
SPECT と心臓 CT を用いた Fusion image の構築と 臨床応用

日本医科大学付属病院 放射線科

福 嶋 善 光

要 旨

心臓 CT は冠動脈の形態的評価に関し非侵襲的な診断法として確率しつつある。一方で、心臓核医学検査は心筋障害を評価するモダリティとして確立されている。しかしながら、心臓 CT では高度冠動脈石灰化例や多枝病変例では診断に苦慮する場合があります、核医学検査では解剖学的情報に乏しいという弱点がある。SPECT/CT 融合画像は冠動脈病変の局在と心筋障害を同時に評価することが可能であり、診断精度の向上が得られる。

はじめに

心筋 SPECT は心筋自体の血流、代謝情報を得ることにより心筋障害の評価が可能である。一方、心臓 CT が広く臨床使用されるようになり非侵襲的な冠動脈評価が可能になりつつある。両検査はいずれも虚血性心疾患に対する検査であるが、全く異なる部位を評価しており相補的に使用することができる。さらに、SPECT/CT 融合画像を作成することで冠動脈病変の局在と心筋障害を同時に評価することが可能であり、責任病変と心筋障害の診断精度の向上が期待される。

心臓 SPECT/CT Fusion image 作成の元となる核医学検査と CT 検査

以下に Fusion image 作成の元となる心筋 SPECT、冠動脈 CT の特徴を示す。

心筋 SPECT の特徴

心筋 SPECT は使用可能な核種が豊富で、心筋血流、代謝など様々な情報を得ることが可能である。また、治療適応の決定、治療効果判定に優れ、心電図同期収集により心機能評価、局所の壁運動異常を描出可能である。狭心症例に対する負荷心筋血流 SPECT において集積欠損がみられなかった場合、年間のイベント発生率は

わずか1%にも満たないとされている¹⁾。

しかしながら、空間分解能に問題があり、心筋以外の情報に乏しいといった短所がある。また、相対的評価のため balanced disease では病変を過小評価してしまうことがある。

冠動脈 CT の特徴

冠動脈 CT は冠動脈撮影のかわりに非侵襲的に冠動脈病変を評価することが可能であり、冠動脈の狭窄のみならずプラーク性状の情報も得られる。検査時間も短く、64 列 MDCT の場合、撮像時間は5～7秒程度である。冠動脈の評価に関しては陰性的中率が高いことが知られており、98～100%と報告されている²⁻⁵⁾。冠動脈 CT において脂質成分の多いプラーク（いわゆる不安定プラーク）は CT 値が低く、石灰化成分の多いプラークは高い CT 値を示す。冠動脈プラークの CT 値を測定することにより性状評価が可能であり、冠動脈病変の経過観察およびリスク層別化に有用である。

しかしながら、どのような場合でも冠動脈 CT は良好な画像が得られるわけではない。時間分解能の問題があり頻脈症例では motion artifact により冠動脈の描出は不良である。心房細動などの不整脈例や心拍変動例においては心位相のずれにより階段状の banding artifact を生じることがある。また、全ての segment において同様に良好な冠動脈評価が可能なのではない。近位部においては良好に描出される確率が高いが、末梢冠動脈枝においては motion artifact により描出不良な場合がある⁶⁾。冠動脈壁に高度の石灰化がみられる場合も血管内腔の評価が困難となる。実際、高度石灰化を来した冠動脈は高頻度により有意狭窄が存在したり、灌流領域に虚血を生じたりすることが確認されているため、臨床診断上で避けて通ることのできない問題点である⁷⁾。

冠動脈 CT による予後評価の報告もある。有意狭窄のある冠動脈枝のみならず、有意狭窄が無くともプラークの存在する領域においても正常冠動脈枝に比し有意に予後不良とされている⁸⁾。

心筋 SPECT と MDCT を用いたフュージョンイメージの構築

機能診断としての心筋 SPECT と形態診断としての心臓 CT は異なった側面よりの診断法であるため、両データの融合により精度の高い心臓画像診断を行うことが可能となり、さらに双方の弱点を補う画像情報が得られることとなる。心筋 SPECT 像と冠動脈 CT との Fusion イメージは様々な方法が試みられており、Hardware Fusion と Software Fusion の2つの手法がある。Hardware Fusion はガンマカメラと CT の一体機を用いて両検査を撮像し、位置座標を共有することにより

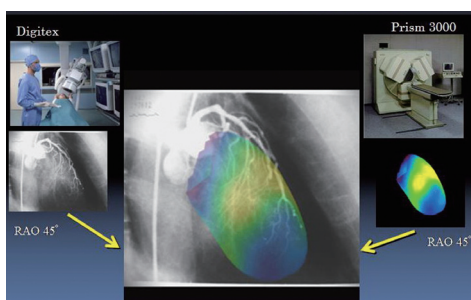


図 1 冠動脈造影と心筋 SPECT の融合画像

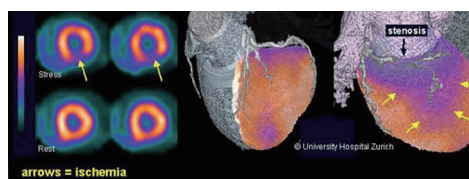


図 2 Card IQ Fusion : 2006 SNM Image of the Year

Fusion 画像を構築する手法である。SPECT は自然呼吸時の撮像，CT は呼吸停止時の撮像であり，両検査は呼吸状態が異なり，横隔膜の位置が一致せず Fusion イメージの構築が困難となることも少なくない。Software Fusion は Software を用いて Fusion イメージを構築する手法である。装置による制約が少なく，呼吸状態などによって心筋形状や位置が完全に一致しない例でもこれを補って融合画像を作成可能である。位置座標を共有していないため，マニュアルあるいはソフトウェアによる位置合わせおよび左室形状の加工処理が加わる。

我々の施設においては以前より，SPECT/CT Fusion image 構築の研究を行っている。その先駆けとなったのは，冠動脈造影と QGS で作成した左室 3D 像の重ね合わせである。同一方向の画像を透過させ単純に重ね合わせただけのものだが，冠動脈病変と心筋虚血の対比が可能であった（図 1）。2005 年には 16 列 MDCT を用いた冠動脈 CT と心筋 SPECT との融合画像の作成を試みているが，作成に長時間を要するため実用には至らなかった⁹⁾。その後，2006 年に Heart Fusion を日本医科大学検診医療センターに導入，同年の米国核医学会で脚光を浴びることとなった CardIQ Fusion を 2007 年に核医学検査室に導入している。

CardIQ Fusion はチューリッヒ大学のカフマン教授が開発した Fusion software であり，Advantage Workstation 内の software である CardIQ に付属している。2006 年の米国核医学会においてこの software で作成した Fusion イメージが Image of the year を受賞しており（図 2），全く別の検査として施行された SPECT データと CT データを用いて Fusion イメージを作成する software である。まず，それぞれのデータを短軸、垂直長軸および水平長軸断像の 3 断面像を用いて室間溝，心尖部，肝集積などを指標としてマニュアルで位置合わせする。次に，オート処理で左室の中心点から放射状線を引き circumferential profile analysis にて心筋の各セグメントにおける max count を抽出し，それを CT データ上の左室心外膜面に投影する。さらに，別個に作成した coronary tree と合わせることで Fusion イメージが完成す

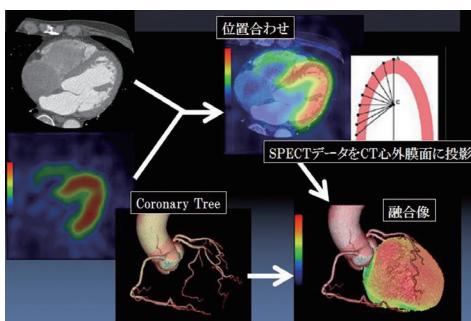


図 3 Card IQ Fusion : image processing

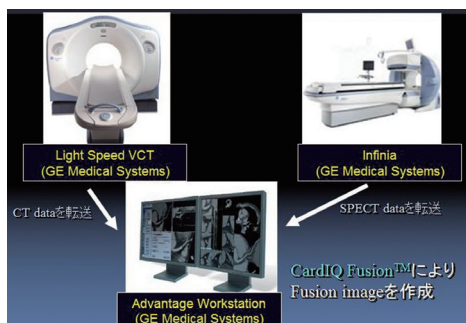


図 4 GE 社製システムによる Fusion イメージの構築

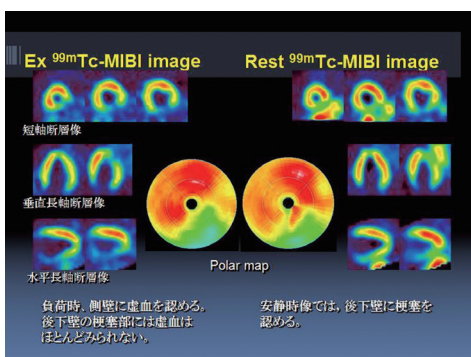


図 5-1 症例 1：労作性狭心症

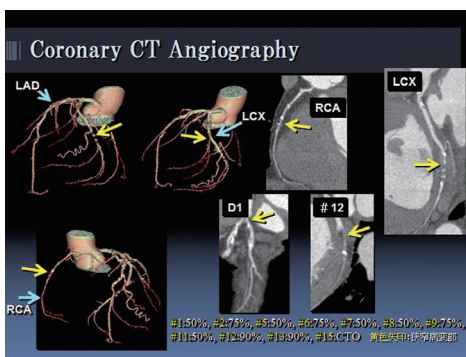


図 5-2 症例 1：労作性狭心症

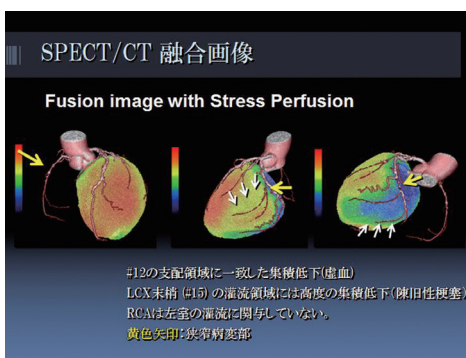


図 5-3 症例 1：労作性狭心症

る。Fusion image において輪郭はすべて CT 像の形態をもとにしており精度が高い (図 3)。

我々の施設では、64 列 CT (GE 社製 LightSpeed VCT) より得られた冠動脈 CT データと SPECT 装置 (GE 社製 Infinia) より得られた心筋 SPECT データをオンラ

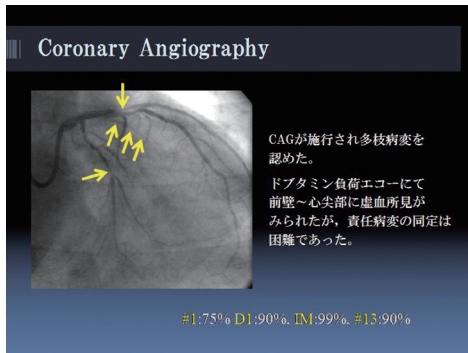


図 6-1 症例 2：労作性狭心症

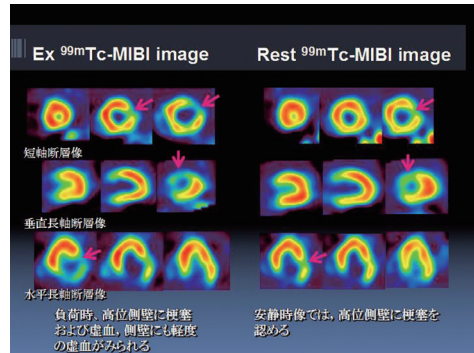


図 6-2 症例 2：労作性狭心症

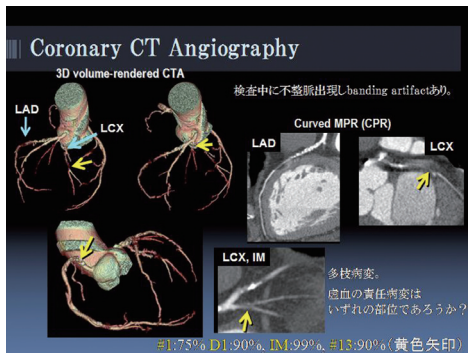


図 6-3 症例 2：労作性狭心症

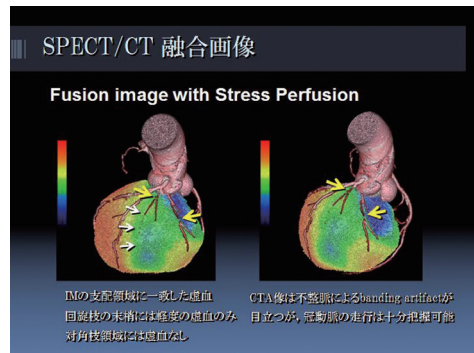


図 6-4 症例 2：労作性狭心症

インでワークステーション（Advantage Workstation）に取り込み、Fusion ソフトウェア CardIQ Fusion を用い心臓 Fusion イメージの構築を行っている（図 4）。両データの融合に要する時間は 3 分余りでありほぼ自動解析で高精度の Fusion イメージを得ることができる。また、再現性が非常に高く、融合画像を作成することにより診断精度が向上すると報告されている¹⁰⁾。

心臓 Fusion イメージの臨床使用

機能診断としての心筋 SPECT と形態診断としての心臓 CT は異なった側面よりの診断法であるため、両データの融合により精度の高い心臓画像診断を行うことが可能となり、さらに双方の弱点を補う画像情報が得られることとなる。心臓領域における融合画像構築は、形態・機能イメージの利点を共有することができ、虚血領域の把握、冠動脈枝ごとの viability 評価、さらには虚血心の治療方針決定に際し極めて有用である。

以下に我々の施設で経験した症例を挙げる。

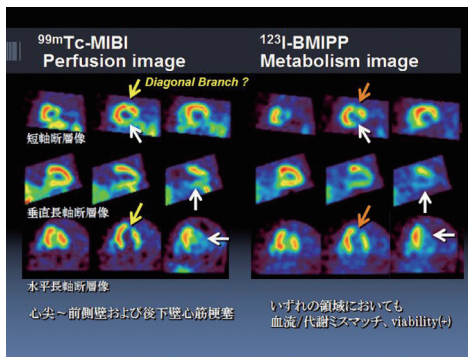


図 7-1 症例 3：虚血性心筋症（急性心不全）

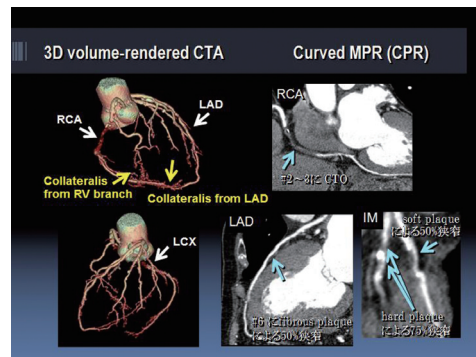


図 7-2 症例 3：虚血性心筋症（急性心不全）

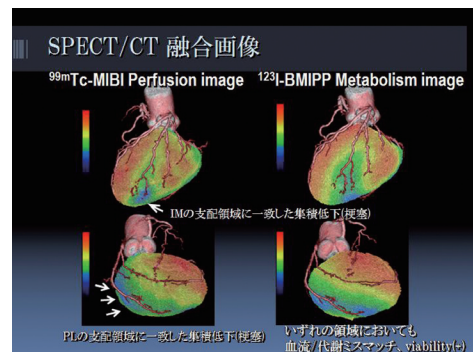


図 7-3 症例 3：虚血性心筋症（急性心不全）

症例 1：労作性狭心症（図 5）

心筋 SPECT：安静時像では後下壁に梗塞を認め、負荷像では後下壁の梗塞部には虚血を認めないが、側壁に虚血を認める。

冠動脈 CT：#1：50%，#2：75%，#5：50%，#6：75%，#7：50%，#8：50%，#9：75%，#11：50%，#12：90%，#13：90%，#15：CTO と多枝病変を認める。

SPECT/CT 融合画像：側壁の虚血のみられた部分は #12 の支配領域であり、後下壁の高度集積低下（陳旧性梗塞）は LCX 末梢（#15）の灌流域である。RCA は小さく、左室の灌流に関与していない。虚血の責任病変は #12 であることが分かる。

症例 2：労作性狭心症（図 6）

冠動脈造影：#1：75%，D1：90%，IM：99%，#13：90% と多枝病変を認める。ドブタミン負荷エコーにて前壁～心尖部に虚血所見がみられているが、責任病変の決定は困難である。

心筋 SPECT：安静時像では高位側壁に梗塞を認め、負荷像では高位側壁の梗塞部に虚血、さらに側壁に軽度の虚血がみられる。

冠動脈 CT：融合画像作成のために CT 施行。冠動脈造影と同様に #1：75% D1：90%，IM：99%，#13：90%と多枝病変を認める。

SPECT/CT 融合画像：後側壁の梗塞および虚血部は IM の灌流域である。側壁の虚血部は回旋枝末梢の灌流領域。IM および #13 が責任病変であることが分かる。

症例 3：虚血性心筋症（急性心不全）（図 7）

心筋 SPECT：重症例に対しては負荷することなく虚血の評価が可能である I-123-BMIPP を用いた脂肪酸代謝イメージングが有用である。血流イメージでは心尖部～前側壁および後下壁に梗塞を認め、代謝イメージでは同部により高度の集積欠損を認めバイアビリティのある梗塞である。

冠動脈 CT：#2-#3：CTO，#6：50%，IM：75%と多枝病変を認める。

SPECT/CT 融合画像：心尖部～前側壁の梗塞部は IM の灌流域，後下壁の梗塞部は PL の灌流域であることが分かる。#2-#3 に CTO があるが，#4PD には右室枝や前下行枝からの側副路が発達しており，この領域の灌流は保たれている。

このように心臓 SPECT/CT フュージョンイメージを構築することにより，冠動脈病変とその灌流領域における心筋障害を同時に評価可能であり，さらにこれまでは困難であった分枝レベルの灌流領域の評価も期待される。CT による形態情報，SPECT による機能情報を共有することにより，それぞれの弱点を補い合えるばかりでなく，さらに精度の高い心疾患の診断をし得るものと考ええる。

参考文献

- 1) Hachamovitch R 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* **97** : 535-43, 1998.
- 2) Leschka S et al. Accuracy of MSCT coronary angiography with 64-slice technology : first experience. *Eur Heart J* **26** : 1482-7, 2005.
- 3) Mollet NR et al. High-resolution spiral computed tomography coronary angiography in patients referred for diagnostic conventional coronary angiography. *Circulation* **112** : 2318-23, 2005.
- 4) Raff GL et al. Diagnostic accuracy of noninvasive coronary angiography using 64-slice spiral computed tomography. *J Am Coll Cardiol* **46** : 552-7, 2005.
- 5) Pugliese F et al. Diagnostic accuracy of non-invasive 64-slice CT coronary angiography in patients with stable angina pectoris. *Eur Radiol* **16** : 575-82, 2006.

-
- 6) Nikolaou K et al. Accuracy of 64-MDCT in the diagnosis of ischemic heart disease. *AJR* **187** : 111-7, 2006.
 - 7) Schepis T et al. Added value of coronary artery calcium score as an adjunct to gated SPECT for the evaluation of coronary artery disease in an intermediate-risk population. *J Nucl Med* **48** : 1424-30, 2007.
 - 8) Pundziute G et al. Prognostic value of multislice computed tomography coronary angiography in patients with known or suspected coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* **49** : 62-70, 2007.
 - 9) Nakajo H et al. Three-dimensional registration of myocardial perfusion SPECT and CT coronary angiography. *Ann Nucl Med*. **19** : 207-15, 2005.
 - 10) Gaemperli O et al. Cardiac image fusion from stand-alone SPECT and CT : clinical experience. *J Nucl Med* **48** : 696–703, 2007.