

Perfusion MRI による心筋虚血の評価 —^{99m}Tc-tetrofosmin を用いた心筋 SPECT との比較検討—

荻野義信¹, 吉岡邦浩², 上嶋健治¹

¹岩手医科大学内科学第二講座 ²同放射線医学講座

はじめに

従来, 虚血性心疾患症例の虚血心筋や生存心筋の評価には負荷心筋 SPECT (single photon emission computed tomography) が用いられてきた^{1),2)}. しかし, 心筋 SPECT は空間分解能が低く, コリメータからの距離が遠くなる後下壁領域の心筋虚血の有無の診断能が低いという問題がある. 一方, 近年登場した心筋 perfusion MRI (以下, perfusion MRI) でも虚血性心疾患の評価が可能となり, 心筋 SPECT と比較して空間分解能が高く被曝がないという利点があることから, 心筋虚血の検出に用いられ始めている. これまでの報告によれば perfusion MRI は感度, 特異度も心筋 SPECT と比較して同等, あるいはそれ以上とされている^{3)~9)}. しかし, これまでの報告は²⁰¹Tl (以下, Tl) などを用いた負荷心筋 SPECT と perfusion MRI の比較による心筋虚血判定精度を検討したものであり, 我々の知る限り^{99m}Tc-tetrofosmin (以下, Tc) を用いた心筋 SPECT と比較検討した報告はない.

今回, 我々は, perfusion MRI と Tc 心筋 SPECT の梗塞心筋の診断精度, dipyridamole 負荷 Tc 心筋 SPECT による虚血心筋の診断精度を病変枝別に比較検討し, perfusion MRI が

虚血性心疾患の評価に有用か否かを検討した. さらに内胸動脈を用いた冠動脈バイパス術後早期のグラフト開存評価にも応用し, その有用性について検討した.

対 象

虚血性心疾患と診断され, 2002 年 3 月 15 日から 2004 年 6 月 30 日までに perfusion MRI と心臓カテーテル検査および Tc 心筋 SPECT を施行された連続症例 36 症例 (非冠動脈バイパス症例 30 例, 冠動脈バイパス症例 6 例) を対象とした.

梗塞心筋の判定では, 非冠動脈バイパス症例で遅延造影を含む perfusion MRI と安静時 Tc 心筋 SPECT および左室造影 (left ventriculography: LVG) が施行された 28 症例 (男性 21 例, 女性 7 例, 平均年齢 64.3 歳) を評価した.

虚血心筋の判定では, 非冠動脈バイパス症例で, 遅延造影を含む perfusion MRI と dipyridamole 負荷 Tc 心筋 SPECT および冠動脈造影 (coronary angiography: CAG) を施行した 22 例 (男性 18 例, 女性 4 例, 平均年齢 64.5 歳) を評価した. なお梗塞心筋と虚血心筋の判定では, MRI と Tc 心筋 SPECT および心臓

キーワード myocardial ischemia, ischemic heart disease, myocardial perfusion magnetic resonance imaging, single photon emission computed tomography, ^{99m}Tc-tetrofosmin

カテーテル検査の3検査は、一つ目の検査施行日から24日以内に終了した。

冠動脈バイパス症例は術後早期に遅延造影を含む perfusion MRI（術後8～23日、平均15.5日）と dipyridamole 負荷 Tc 心筋 SPECT（術後8～13日、平均10.0日）およびグラフト造影（術後14日～24日、平均19.3日）を含む CAG を行った6例（男性5例、女性1例、平均年齢62.0歳）を評価した。なお、対象群の臨床的背景因子は Table 1 に示した。

撮像方法

MRI 撮像に使用した装置は GE 社製 Signa Horizon LX (1.5T) で、負荷像、安静時像、遅延造影の3種類の画像を心臓用 four-channel phased-array coil を用いて撮像した。負荷像、安静時像の pulse sequence は FASTCARD-ET 法 (TR 6.9 ms, TE 1.4 ms, FA 25°) で、

FOV = 30 cm, matrix = 128 × 128, slice 厚 = 10 mm で撮像した。遅延造影の pulse sequence は inversion recovery fast gradient echo 法 (TR 7.4 ms, TE 3.3 ms, FA 20°) で、FOV = 30 cm, matrix = 256 × 128, slice 厚 = 10 mm で撮像した。なお TI は 200～260 ms の範囲で正常心筋が無信号になるように設定した。

- ① 負荷像：Dipyridamole 0.56 mg/kg を4分かけて静注し、3分後に gadopentetate dimeglumine (Magnevist®: Schering, Berlin, Germany) 0.05 mmol/kg を4 ml/s で静注しながら、同時に造影剤の first-pass で心基部から心尖部の左心室短軸像を7から8枚撮像した。
- ② 安静時像：負荷像撮像後に、aminophylline 125 mg を5分かけて静注し、8分後に負荷像と同様の方法で撮像した。
- ③ 遅延造影像：安静時像撮像から約20分後に左心室短軸像と長軸像を撮像した。

Table 1. Baseline Clinical Characteristics of the Studying Subjects

Reviewing contents	Non-CABG group		CABG group
	Myocardial infarction	Myocardial ischemia	Graft Patency
No. of cases	28	22	6
Age (years)	64 ± 20	65 ± 20	62 ± 14
HTN	27	21	4
HL	15	13	2
DM	10	9	4
M/F	21/7	18/4	5/1
History of previous MI	10	7	0
LAD territory	5	3	0
LCX territory	2	1	0
RCA territory	3	3	0

CABG = coronary artery bypass graft, M = male, F = female, MI = myocardial infarction, HTN = hypertension, HL = hyperlipidemia, DM = diabetes mellitus, LAD = left anterior descending branch, LCX = left circumflex branch, RCA = right coronary artery

一方, Tc 心筋 SPECT 撮像には, GE 横河社製の Optima NX™ Right Angle 型の 2 検出器シンチレーションカメラを用い, 低エネルギー高分解能コリメータで, 10 度ごと, 1 方向 30 秒で 32 方向より画像収集した. Dipyridamole 負荷像の撮像には, dipyridamole 負荷像と安静時像を同日中に撮像する一日法で行い, dipyridamole 負荷像を安静時像に先行させて撮像した.

- ① Dipyridamole 負荷像 : Dipyridamole 0.56 mg/kg を 4 分かけて静注し, その 3 分後に Tc を 296 MBq 静注し, その 30 分後から撮像を開始した.
- ② 安静時像 : Dipyridamole 負荷像の撮像から約 4 時間後に Tc を 740 MBq 静注し, その 30 分後から撮像を開始した.

評価方法

Perfusion MRI : 最初に, 遅延造影で濃染された範囲を梗塞心筋と判定した (Fig. 1a) 次に, dipyridamole 負荷像 (Fig. 1b) と安静時像 (Fig. 1c) を比較し, dipyridamole 負荷像のみに灌流低下を認める部位を心筋虚血陽性と判定した. なお perfusion MRI での梗塞心筋と虚血心筋の判定は, 循環器内科医 2 名, 放射線科医 1 名で読影し, 2 名以上の合意をもって決定した.

Tc 心筋 SPECT : SPECT 断層像の安静時像で Tc の取り込み低下領域と取り込み欠損領域を梗塞心筋と判定した. 次に, dipyridamole 負荷像と安静時像を比較し, dipyridamole 負荷像のみに Tc の取り込み低下と取り込み欠損を認めた領域を虚血心筋と判定した. なお, 梗塞心筋および虚血心筋の判定は, 経験を積んだ循環器内科医 3 名で読影し, 2 名以上の合意をもって決定した.

梗塞心筋の判定では LVG で左室壁運動低下, 無収縮, 収縮期奇異性運動と判定された部位を梗塞心筋と判定した. 虚血心筋とグラフト

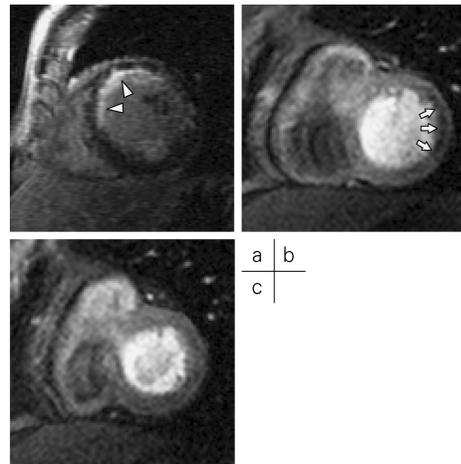


Fig. 1.
 a) The delayed enhance image (axial image)
 This image shows subendocardial infarction (arrowheads).
 b) The perfusion stress image (axial image)
 This image shows subendocardial perfusion defect (arrows).
 c) The perfusion resting image (axial image)
 This image has no perfusion defect.

開存の判定では, CAG 上 AHA 分類の 75% 以上の狭窄が存在し, LVG 上その支配領域が正常壁運動, 壁運動低下と判定された場合のみを心筋虚血陽性とした. LVG 上無収縮, 収縮期奇異性運動と判定された部位は, 冠動脈に 75% 以上の狭窄が存在しても同部位は梗塞心筋と考えて心筋虚血陰性と判定した (Table 2). この結果を gold standard とし perfusion MRI と Tc 心筋 SPECT の結果から, 両検査の各々の感度, 特異度, 正診率を算出した. (Table 3, Table 4)

結果

- 1) 非冠動脈バイパス症例の梗塞心筋診断精度 (Table 3)

LVG 上 28 症例で 30 領域に梗塞を認めた. この群の平均病変枝数は 1.6 枝で, 左前下行枝

Table 2. Results on Cardiac Catheterization of the Studying Subjects

Reviewing contents	Non-CABG group		CABG group
	Myocardial infarction	Myocardial ischemia	Graft Patency
No. of left ventricular asynergic area	30	24	—
LAD territory	16	10	—
LCX territory	6	6	—
RCA territory	8	8	—
No. of stenosed coronary vessels	34	32	13
LAD	18	11	6
LCX	17	13	3
RCA	9	8	4
No. of bypass graft	—	—	2 ± 1
Graft to LAD (patent/stenosis)	—	—	4/2
Graft to LCX (patent/stenosis)	—	—	4/0
Graft to RCA (patent/stenosis)	—	—	2/0

CABG = coronary artery bypass graft, LAD = left anterior descending branch, LCX = left circumflex branch, RCA = right coronary artery

Table 3. Sensitivity, Specificity and Accuracy for Detecting Myocardial Infarcted Area

	Delayed enhance MRI		Resting Tc SPECT		p value
	No.	%	No.	%	
Sensitivity					
LAD	10/16	63	6/16	38	ns
LCX	4/6	67	1/6	17	0.08
RCA	6/8	75	5/8	63	ns
Total	20/30	67	12/30	40	0.04
Specificity					
LAD	12/12	100	12/12	100	ns
LCX	21/22	95	22/22	100	ns
RCA	19/20	95	18/20	90	ns
Total	52/54	96	52/54	96	ns
Accuracy					
LAD	22/28	79	18/28	64	ns
LCX	25/28	89	23/28	82	ns
RCA	25/28	89	23/28	82	ns
Total	72/84	86	64/84	76	ns

Tc = ^{99m}Tc-tetrofosmin, SPECT = single photon emission computed tomography, LAD = left anterior descending branch, LCX = left circumflex branch, RCA = right coronary artery

Table 4. Sensitivity, Specificity and Accuracy for Detecting Myocardial Ischemia Area

	Perfusion MRI		DIP stress Tc SPECT		p value
	No.	%	No.	%	
Sensitivity					
LAD	9/11	82	6/11	55	ns
LCX	7/13	54	4/13	31	ns
RCA	5/8	63	3/8	38	ns
Total	21/32	66	13/32	41	0.05
Specificity					
LAD	10/11	91	10/11	91	ns
LCX	9/9	100	9/9	100	ns
RCA	13/14	93	14/14	100	ns
Total	32/34	94	33/34	97	ns
Accuracy					
LAD	19/22	86	16/22	73	ns
LCX	16/22	73	13/22	59	ns
RCA	18/22	82	17/22	77	ns
Total	53/66	80	46/66	70	ns
Areas without asynergy in LVG					
Sensitivity	12/17	70	10/17	59	ns
Specificity	27/27	100	27/27	100	ns
Accuracy	39/44	89	37/44	84	ns
Areas with asynergy in LVG					
Sensitivity	9/15	60	4/15	27	0.07
Specificity	4/7	57	6/7	86	ns
Accuracy	13/22	59	10/22	45	ns

DIP = dipyridamole, Tc = ^{99m}Tc-tetrofosmin, SPECT = single photon emission computed tomography, LAD = left anterior descending branch, LCX = left circumflex branch, RCA = right coronary artery, LVG = left ventriculography

(left anterior descending branch : LAD) 病変が 18 例, 左回旋枝 (left circumflex branch : LCX) が 17 例, 右冠動脈 (right coronary artery : RCA) 病変が 9 例であった。遅延造影 MRI の感度は 67% で, Tc 心筋 SPECT の 40% に比べて高かった (p=0.04)。病変枝別の検討では LAD 領域と RCA 領域では診断精度に差を認めなかったが, LCX 領域では遅延造影 MRI の感度が 67% で, Tc 心筋 SPECT の 17% に比べて高い傾向にあった (p=0.08)。

2) 非冠動脈バイパス症例の虚血心筋診断精度 (Table 4)

CAG 上 22 症例で 32 領域に虚血心筋を認めた。この群の平均病変枝数は 1.5 枝で, LAD 病変が 11 例, LCX 病変が 13 例, RCA 病変が 8 例であった。また, この群で LVG 上, 壁運動異常と判定された領域は 24 領域 (壁運動低下領域 = 18, 無収縮領域 = 4, 収縮期奇異性運動領域 = 2) であった。Perfusion MRI の感度は 66% で, dipyridamole 負荷 Tc 心筋 SPECT

の41%に比べて高かった ($p=0.05$). なお、この群をLVGでの壁運動異常の有無で解析すると、正常壁運動領域では perfusion MRI と dipyridamole 負荷 Tc 心筋 SPECT で感度 (70% vs 59%, ns), 特異度 (100% vs 100%, ns), 正診率 (89% vs 84%, ns) に差を認めなかったのに対し、壁運動異常領域では perfusion MRI の感度は60%で、dipyridamole 負荷 Tc 心筋 SPECT の27%に比べて高い傾向にあった ($p=0.07$). 壁運動異常領域での特異度 (57% vs 86%, ns), 正診率 (59% vs 45%, ns) には差を認めなかった.

3) 冠動脈バイパス症例のグラフト開存診断精度 (Table 5)

6症例で12本のグラフト中の2本に狭窄を認めた. この群の平均グラフト本数は1.9本で、LAD領域が6本、LCX領域が3本、RCA領域が4本であった. Perfusion MRI の特異度と正診率は各々90%と83%で、dipyridamole 負荷 Tc 心筋 SPECT の50%と50%に比べて特異度 ($p=0.05$) と正診率 ($p=0.08$) が高い傾向にあった. 次に冠動脈バイパス術後早期に dipyridamole 負荷 Tc 心筋 SPECT で血行再建領域の心筋虚血が疑われ、perfusion MRI で血行再建領域に心筋虚血を認めず、術後のグラフト造影でもグラフトの開存が証明された症例を提示した.

症例1

56歳、女性で労作性狭心症の診断で当院に

入院した. CAGでLADの中枢側 (#6)に99%, RCAの中枢側 (#1)に99%, RCAの末梢 (#4AV, #4PD)に各々75%, 90%の狭窄を認めたため冠動脈バイパス手術が施行された. 内胸動脈グラフトは左内胸動脈グラフトを第2対角枝 (#9-2)に側々吻合, LAD末梢側 (#8)に端側吻合した. 左内胸動脈グラフトに右内胸動脈を端側吻合して composite graft とし, 右内胸動脈をRCAの末梢 (#4AV, #4PD)に側々吻合, 端側吻合した. 術後の dipyridamole 負荷 Tc 心筋 SPECT では左室前壁と中隔に fill-in を認めた (Fig. 2). しかし, 術後の perfusion MRI では左室心筋に虚血心筋を認めなかった (Fig. 3). 術後のグラフト造影では, 内胸動脈グラフトに狭窄を認めなかった (Figs. 4, 5).

症例2

65歳、男性で労作性狭心症の診断で当院に入院した. CAGでLADの中枢側 (#7)に閉塞を認めたため冠動脈バイパス手術が施行された. 内胸動脈グラフトは左内胸動脈グラフトをLAD末梢側 (#8)に端側吻合した. 術後の dipyridamole 負荷 Tc 心筋 SPECT では左室前壁に fill-in を認めた (Fig. 6). しかし, 術後の perfusion MRI では左室心筋に虚血心筋を認めなかった (Fig. 7). 術後のグラフト造影では, 内胸動脈グラフトに狭窄を認めなかった (Figs. 8, 9).

Table 5. Sensitivity, Specificity and Accuracy for Graft Patency

	Perfusion MRI		DIP stress Tc SPECT		p value
	No.	%	No.	%	
Sensitivity	1/2	50	1/2	50	ns
Specificity	9/10	90	5/10	50	0.05
Accuracy	10/12	83	6/12	50	0.08

DIP = dipyridamole, Tc = ^{99m}Tc -tetrofosmin, SPECT = single photon emission computed tomography

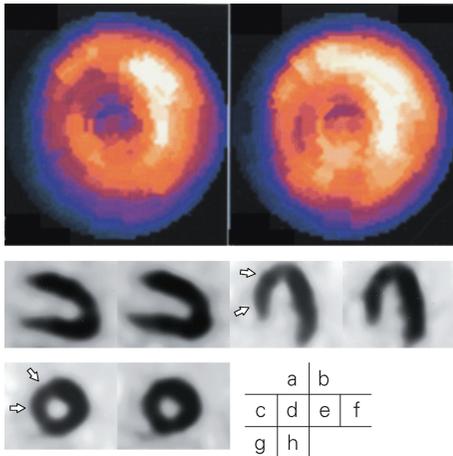


Fig. 2.
 a), c), e), g) Dipyridamole stress Tc SPECT (single photon emission computed tomography)
 b), d), f), h) Resting Tc SPECT
 The stress images show hypoperfusion in antero-septal wall (arrow).
 The resting images show normal perfusion of resting Tc SPECT.

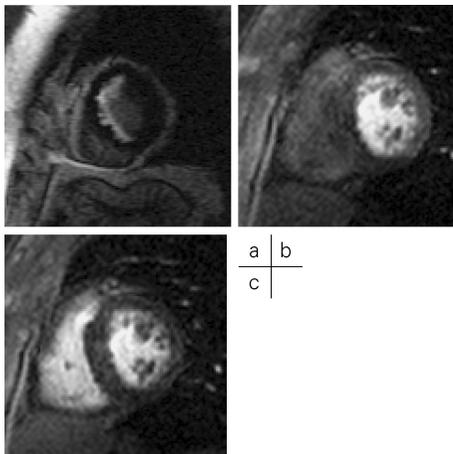


Fig. 3.
 a) Delayed enhance image (axial image)
 This image shows subendocardial infarction of antero-septal wall.
 b) Perfusion stress image (axial image)
 This image has no perfusion defect.
 c) Perfusion rest image (axial image)
 The similar image to the perfusion stress image is obtained.

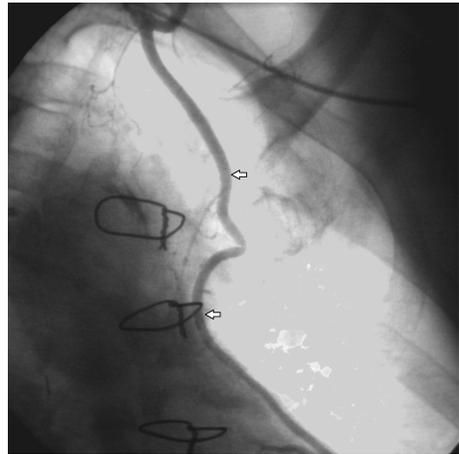


Fig. 4. LITA (left intrathoracic artery) on graft angiography

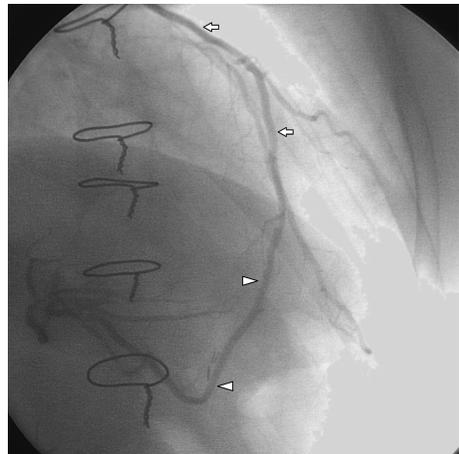


Fig. 5. LITA and composite RITA (right intrathoracic artery) view on graft angiography
 Figures 4 and 5 show that LITA graft (arrows) and composite RITA graft (arrow heads) is patent.

考 察

1. 梗塞心筋の評価について

MRI の遅延造影で造影効果を示す心筋は、動物実験からその組織学的梗塞所見とほぼ一致

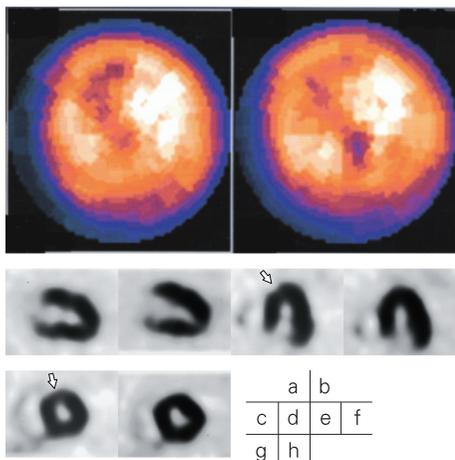


Fig. 6.
 a), c), e), g) Dipyridamole stress Tc SPECT (single photon emission computed tomography)
 b), d), f), h) Resting Tc SPECT
 The stress images show hypoperfusion in anterior wall (arrow).
 The resting images show normal perfusion of resting Tc SPECT.

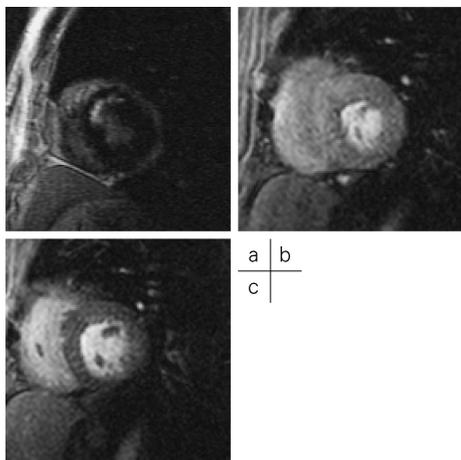


Fig. 7.
 a) Delayed enhance image (axial image)
 This image shows subendocardial infarction of antero-septal wall.
 b) Perfusion stress image (axial image)
 This image has no perfusion defect.
 c) Perfusion rest image (axial image)
 The similar image to the perfusion stress image is obtained.

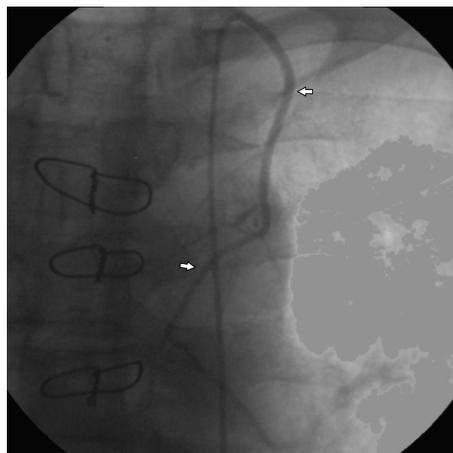


Fig. 8. LITA (left intrathoracic artery) on graft angiography

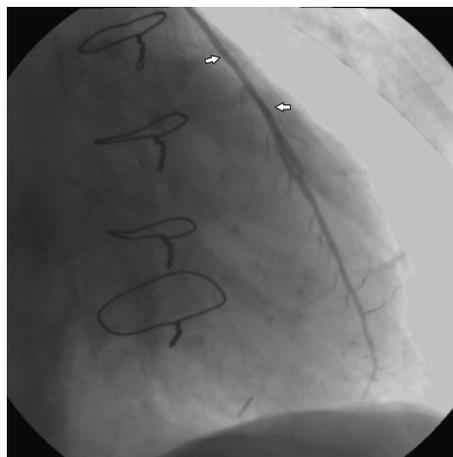


Fig. 9. LITA (left intrathoracic artery) on graft angiography
 Figures 8 and 9 show that LITA graft (arrows) is patent.

することが知られている¹⁰⁾。また、遅延造影を含む perfusion MRI は、急性心筋梗塞で^{99m}Tc ピロリン酸と Tl を用いた dual 心筋 SPECT との梗塞心筋診断精度の比較検討でも有用性が示されている¹¹⁾。本研究の perfusion MRI を用いた非冠動脈バイパス症例の梗塞心筋診断精度

は Tc 心筋 SPECT と比べて MRI が高い傾向にあった。MRI は SPECT と比較し、高い空間解像度を有しており、同定が容易な貫壁性梗塞のみならず同定が比較的困難な心内膜下梗塞も検出し得たために梗塞部診断能が高かったと考えられた。冠動脈領域別の検討では、LCX 領域で遅延造影 MRI の感度が Tc 心筋 SPECT に比べて高い傾向にあった。Tc 心筋 SPECT では Tc の肝臓への集積や、コリメータからの距離が遠いなどの理由から後下壁領域の診断精度が低いとされている¹²⁾。一方、MRI は心臓と肝臓の視覚的分離が可能であり、撮像上の弱点となる領域がないことから、Tc 心筋 SPECT より優れた診断能を示したと考えられた。

2. 虚血心筋の評価について

従来の報告では、心筋虚血判定精度は、perfusion MRI と Tl を用いた負荷心筋 SPECT の比較では、perfusion MRI が優位とされていた¹³⁾。一方、核種として、Tc は Tl に比べ放出エネルギーが SPECT に適しており、高画質が期待され診断能も高いとされている^{14)~17)}。しかし、Tc を用いた薬物負荷心筋 SPECT と perfusion MRI の虚血心筋診断精度を比較検討した報告はない。今回の検討では、perfusion MRI の診断能は Tl 心筋 SPECT に診断能が勝るとされている Tc 心筋 SPECT よりも優れていた。この原因の一つに dipyridamole 負荷 Tc 心筋 SPECT の診断能が過去の報告に比べて低いことが考えられた。特に壁運動異常のある群での dipyridamole 負荷 Tc 心筋 SPECT の感度が perfusion MRI と比べて低い傾向にあった。今回の検討では CAG 上虚血と判定された 32 領域のうち 15 領域が壁運動異常、すなわち心内膜下梗塞を合併しており、perfusion MRI では、遅延造影像で壁運動異常がある部位を心筋内膜側の梗塞と判定し、dipyridamole 負荷像と安静時像を比較して梗塞範囲よりも広い心筋虚血を陽性と判定できた部位が多かった。これに対し dipyridamole 負荷 Tc 心筋 SPECT は

同部位を梗塞心筋とのみ判定し、心筋虚血については偽陰性と判定されることが多かった。また、dipyridamole 負荷 Tc 心筋 SPECT では LCX 病変の診断能は、心筋梗塞を合併しない例においても最も低いとされている^{18),19)}。今回対象とした症例では LCX を責任病変とするものが最も多く (13/32)、これが dipyridamole 負荷 Tc 心筋 SPECT の診断能を低下させた可能性もある。

3. 内胸動脈グラフト開存性の評価について

内胸動脈バイパス術後の評価を dipyridamole 負荷 Tc 心筋 SPECT で行う場合、術後早期には、しばしば心筋虚血の判定で偽陽性を示す場合があることが知られている²⁰⁾。Tc 心筋 SPECT での偽陽性は、術後早期の内胸動脈グラフトは血流予備能が小さく、dipyridamole 負荷ではグラフト灌流領域の心筋虚血として評価されるためと考えられている²¹⁾。すなわち、内胸動脈グラフトの血流量は dipyridamole 負荷後に増加するが、術後早期では正常灌流域と比較してその増加量が少ない。この血流増加量の差が正常灌流域との相対的な取り込み低下として現れると考えられている。しかし、このような偽陽性は内胸動脈グラフトの内径の発達に伴い、術後 2 年以降の遠隔期には消失すると報告されている²²⁾。今回の検討では、冠動脈バイパス症例の perfusion MRI で特異度と正診率は dipyridamole 負荷 Tc 心筋 SPECT に比べて高い傾向にあった。この差異は撮像法の違いが原因と考えられる。すなわち perfusion MRI は gadopentetate dimeglumine 静注直後の first-pass 像を秒単位で撮像するのに対して、Tc 心筋 SPECT では Tc を静注し、Tc が早期に心筋へ集積した像を数十分後に撮像している。したがって、perfusion MRI は造影剤の通過状態の観察であるが、Tc 心筋 SPECT は心筋を灌流した血流の評価である。グラフト開存判定の gold standard に用いたグラフト造影も造影剤の first-pass を撮像しており、perfusion MRI 同様に狭窄の有無を視覚的

に評価している。このような撮像法の違いが Tc 心筋 SPECT と perfusion MRI の精度の差になった可能性が高い。ただ、最近では Tc 心筋 SPECT 撮像時に心電図同期による画像収集が可能である。これにより血流イメージだけで心機能を評価することが可能なため、梗塞や虚血評価の精度が上昇する可能性がある。

結 語

遅延造影を含む心筋 perfusion MRI を用いた虚血性心疾患の評価は、^{99m}Tc-tetrofosmin 心筋 SPECT と比較して、梗塞心筋と虚血心筋の診断精度では感度に優れており、冠動脈バイパス症例の内胸動脈グラフト開存の診断精度は特異度と正診率に優れる傾向にあった。

以上より、心筋 perfusion MRI は虚血性心疾患の評価に有用と考えられた。

謝 辞

稿を終えるに当たり、本研究の機会を与えていただき、終始、御指導と御校閲を賜りました岩手医科大学内科学第二講座、平盛勝彦教授と放射線医学講座、江原茂教授に深謝いたします。

また、研究に協力頂いた岩手医科大学内科学第二講座西山理先生、山崎琢也先生、那須和広先生、岩手医科大学附属循環器医療センター心臓核医学検査室と放射線室の方々に心より御礼申し上げます。

文 献

- 1) 西村恒彦, 延吉正清: ^{99m}Tc-tetrofosmin を用いた心筋 SPECT の臨床応用: 全国多施設による共同研究. 核医学 1995; 32: 1007-1021
- 2) Rigo P, Bailey IK, Griffith LS, Pitt B, Burow RD, Wagner HN Jr, Becker LC: Value and limitations of segmental analysis of stress thallium myocardial imaging for localization of coronary artery disease. Circulation 1980; 61: 973-981
- 3) Wilke NM, Jerosch-Herold M, Zenovich A, Stillman AE: Magnetic resonance first-pass myocardial perfusion imaging: clinical validation and future applications. J Magn Reson Imaging 1999; 10: 676-685
- 4) 高瀬凡平, 永田雅良, 木原照敏, 亀山 晃, 野矢久美子, 石原雅之, 大鈴木孝: 心筋血流, viability 評価. 日磁医誌 2003; 23: 166-180
- 5) 北川覚也, 佐久間肇, 竹田 寛, 上村祥子, 本康宗信, 中野 昶: 虚血性心疾患における心臓 MRI 検査. 臨放 2004; 49: 49-61
- 6) Gerber TC, Fasseas P, Lennon RJ, Valeti VU, Wood CP, Breen JF, Berger PB: Clinical safety of magnetic resonance imaging early after coronary artery stent placement. J Am Coll Cardiol 2003; 42: 1295-1298
- 7) Eichenberger AC, Schuiki E, Kochli VD, Amann FW, McKinnon GC, von Schulthess GK: Ischemic heart disease: assessment with gadolinium-enhanced ultrafast MR imaging and dipyridamole stress. J Magn Reson Imaging 1994; 4: 233-231
- 8) Ishida N, Sakuma H, Motoyasu M, Okinaka T, Isaka N, Nakano T, Takeda K: Noninfarcted myocardium: correction between dynamic first-pass contrast-enhanced myocardial MR imaging and quantitative coronary angiography. Radiology 2003; 229: 209-216
- 9) Giang TH, Nanz D, Coulden R, Friedrich M, Graves M, Al-Saadi N, Luscher TF, von Schulthess GK, Schwitter J: Detection of coronary artery disease by magnetic resonance myocardial perfusion imaging with various contrast medium doses: first European multi-center experience. Eur Heart J 2004; 25: 1657-1665
- 10) Kim RJ, Fieno DS, Parrish TB, et al.: Relationship of MRI delayed contrast enhancement to irreversible injury, infarct age, and contractile function. Circulation 1999; 100: 1992-2002
- 11) 馬渡耕史, 大野 朗, 川畑晴朗, 福岡雅彦: 急性心筋梗塞における Gd-DTPA 造影 MRI の有用性. 心臓 2003; 35: 91-101
- 12) 大嶽 達, 佐々木康人, 濱田希臣, 他: 各心筋製剤における典型正常例と注意すべき正常例: 心臓核医学ワーキンググループ共動研究報告. 核医学 1997; 34: 837-849

- 13) Keijer JT, van Rossum AC, van Eenige MJ, Bax JJ, Visser FC, Teule JJ, Visser CA : Magnetic resonance imaging of regional myocardial perfusion in patients with single-vessel coronary artery disease : quantitative comparison with ²⁰¹Thallium-SPECT and coronary angiography. *J Magn Reson Imaging* 2000 ; 11 : 607-615
- 14) Kiat H, Maddahi J, Roy LT, Van Train K, Friedman J, Resser K, Berman DS : Comparison of technetium 99m methoxy isobutyl isonitrile and thallium 201 for evaluation of coronary artery disease by planar and tomographic methods. *Am Heart J* 1989 ; 117 : 1-11
- 15) Taillefer R, DePuey EG, Udelson JE, Beller GA, Latour Y, Reeves F : Comparative diagnostic accuracy of Tl-201 and Tc-99m sestamibi SPECT imaging (perfusion and ECG-gated SPECT) in detecting coronary artery disease in women. *J Am Coll Cardiol* 1997 ; 29 : 69-77
- 16) Tamaki N, Takahashi N, Kawamoto M, Torizuka T, Tadamura E, Yonekura Y, Okuda K, Nohara R, Sasayama S, Konishi J : Myocardial tomography using technetium-99m-tetrofosmin to evaluate coronary artery disease. *J Nucl Med* 1994 ; 35 : 594-600
- 17) Zaret BL, Rigo P, Wackers FJ, et al : Myocardial perfusion imaging with ^{99m}Tc tetrofosmin. Comparison to ²⁰¹Tl imaging and coronary angiography in a phase III multicenter trial. Tetrofosmin International Trial Study Group. *Circulation* 1995 ; 91 : 313-319
- 18) Fukuzawa S, Ozawa S, Inagaki M, Inoue T, Morooka S, Sugioka J : Tc-99m tetrofosmin myocardial perfusion SPECT after dipyridamole combined with low-level exercise in the diagnosis of coronary artery disease. *Ann Nucl Med* 1996 ; 10 : 231-235
- 19) He ZX, Iskandrian AS, Gupta NC, Verani MS : Assessing coronary artery disease with dipyridamole technetium-99m-tetrofosmin SPECT : a multicenter trial. *J Nucl Med* 1997 ; 38 : 44-48
- 20) 山住令子, 小林秀樹, 浅野竜太, 百瀬 満, 堀江俊伸, 日下部きよ子, 細田瑛一 : 内胸動脈を用いた負荷心筋シンチグラフィによるグラフト開存性の評価 : グラフトが開存しているにもかかわらず出現する再分布所見の検討. *核医学* 1995 ; 32 : 271-279
- 21) 松村憲太郎, 中瀬恵美子, 斎藤孝行, 橘川信忠, 原口隆志 : 冠動脈バイパス症例のグラフト血流量と心筋灌流との関連性 : グラフト DSA と²⁰¹Tl心筋シンチグラフィによる評価. *核医学* 1996 ; 33 : 131-141
- 22) 池上晴彦, 小林秀樹, 百瀬 満, 他 : 内胸動脈グラフトが開存しているにもかかわらず出現する再分布所見 : 経時的変化の検討. *臨床核医学* 1998 ; 31 : 2-5

Evaluation of the Myocardial Ischemia by Perfusion MRI : Comparison with ^{99m}Tc-tetrofosmin SPECT

Yoshinobu OGINO¹, Kunihiro YOSHIOKA², Kenji UESHIMA¹

¹Second Department of Internal Medicine, ²Department of Radiology, Memorial Heart Center,
Iwate Medical University
19-1 Uchimaru, Morioka, Iwate 020-8505

In this article the effectiveness of myocardial perfusion MRI (p-MRI) in assessing ischemic lesions in patients with heart disease is compared to Tc myocardial SPECT (Tc-SPECT). The usefulness of p-MRI in the assessment of bypass graft patency in the early stages after coronary artery bypass graft (CABG) is also examined. Thirty-six consecutive patients, 30 without CABG and 6 undergoing CABG, underwent p-MRI, Tc-SPECT and cardiac catheterization. The infarcted area was assessed in 28 patients through p-MRI, resting Tc-SPECT, and LVG (left ventriculography). Myocardial ischemia was seen in 22 patients by p-MRI, dipyridamole stress Tc-SPECT, and CAG (coronary angiography). Bypass graft patency was seen in 6 patients by p-MRI, dipyridamole stress Tc-SPECT, and graft angiography. The infarcted area was defined by left ventricle (LV) wall hypokinesis, akinesis, and dyskinesis using LVG. The myocardial ischemia was defined by normokinesis or hypokinesis with an artery stenosis of more than 75%. Graft patency was defined by a stenosis of less than 75%. Using these parameters the sensitivity, specificity, and accuracy of both methods were calculated.

In the detection of the infarcted area, p-MRI was more sensitive than Tc-SPECT in the whole coronary territories (67% vs. 40%, $p = 0.04$) and in the left circumflex branch territory (67% vs. 17%, $p = 0.08$). For the detection of myocardial ischemia, p-MRI was more sensitive than Tc-SPECT in the whole coronary territories (63% vs. 41%, $p = 0.05$). For the detection of bypass graft patency, p-MRI was more specific than Tc-SPECT (90% vs. 50%, $p = 0.05$) and also more accurate (83% vs. 50%, $p = 0.08$).

In conclusion, p-MRI with or without CABG is more useful in evaluating ischemic heart disease than Tc-SPECT. This is due to the sensitivity of p-MRI in the detection of both the infarcted area and myocardial ischemia.