* **12**: 88-93, 1988
  - 11) 高橋 晶, 飯田秀博, 菅野 巖, 小野幸彦, 宍戸文男, 犬上 篤, 他: 冠動脈血行再建術前後における, 局所心筋血流量およびフルオロデオキシグルコース集積の定量的検討. *核医学* **27**: 227-234, 1990
  - 12) Schwaiger M, Schelbert HR, Ellison D, Hansen H, Yeatman L, Vinten-Johansen J, et al: Sustained regional abnormalities in cardiac metabolism after transient ischemia in the chronic dog model. *J Am Coll Cardiol* **6**: 336-347, 1985
  - 13) 玉木長良, 米倉義晴, 千田道雄, 佐治英郎, 山本和高, 西澤貞彦, 他: 虚血心筋におけるフルオロデオキシグルコースの集積(第2報)——梗塞心筋部の血流および壁運動との比較検討——. *核医学* **24**: 1529-1537, 1987
  - 14) 玉木長良, 米倉義晴, 山下敬司, 千田道雄, 佐治英郎, 山本和高, 他: 虚血心筋におけるフルオロデオキシグルコースの集積(第3報)——冠動脈バイパス術前後での検討——. *核医学* **25**: 413-421, 1988
  - 15) Tamaki N, Yonekura Y, Kawamoto M, Magata Y, Sasayama S, Takahashi N, et al: Simple quantification of regional myocardial uptake of fluorine-18-deoxyglucose in the fasting condition. *J Nucl Med* **32**: 2152-2157, 1991
  - 16) 米倉義晴, 千田道雄, 小出治敏, 佐治英郎, 山本和高, 西澤貞彦, 他: 虚血心筋におけるフルオロデオキシグルコースの集積(第1報)——安静時および運動負荷時心筋血流との比較——. *核医学* **23**: 1361-1367, 1986
  - 17) Spinks TJ, Araujo LI, Camici P: Regional myocardial glucose metabolism in angina pectoris obtained from positron emission tomography. *J Thorac Imag* **3**: 56-63, 1988
  - 18) 高橋 晶, 小野幸彦, 須藤まき子, 新木一弘, 宍戸文男, 上村和夫, 他: 虚血心筋における糖代謝の定量的イメージング. *J Cardiology* **16**: 291-299, 1986
  - 19) 宍戸文男, 飯田秀博, 高橋 晶, 小野幸彦, 上村和夫: ポジトロン CT による心筋の循環代謝. *脈管学* **28**: 1251-1254, 1988
  - 20) Berry JJ, Baker JA, Pieper KS, Hanson MW, Hoffman JM, Coleman RE: The effect of metabolic milieu on cardiac PET imaging using fluorine-18-deoxyglucose and nitrogen-13-ammonia in normal volunteers. *J Nucl Med* **32**: 1518-1525, 1991
  - 21) Lear JL, Ackermann RF: Quantification of patterns of regional cardiac metabolism. *Radiology* **176**: 659-664, 1990
  - 22) Gropler RJ, Siegel BA, Lee KJ, Moerlein SM, Perry DJ, Bergmann SR, et al: Nonuniformity in myocardial accumulation of fluorine-18-fluorodeoxyglucose in normal fasted humans. *J Nucl Med* **31**: 1749-1756, 1990
  - 23) 庭山博行, 吉田勝哉, 加賀谷秋彦, 氷見寿治, 増田善昭, 稲垣義明, 他: FDG ポジトロン CT を用いた心筋 viability の評価——糖負荷と空腹時画像の比較——. *核医学* **27**: 285-288, 1990
  - 24) AHA Committee Report: A reporting system on patients evaluated for coronary artery disease. *Circulation* **51** (News from the American Heart Association): p5, 1975
  - 25) Ehrenkauer RE, Potocki JF, Jewett DM: Simple synthesis of F-18-labeled 2-fluoro-2-deoxy-D-glucose: Concise communication. *J Nucl Med* **25**: 333-337, 1984

- 26) 菅野 巖, 三浦修一, 村上松太郎, 上村和夫, 広瀬佳治, 高橋重和: 高性能ポジトロンエミッショントモグラフ: HEADTOME III. 核医学 **21**: 921-931, 1984
- 27) 三枝健二, 宇野公一, 有水 昇, 植松貞夫: 全身用ポジトロン ECT (HEADTOME-III) の特性. 映像情報 **17**: 143-148, 1985
- 28) Hicks K, Ganti G, Mullani N, Gould KL: Automated quantification of three-dimensional cardiac positron emission tomography for routine clinical use. *J Nucl Med* **30**: 1787-1797, 1989
- 29) Camici P, Araujo LI, Spinks T, Lammertsma AA, Kaski JC, Shea MJ, et al: Increased uptake of  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglucose in postischemic myocardium of patients with exercise-induced angina. *Circulation* **74**: 81-88, 1986
- 30) Yoshida K, Endo M, Fukuda H, Himi T, Kagaya A, Masuda Y, et al: Measurement of arterial activity concentrations in cardiac PET studies. *J Nucl Med* **29**: 941 (abstr), 1988
- 31) Pohost GM, Alpert NM, Ingwall JS, Strauss HW: Thallium redistribution: Mechanisms and clinical utility. *Semin Nucl Med* **10**: 70-93, 1980
- 32) Cabin HS, Clubb KS, Vita N, Zaret BL: Regional dysfunction by equilibrium radionuclide angiocardiology: A clinicopathologic study evaluating the relation of degree of dysfunction to the presence and extent of myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* **10**: 743-747, 1987
- 33) Tamaki N, Ohtani H, Yamashita K, Magata Y, Yonekura Y, Nohara R, et al: Metabolic activity in the areas of new fill-in after thallium-201 reinjection: comparison with positron emission tomography using fluorine-18-deoxyglucose. *J Nucl Med* **32**: 673-678, 1991
- 34) 不藤哲郎, 神原啓文, 橋本哲男, 林 正隆, 玉木長良, 米倉義晴, 他: 運動負荷 Tl-201 心筋シンチグラムの有用性と問題点: ポジトロン CT との対比検討. *J Cardiology* **19**: 1053-1060, 1989
- 35) Bonow RO, Dilisizian V, Cuocolo A, Bacharach SL: Identification of viable myocardium in patients with chronic coronary artery disease and left ventricular dysfunction: comparison of thallium scintigraphy with reinjection and PET imaging with  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglucose. *Circulation* **83**: 26-37, 1991
- 36) Braunwald E, Rutherford JD: Reversible ischemic left ventricular dysfunction: evidence for the "Hibernating myocardium". *J Am Coll Cardiol* **8**: 1467-1470, 1986
- 37) 大谷 弘, 玉木長良, 山下敬司, 米倉義晴, 間賀田泰寛, 佐治英郎, 他: 運動負荷  $^{201}\text{Tl}$  心筋 SPECT の定量解析法による心筋 viability の再評価——FDG-PET との対比検討——. 核医学 **26**: 1389-1398, 1989
- 38) Tamaki N, Yonekura Y, Yamashita K, Senda M, Saji H, Hashimoto T, et al: Relation of left ventricular perfusion and wall motion with metabolic activity in persistent defects on thallium-201 tomography in healed myocardial infarction. *Am J Cardiol* **62**: 202-208, 1988
- 39) 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
- 40) Merhige ME, Ekas R, Mossberg K, Taegtmeier H, Gould KL: Catecholamine stimulation, substrate competition, and myocardial glucose uptake in conscious dogs assessed with positron emission tomography. *Circulation Research* **61** (suppl II): II-124-II-129, 1987
- 41) 菊地三郎, 大石誠子: 臨床検査 MOOK No. 4 血清脂質, 山中 學, 村地 孝, 林 康之編, 金原出版, 東京, 1980, pp. 47-58
- 42) Rahimtoola SH: The hibernating myocardium. *Am Heart J* **117**: 211-221, 1989
- 43) Hoffman EJ, Huang S, Phelps ME: Quantitation in positron computed tomography: 1. Effect of object size. *J Comput Assist Tomogr* **3**: 299-308, 1979

## Summary

### Usefulness of $^{18}\text{F}$ -Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography for Evaluating Myocardial Viability in Old Myocardial Infarction

Hiroyuki NIWAYAMA, Katsuya YOSHIDA, Yoshiaki MASUDA  
and Yoshiaki INAGAKI

*Third Department of Internal Medicine, Chiba University School of Medicine, Chiba, Japan*

The purpose of this study is to compare the characteristics of images obtained by positron emission tomography (PET) using  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglucose (FDG) in the fasted state (>6 hours) and in the glucose-loaded state (oral 50 g glucose load). In the both condition FDG-PET were performed in 18 cases with old myocardial infarction.

PET images in the fasted state were divided into 2 groups (Group A; 12 cases and Group B; 6 cases). FDG uptake of normal region was visually absent (grade 0) in group A, whereas it was visually apparent (grade 1-3) in group B. Serum free fatty acid in group B was significantly

lower than that in group A.

In the 7 cases, the relation between myocardial FDG uptake of the infarcted regions and reversibility after coronary intervention was studied. Both in the fasted and in the glucose-loaded state, postoperative improvement was observed in the segments, in which myocardial uptake of FDG were visually apparent (glucose-loaded state, 11/13 segments; fasted state, 6/8 segments). Therefore FDG-PET images appeared to be useful for evaluating myocardial viability.

**Key words:**  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglucose, Positron emission tomography, Glucose-loaded state, Fasted state, Myocardial viability.