

## 虚血性心疾患のSPECT検査

桐山 智成 林 宏光 汲田伸一郎

**要 旨：**多くのエビデンスに裏付けられたSPECT検査により、心筋の機能的・生理学的情報、冠動脈疾患の有無、心筋虚血、心筋バイアビリティーの診断、治療後の効果判定、予後予測、リスク層別化など、臨床に必要な多彩な情報を提供することが可能である。本稿では、機能的・生理学的検査法である心臓SPECT検査の有用性と可能性、ならびに最新の機能/形態融合画像であるSPECT/CT fusion imageの臨床的特長につき、文献の考察を加えて概説する。

(J Jpn Coll Angiol, 2009, 49: 481-486)

**Key words:** myocardial perfusion imaging, single-photon emission computed tomography, ischemic heart disease, cardiovascular disease, noninvasive imaging

### はじめに

近年の画像診断の技術革新には目覚ましいものがあり、心臓画像診断においてもCT, MRI, 超音波, 核医学検査などの非侵襲的検査法は長足に進歩を遂げている。この中でsingle-photon emission computed tomography (SPECT)による心臓核医学は、形態診断法とは一線を画す機能診断法として、臨床に必要不可欠な情報を提供する。SPECTによる心臓核医学検査により、虚血性心疾患の診断、重症度評価、治療効果判定、予後予測ならびにリスク層別化などを知ることができるのみならず、最近では冠動脈CT検査との画像融合を作成することで、責任病変の正確な診断を行うことも可能となりつつある。本稿では心筋SPECT検査の有用性と今後の展望について、文献の考察を含め概説する。

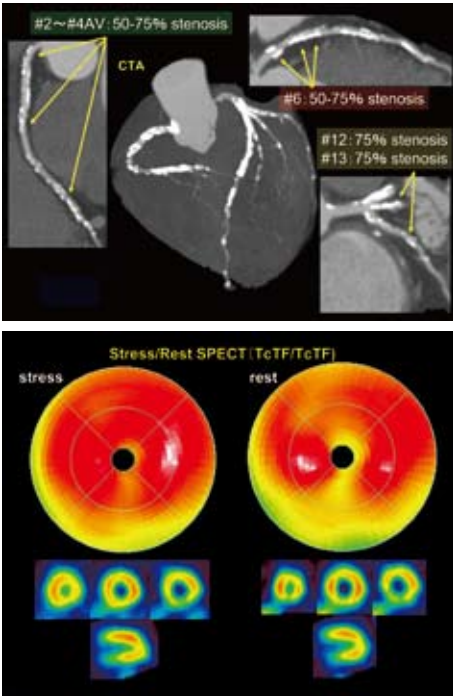
### 心筋灌流を評価する重要性

虚血性心疾患の診断において、侵襲的冠動脈造影はゴールドスタンダードと考えられてきたが、冠動脈造影から得られるものは心外膜上の可視血管の解剖学的・形態的な情報であり、心筋内微小血流の評価や、複数の狭窄病変あるいは側副路が冠血流に与える影響、さらには

血管拡張機能などの生理学的情報を得ることは困難である。一方心筋SPECTにより、前述したさまざまな要素を加味した心筋細胞レベルでの血流の多寡を評価することができる。臨床ではFig. 1に示すごとく、冠動脈造影や冠動脈CTで複数の狭窄病変を認めても、心筋SPECTで異常を示さない症例にしばしば遭遇する。これは冠動脈に有意狭窄があっても細胞レベルでの灌流障害を生じているとは限らないことを表している。逆に心筋に虚血が存在しても、冠動脈に有意狭窄病変がみられない症例もある。このように冠動脈造影や冠動脈CTなどの形態学的診断法からは、狭窄の有無は判定できてもこれが機能的な異常を引き起こしているか否かを判断することは困難であり、薬物療法で良いのか再灌流療法を選択すべきかといった治療方針の選択や、多枝病変における再灌流療法を行うべき責任病変の決定において、形態診断のみでは十分に判断し得ない場合が少なくない。

### 虚血性心疾患の診断におけるSPECTの役割

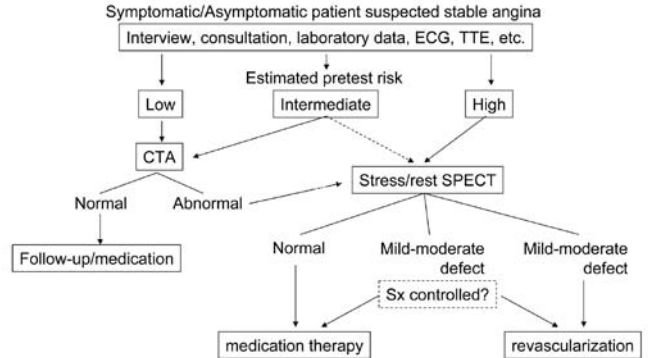
虚血性心疾患の診断における心筋SPECTの位置づけの一例をFig. 2に示す<sup>1)</sup>。これはUCLAのBermanらが提唱するフローチャートをもとに作成したものである。現在、本邦においても同様のフローチャートが作成され



**Figure 1**  
 A: Angiographic view and multiplanar reformation of coronary artery CT angiography showing severe coronary calcification in a female patient in her 70s with suspected effort angina. B: Semiquantitative polar maps and short-axis slices and a vertical long-axis slice of single-photon emission computed tomography in stress and rest myocardial perfusion imaging showing no evidence of myocardial reversible/fixed defect. Anterior and inferoposterior perfusion defects detected only in the rest image are thought to be caused by breast and diaphragmatic attenuation.

つあると伺い聞かすが、国内の各種画像検査の利用事情は、米国のエビデンスに基づくそれに比べると、施設ごとの各画像検査に携わる人員および設備環境や個々の医師の裁量によるところが大きく、治療方針を決定する際の画像診断の利用状況は、施設ごと、あるいは医師ごとで偏りがあることは否めない。

検査選択の一例として、虚血性心疾患の有無がはっきりしない症例に対し各種負荷検査や画像検査を行う場合、虚血性心疾患のリスクが低い症例に対し除外診断を目的として心筋SPECTを施行することの有用性は決して高くはない<sup>2)</sup>。リスクが中等度より低い症例であれば、陰性的中率が高い冠動脈CTを用いることで、効率よく虚血性心疾患を除外できる<sup>3)</sup>。一方、冠動脈CTで異常が認められた場合や冠動脈の石灰化が高度な場合、あるいは



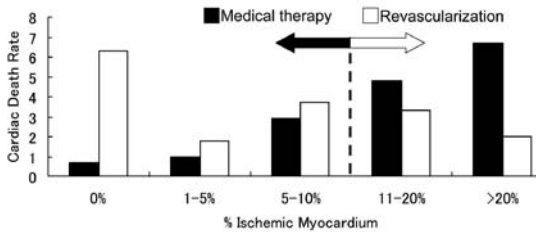
**Figure 2** The diagnostic flow chart of coronary artery disease. In low-risk patients CTA is recommended first, while SPECT is recommended for high-risk patients. In intermediate-risk patients, the recommended technique depends on the institutional situation. The decision of whether to perform coronary angiography and/or revascularization is based on the results of SPECT and the severity of myocardial ischemia. Sx: symptoms.

検査前リスクが高い例では、虚血性心疾患の診断とともに治療方針の決定が可能な心筋SPECTを行い、負荷検査を通じて虚血の有無を判定することが必要となる<sup>2)</sup>。SPECTによって検出された心筋虚血の重症度に応じて心事故発生率を推測することができ、その重症度から治療方針を選択することで最善のアウトカムが得られることについての十分なエビデンスが既に示されている<sup>4,5)</sup>。

### 治療方針の決定における心筋SPECTの有用性

国内のPCI施行割合は米国と比較して多いとされ、不必要なPCIが施行されている可能性も懸念されている。心筋虚血が証明されていない症例に対して再灌流療法を行うことは逆に不利益となり、心筋SPECTをはじめとする負荷検査で証明された心筋虚血の有無や虚血の重症度に応じて治療方針を選択することの有用性が示されている。**Fig. 3** に虚血の重症度に応じて内科的薬物療法を選択した場合と再灌流療法を選択した場合の心イベント発生率を示す<sup>5)</sup>。心筋SPECTから算出されたsummed differential scoreによる左室心筋量に対する虚血心筋の割合からみると、11%以上の虚血が証明された場合に再灌流療法を選択した方が内科的治療より予後は良好であり、これに対し10%以下の場合には内科的薬物療法の予後が良好であることが見て取れる。

再灌流療法を行う場合には責任冠動脈を同定することが重要であるが、冠動脈造影や冠動脈CTから得られる



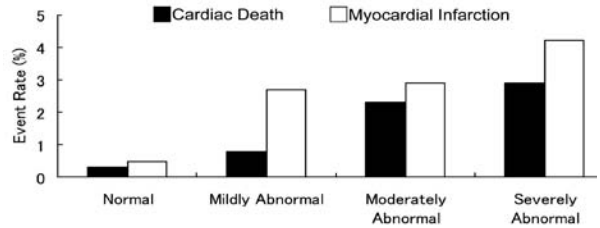
**Figure 3** Cardiac death rate in patients undergoing medical therapy (black) or revascularization (white) as a function of the amount of myocardial ischemia.

Cardiac death rates are lower for medical therapy in less than 10% of the ischemic myocardium. It is conversely lower for revascularization in more than 10% of the ischemic myocardium.

解剖学的な狭窄情報のみからでは、正確に責任冠動脈を同定することが困難な症例にしばしば遭遇する。SPECTで得られた虚血心筋の位置と範囲から責任冠動脈を推定することが可能であり、これにはプルズアイ表示(極座標画像)と称される心尖部から心基部までの短軸像の積み重ね画像が有用である。但し、冠動脈の走行には個人差が大きいため、冠動脈走行と見比べながら責任冠動脈を判定することが望まれる。より正確に責任血管を同定するためには、後述するSPECT/CT融合画像を用いるのが良い。

### 治療効果判定・予後予測・リスク層別化

治療効果判定においても心筋SPECT検査は有用な情報を提供する。急性心筋梗塞後に心筋SPECT検査を施行することで、血流欠損の重症度および虚血心筋の量により治療後の予後予測が可能であることが示されている<sup>6)</sup>。また、安定狭心症の治療に際しても、全例に冠動脈造影を実施した場合と心筋SPECT検査を施行してから冠動脈造影を実施した場合とを比較すると、心筋SPECT検査を行った方が再灌流療法の施行件数が少なく、かつ心イベントの発生率も低かったという後ろ向き多施設研究の結果も示されている<sup>7)</sup>。心筋SPECTの特徴として豊富な予後予測に関するエビデンスが挙げられるが、一般に心筋SPECT検査を施行した際に虚血が認められなければ心イベントの年間発生率は1%未満と考えられている。心筋虚血の重症度が上昇するに従って心イベント発生率も増加し、この結果からは予後予測において心筋灌流を評価することの重要性がうかがえる(**Fig. 4**)<sup>4)</sup>。



**Figure 4** Cardiac death rate and myocardial infarction rate per year as a function of the severity of the scan result.

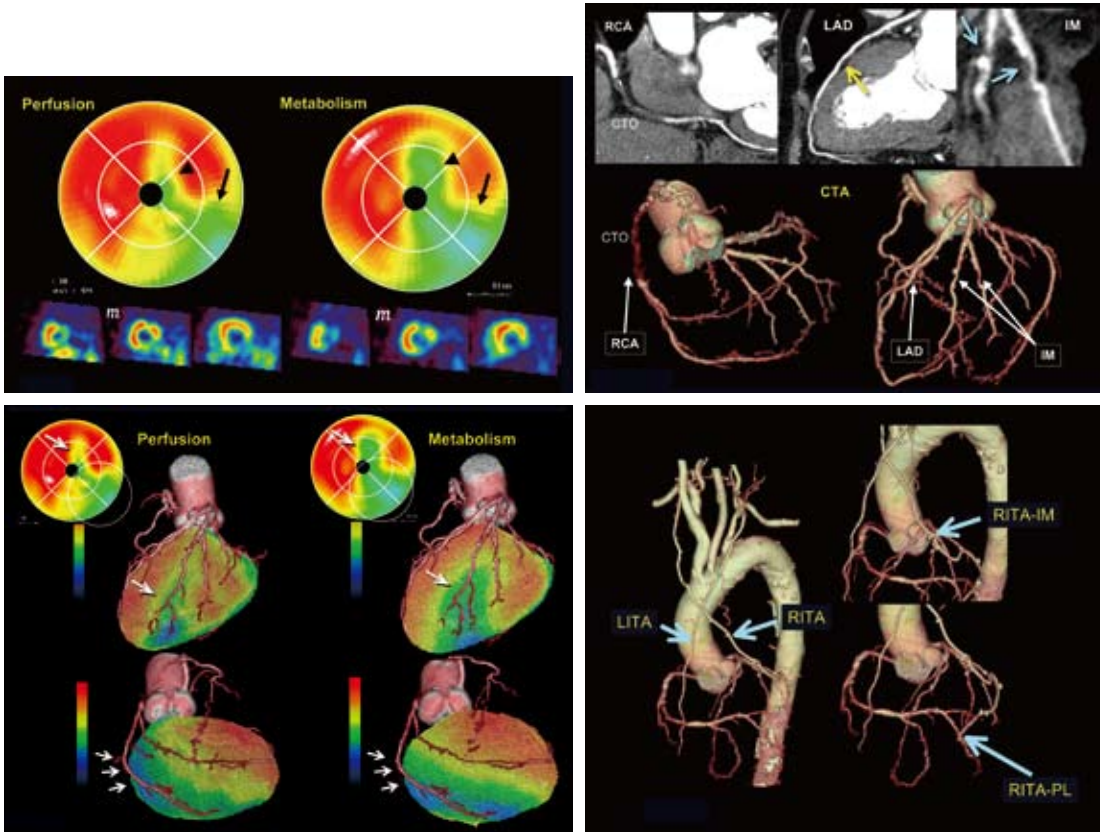
Both rates are increasing as a function of the severity of infarction, while it has a less than 1% event rate if myocardial perfusion imaging is normal.

### J-ACCESS：日本人における大規模多施設データからのエビデンス

これまで心筋SPECT検査のエビデンスは、主に米国でのデータに基づくものであったが、本邦においても近年、大規模多施設研究(J-ACCESS：Japanese-Assessment of Cardiac Event and Survival Study by Quantitative Gated SPECT)が実施された。従来から欧米人に比較して日本人の心事故発生率が低いことが指摘されていたが、本試験によりリスク層別化や予後予測に対する心筋SPECTの有用性について明らかとなった<sup>8)</sup>。とりわけ注目すべきは日本人の心事故発生の予測因子の中で、糖尿病が最も重要な予後予測因子であったことである。また、糖尿病性腎症により透析導入された場合には、数年内に心筋梗塞および心臓死をまねく危険性が高いことが知られているが<sup>9)</sup>、糖尿病患者では無症候性心筋虚血を有す場合も多い。そのため糖尿病性腎症例では正確に冠動脈疾患の重症度を評価することが必要となるが、腎機能障害例に対してヨードならびにガドリニウム造影剤を使用した後に造影剤腎症や腎性全身性線維症を発症する恐れもあり、冠動脈造影や心臓CTならびに心臓MRIの施行が躊躇されることがある。この点からも負荷心筋SPECTによる心筋虚血の評価が強く推奨される<sup>10)</sup>。

### 新たな画像診断法：SPECT/CT融合画像

最近では、ワークステーション上で専用のソフトウェアを用いて心筋SPECT画像と冠動脈CTを同時に評価することが可能となっている(**Fig. 5**)<sup>11)</sup>。従来は経胸壁心臓



**Figure 5** Newly available SPECT/CT fusion imaging. A 64-year-old male patient, known to have a history of old myocardial infarction, was in hospital due to worsening congestive heart failure.  
**A:** Polar map and SPECT images of myocardial perfusion/metabolism dual imaging showing anterolateral (arrowhead) and inferoposterior (black arrow) defects with perfusion/metabolism mismatch, which indicates myocardial viability.  
**B:** Multi-planar reformation and 3D-VR images of the coronary artery showing chronic total obstruction in RCA, 50% stenosis with soft plaque in proximal LAD, and multiple occurrences of moderate to severe stenosis in IM.  
**C:** Fusion image showing only a septal side branch of IM corresponding to an anterolateral defect, and a PL of RCA corresponding to an inferoposterior defect.  
**D:** 3D-VR images after coronary artery bypass grafting showing an LITA grafting IM and PL sequentially.  
 3D-VR: three-dimensional volume rendering, RCA: right coronary artery, LAD: left anterior descending artery, IM: intermediate artery, PL: posterolateral branch.

A	B
C	D

超音波や負荷心筋SPECT所見と、冠動脈造影や冠動脈CTから得られた冠動脈の走行とを独立して個別に見比べることで責任冠動脈を同定してきた。虚血領域が広くまた典型的な冠動脈走行を示す例であれば責任冠動脈の同定は難しくはないものの、多枝病変例や、虚血領域が狭くまた複数存在するような場合には、正確に責任病巣を推定することがしばしば困難であった。新しい技術であるためSPECT/CT融合画像によりもたらされる付加情報に関する十分な臨床的検討は少ないものの、当施設

での経験においても心筋SPECTと冠動脈CTを独立して個別に判定した場合に比較して、融合画像を用いることで約2割の症例で事前に予測した責任冠動脈が変更されることが判明し、その有用性は高いものと考えている<sup>12,13)</sup>。

### 最後に

虚血性心疾患の診断において、心筋SPECT検査は①心筋虚血の有無と重症度、心筋バイアビリティーの判

断, ② 薬物療法・再灌流療法の選択や責任冠動脈の同定などの治療方針の決定, ③ 治療後効果の判定, 患者のリスク層別化などの予後予測において, 大変有用な情報を提供することができる。さらに非侵襲的形態診断法である心臓CTとのSPECT/CT融合画像により, 正確な責任血管の同定を行うことも可能であり, 豊富なエビデンスを有する心筋SPECT検査を適切に使用することで, 虚血性心疾患患者に対する最善のアウトカムをもたらすことができる」と期待される。

## 文 献

- 1) Berman DS, Hachamovitch R, Shaw LJ et al: Roles of nuclear cardiology, cardiac computed tomography, and cardiac magnetic resonance: Noninvasive risk stratification and a conceptual framework for the selection of noninvasive imaging tests in patients with known or suspected coronary artery disease. *J Nucl Med*, 2006, **47**: 1107–1118.
- 2) Brindis RG, Douglas PS, Hendel RC et al: ACCF/ASNC appropriateness criteria for single-photon emission computed tomography myocardial perfusion imaging (SPECT MPI): a report of the American College of Cardiology Foundation Quality Strategic Directions Committee Appropriateness Criteria Working Group and the American Society of Nuclear Cardiology endorsed by the American Heart Association. *J Am Coll Cardiol*, 2005, **46**: 1587–1605.
- 3) Meijboom WB, van Mieghem CA, Mollet NR et al: 64-slice computed tomography coronary angiography in patients with high, intermediate, or low pretest probability of significant coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol*, 2007, **50**: 1469–1475.
- 4) Hachamovitch R, Berman DS, Shaw LJ et al: Incremental prognostic value of myocardial perfusion single photon emission computed tomography for the prediction of cardiac death: differential stratification for risk of cardiac death and myocardial infarction. *Circulation*, 1998, **97**: 535–543.
- 5) Hachamovitch R, Hayes SW, Friedman JD et al: Comparison of the short-term survival benefit associated with revascularization compared with medical therapy in patients with no prior coronary artery disease undergoing stress myocardial perfusion single photon emission computed tomography. *Circulation*, 2003, **107**: 2900–2907.
- 6) Mahmarian JJ, Shaw LJ, Filipchuk NG et al: A multinational study to establish the value of early adenosine technetium-99m sestamibi myocardial perfusion imaging in identifying a low-risk group for early hospital discharge after acute myocardial infarction. INSPIRE Investigators. *J Am Coll Cardiol*, 2006, **48**: 2448–2457.
- 7) Shaw LJ, Hachamovitch R, Berman DS et al: The economic consequences of available diagnostic and prognostic strategies for the evaluation of stable angina patients: an observational assessment of the value of precatheterization ischemia. Economics of Noninvasive Diagnosis (END) Multicenter Study Group. *J Am Coll Cardiol*, 1999, **33**: 661–669.
- 8) Momose M, Nakajima K, Nishimura T et al: Prognostic significance of stress myocardial gated SPECT among Japanese patients referred for coronary angiography: A study of data from the J-ACCESS database. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2009, Feb 17. Epub ahead of print.
- 9) Koch M, Thomas B, Tschöpe W et al: Survival and predictors of death in dialysed diabetic patients. *Diabetologia*, 1993, **36**: 1113–1117.
- 10) Momose M, Babazono T, Kondo C et al: Prognostic significance of stress myocardial ECG-gated perfusion imaging in asymptomatic patients with diabetic chronic kidney disease on initiation of haemodialysis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2009, **36**: 1315–1321.
- 11) Gaemperli O, Schepis T, Kalff V et al: Validation of a new cardiac image fusion software for three-dimensional integration of myocardial perfusion SPECT and stand-alone 64-slice CT angiography. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2007, **34**: 1097–1106.
- 12) Gaemperli O, Schepis T, Valenta I et al: Cardiac image fusion from stand-alone SPECT and CT: clinical experience. *J Nucl Med*, 2007, **48**: 696–703. Erratum in: *J Nucl Med*, 2007, **48**: 1095.
- 13) Hayashi H, Kiriyama T, Hukushima Y et al: Noninvasive diagnosis of culprit lesions with the use of single-photon emission computed tomography/computed tomography fusion images in patients with multivessel coronary artery disease. *J Nippon Med Sch*, 2009, **76**: 2–3.

## Myocardial Perfusion Imaging with Single-Photon Emission Computed Tomography for Ischemic Heart Disease

Tomonari Kiriya, Hiromitsu Hayashi, and Shin-ichiro Kumita

Department of Radiology, Nippon Medical School, Tokyo, Japan

---

**Key words:** myocardial perfusion imaging, single-photon emission computed tomography, ischemic heart disease, cardiovascular disease, noninvasive imaging

The role of noninvasive imaging in the evaluation of patients with cardiovascular disease has been increasing, especially for the past decade. Myocardial perfusion imaging (MPI) using single-photon emission computed tomography (SPECT) is a well-established method for patients with suspected or diagnosed ischemic heart disease. MPI noninvasively assesses functionally significant coronary obstructive disease (i.e. ischemia) and provides valuable information for risk stratification. Recently, evidence from Japan of the prognostic value and diagnostic feasibility of MPI for patients with coronary artery disease has been introduced in the results of the “Japanese investigation of prognosis based on gated SPECT” study. This study reveals that Japanese patients have a lower cardiac event rate than Euro-American patients. This review emphasizes the importance and feasibility of MPI in diagnosis, evaluation, and risk stratification of patients with ischemic heart disease, including a newly developed method using a fusion of SPECT imaging and coronary CT angiography imaging techniques. (J Jpn Coll Angiol, 2009, **49**: 481–486)