

## 総説

冠動脈疾患におけるMDCT angiographyと  
Tl-201 SPECTのFusion画像

宇都宮大輔<sup>1),2)</sup>、富口 静二<sup>2)</sup>、中浦 猛<sup>2)</sup>、白石 慎哉<sup>2)</sup>、河中 功一<sup>2)</sup>、  
勝田 昇<sup>3)</sup>、粟井 和夫<sup>2)</sup>、浦田 譲治<sup>1)</sup>、山下 康行<sup>2)</sup>

1) 済生会熊本病院・画像診断センター

2) 熊本大学大学院医学薬学研究部・放射線診断学部門

3) 熊本大学医学部付属病院・中央放射線部

Image fusion of MDCT coronary angiographic and Tl-201  
myocardial SPECT imaging

Daisuke Utsunomiya<sup>1),2)</sup>, Seiji Tomiguchi<sup>2)</sup>, Takeshi Nakaura<sup>2)</sup>, Shinya Shiraishi<sup>2)</sup>,  
Koichi Kawanaka<sup>2)</sup>, Noboru Katuda<sup>3)</sup>, Kazuo Awai<sup>2)</sup>, Joji Urata<sup>1)</sup>, Yasuyuki Yamashita<sup>2)</sup>

1) Diagnostic Imaging Center, Saiseikai Kumamoto Hospital

2) Diagnostic Radiology, Graduate School of Medical Sciences, Kumamoto University

3) Central Division of Radiology, Kumamoto University Hospital

## 要旨

腫瘍核医学において、シンチグラムやSPECT (single photon emission computed tomography) における診断は、CTやMRI等の画像と見比べることにより、異常集積の有無やその解剖学的位置を判断するといったものであった。しかし、解剖学的情報に乏しく、小病変や生理的集積との識別、病変の広がりといった評価に関しては、日常診療にて苦慮することが多い。融合画像は機能的情報と解剖学的情報を同時に提供するため、これまで得られなかった情報の把握も可能となってくる。本稿では、SPECT/CT装置における融合画像作成の実際、および腫瘍核医学における使用経験について概説する。

## Abstract

A site of radiopharmaceutical accumulation has been defined by viewing two images of SPECT and CT or MRI displayed side by side on a viewer in nuclear oncology. However, it is difficult to recognize where the accumulation is present in case of diagnosing a small lesion. Furthermore, it is difficult to define whether the accumulation is physiological or non-physiological one on SPECT image. These disadvantages on SPECT image are resolved using SPECT/CT fused image. SPECT/CT fused image provides useful anatomical and functional information on the diagnosis and management of patients with malignant diseases.

**Key words** :Image fusion, MDCT, myocardial SPECT, SPECT/CT

## はじめに

現在の画像診断において、その中核をなすものはcomputed tomography (CT)、magnetic resonance imaging (MRI)、そしてsingle photon emission tomography (SPECT)、positron emission tomography (PET) を含む核医学であることは異論のないところと思われる。一般に形態画像の代表がCTであり、機能画像の代表が核医学ということができると思う。MRIはその中間的なと

ころに位置していると思われ、将来的にはもっとも'One-stop shopping' approachに近いモダリティではないかと考えている。

Fusion imagingとは形態情報に乏しい機能画像に形態画像の情報を付加することで、より正確な診断を目指す手法のことである<sup>1)</sup>。現在Fusion imagingとして代表的なものはPET/CT、殊にfluorine 18 fluorodeoxyglucose (FDG) -PETとCTによる腫瘍診断である<sup>2)</sup>。しかし、これ以外でも

別刷請求先：〒861-4193 熊本市近見5-3-1

済生会熊本病院・画像診断センター 宇都宮大輔

TEL : 096-351-8000 FAX : 096-326-3045 or 096-351-8089

臨床の多くの場面で、Fusion imagingが有用である<sup>1, 3, 4)</sup>。これは通常診療において多くの放射線科医、核医学診断医ないしは治療医が感じていることであろう。したがって、Fusion imagingは研究レベルの一部の施設でのみ可能な方法から、広く臨床の場で活躍する手法へと変化していく必要がある。

これまで心臓領域の診断は心筋血流シンチグラフィ以外の領域ではあまり放射線科医が携わる機会が少なかった。しかし、multidetector CT (MDCT) の出現により心臓領域の画像診断が放射線科医にとっても身近なものとなってきている<sup>5~8)</sup>。最近では冠動脈のMR angiographyも脚光を浴びている。これにより放射線科医は心臓の形態画像と機能画像の両者を評価する立場となった。特に心筋血流SPECTの有用性について多くのエビデンスが確立されており、SPECTの血流情報に形態情報を付加することは意義が大きい。本稿では心臓領域のFusion imagingの有用性、可能性について解説する。

### SPECT/CT装置

SPECT/CTは一体型と分離型に分類できる。

一体型としてはGE社製のMillennium VG Hawkeye systemがまずは挙げられる<sup>9)</sup>。このシステムは吸収補正と読影用のFusionの両方が可能ではあるが、CT画像については実際の読影においては十分な情報を提供するとは言いかねる。正確な病変の位置を同定するには役にたつが、そのあと高分解能のCTとの比較読影が必要な場合が多い。特に心臓領域においては冠動脈の評価は不可能であり、吸収補正用のCTと考えた方がよい。最近ではPhilips社やSiemens社からも一体型のSPECT/CT装置が開発されている。

分離型は熊本大学に導入されているシステムで、8列のMDCT (Lightspeed ULTRA、GE) と天井走行型ガンマカメラ (Skylight、ADAC) を併設し、CTの寝台を共有するものである。これにより患者はCTの寝台から動かずにCTとSPECTの両方の検査を受けることができる。冠動脈のCT angiography (CTA) については後述するが、8列以上のMDCTが必要と考えられる。今後、PET/CTと同様にSPECTと16列MDCTの一体型が開発されることが望まれる。

### 心筋血流SPECT

心筋血流SPECTの読影については重要なピットフォールがある。SPECTの画像は吸収、散乱、呼吸運動などの影響を受ける。なかでも吸収の影響を補正することは重要である。SPECT検査は投与したRI分布を体外のシンチレーションカメラで撮像するもの (エミッション・スキャン) であり、真のRI分布そのものを見ているものではない。つまり、カメラにガンマ線が到達するまでには横隔膜や乳房により相対的なカウントの低下が見られる部位が存在する。これは虚血と区別ができないほど明瞭な欠損部として見られることも珍しくはない。従来からこの吸収補正のためにGd-153等の外部線源を用いたトランスミッション・スキャンを行い、吸収マップを作成して補正する方法 (TCT法) が用いられてきた。しかし、高価な線源と装置に加え、撮像に時間もかかることから、臨床に広く用いられるにはいたっていない。そこで、この外部線源によるトランスミッション・スキャンをX線CTスキャンに置き換えて吸収マップを作成し、吸収補正を行う方法がPET/CTをはじめとして主流となってきている<sup>9~11)</sup>。これは物質の吸収係数とCT値が基本的に比例しているため、関係式からCT値をガンマ線の吸収係数に変換できることを利用している。一般にCTと核医学のFusionの場合にはまず吸収補正を行い、その補正したSPECT、PET画像をCTと融合することになる。

### 心臓CT

MDCTの出現はあらゆる診断領域に大きなインパクトを与えたが、なかでも循環器領域の画像診断に与えたインパクトは非常に大きなものである<sup>5~7)</sup>。撮像範囲および撮影スピードが飛躍的に向上したことにより、心臓がCTにて臨床レベルで撮像が可能となってきた。MDCTの多列化はさらに詳細な画像をより確実に撮像することに貢献している。心臓CTを多く施行している施設においては16列MDCTが主流と思われるが、一部の施設では40列から64列のMDCTが稼働しはじめている。この多列化の主なターゲットは心臓であることは明らかである。心臓CTは通常、心電同期再構成 (retrospective reconstruction) で行われ、R-R間隔のもっとも心臓の停止している心電位相で画像を再構成する。生データとしてはすべての心電位相の画像を保有していることになる。このなかから最も心臓の動きが少ない位相を見つけて、診断用の画像を作成することに

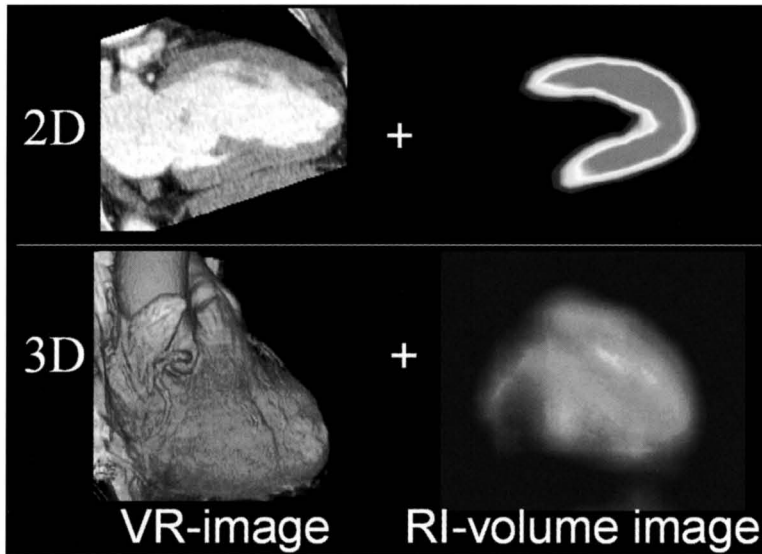


図1. Fusion imagingの表示法。2Dと3Dのfusionがある。3Dの作成には時間がかかり、ソフトウェアや適応についての最適化が課題である。

なる。さらに、心臓CTの優れている点は冠動脈の形態画像だけでなく、心筋壁の動きも評価できることである。SPECTにおいてもQGSにより壁運動の評価が可能ではあるが、心筋虚血ないしは梗塞によって集積低下部が見られる場合やsmall heartの場合など評価が不正確であり、CTの方が実際の壁運動の評価には優れている場合が多いと思われる<sup>12~14)</sup>。

Fusion imagingという観点において形態画像は機能画像（トレーサー分布）のマッピングにもちいる言わば脇役である。とすれば心臓においては各患者の冠動脈の分布を大体確認できればよいと考えることもできる。しかし、Fusion imagingにおいて形態画像は十分なクオリティーが必要である場合が多く、心臓CTの経験も必要である。心臓CTは造影剤の投与方法や前処置などにおいてはまだ十分な最適化がなされておらず、各施設で撮像法がまちまちではないかと思われる。心臓CTの撮像に関しては本稿の主旨と異なるが、以下に簡単に述べる。前処置として高心拍に対してはベータ・ブロッカーを投与し、検査直前にニトロペンの舌下を行っている。検査は酸素吸入下（2-3 L/min）に行い、造影は300mgヨード造影剤100mLを二相性注入で行っている（第1相：300 mgI, 60 mL at 3 mL/sec; 第2相：150 mgI, 80 mL at 3 mL/sec）。

### 心臓領域のFusion imaging作成

Fusion imagingにおいてもっとも重要なことは、二つのモダリティの画像を一致させることである。両者の位置がずれている場合には、付加情報どころか、かえって診断に混乱を来すこととなる。そのためにSPECT/CTやPET/CTが開発されてきたわけであるが、このような装置を導入するだけでは不十分である。それは患者移動による位置のずれは発生しなくても、生理的な動きを考慮しないと結果的に位置ずれが発生するからである。生理的な動きとして実質的に問題となるのは呼吸運動である。心臓領域においては心拍動も加わるため、さらに複雑である。

まず、呼吸の影響について述べる。SPECTないしはPET画像は撮像時間が長く撮像は安静呼吸下に行われる。したがって、再構成された画像は呼吸周期を平均化したものとなる。一方、CTは呼吸停止下に撮像される。そのためSPECTとCTを位置あわせするには横隔膜の位置が三次元的にかなりずれることになる。われわれは吸気、呼気、安静呼吸下のCTとSPECTの横隔膜のずれを検証したが、安静呼吸下でのCTがSPECT画像との位置ずれが小さく、吸収補正には適していると考えられた。ただし、安静呼吸下CTで吸収補正をする場合には回転速度を遅くして（4 sec/rotation）、呼吸周期を平均化する必要がある。最近では安西メディカルから呼吸同

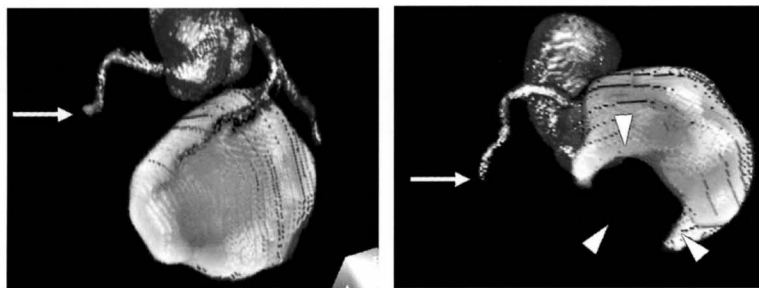


図2.下壁心筋梗塞症例のFusion (a.上方より観察。b.下方より観察)。冠動脈VR画像をワークステーション上で抽出し、心筋血流のボリューム・イメージとFusionした画像である。右冠動脈の閉塞 (a, b 矢印) とそれによる下壁の血流欠損 (b 矢頭) が理解しやすい。

(映像情報Medical Vol.35(12),2003 P944より転載)

期のシステムも開発されてきており、臨床応用、研究が待たれるところである。この吸収補正のためのCTは実際の冠動脈CTAとは別に撮像しなくてはならない。吸収補正用のCTでは造影剤を使用してはならないし、imaging tableも含む広いfield of view (FOV) で撮像しなくてはならないからである。

つぎに心拍動の問題である。これに対しては心電同期により対応する。QGSやp-FASTなどのソフトの普及によりSPECTも心電同期で撮像している施設が多いと思われる。これによる心機能の状態把握は心筋血流シンチグラフィの読影において、不可欠の要素となってきたといっても過言ではない。これを利用してFusion imagingを作成する。心臓CTも心電同期再構成であり、通常は拡張期の画像を利用する。したがって、SPECTのデータもあとから拡張期の画像だけを取り出して、CT画像と重ねるとCTとSPECT画像のサイズが合わせられることになる。ただ、その分RIのカウントが必要となるので、収集時間を延長して撮像している (約1.5倍)。

### 心臓Fusion Imagingの臨床的有用性

心臓におけるFusion imagingの有用性というのはまだWork in progressの状態と言える。しかし、その有用性は日常の臨床のなかで多くの放射線科医および循環器内科医、心臓外科医が感じているものと思われる。詳細な冠動脈の解剖および走行については成書を参照していただきたいが、単純にいえば3本の冠動脈がそれぞれ心筋の特定の領域を栄養しており、それぞれの灌流領域は左前下行枝 (LAD) が前壁と中隔、左回旋枝 (LCX) が後側壁、右冠動脈 (RCA) が下壁である。心筋SPECTの読影においては冠動脈が通常の (教科書的な) 走行をしてい

るという前提のもとに虚血部とその支配領域を類推しておこなっている。しかし、実際の冠動脈の走行には破格が多く、心筋血流の支配領域と虚血部とを一致させることは困難なことがある。特に、シンチグラフィでの虚血が二領域にまたがるように存在する場合には、責任血管の同定は治療方針決定において重要である。

Fusionの表示には2Dと3Dがあるが、実際の読影においては2DでのFusionが中心となると思われる (図1)。しかし、カンファレンスや患者説明などにおいては3DでのFusionの方が理解しやすく有用であると思われる。また、対角枝などが虚血に関与している場合には2Dでの読影は困難な場合もあり、3D Fusionに関しては今後の更なる検討が必要である。

### 症例) 72歳 男性 (心筋梗塞) . 3D Fusion imaging (図2a, 2b) .

右冠動脈の閉塞があり、これによる下壁の梗塞が疑われた症例である。MDCTによる冠動脈の3-Dイメージ (volume rendering [VR]) とタリウム-201による心筋血流のボリューム・イメージとをFusionした。解剖学的な冠動脈の情報と実際の欠損部との関係がパノラマ的に理解しやすい。

### おわりに

PET/CTをはじめとして腫瘍画像診断においてはFusion imagingの有用性は広く認知され、これから更に普及していくのは間違いないと思われる。一方で、核医学の診断領域は腫瘍にとどまらず、多くの領域でその有用性はエビデンスをもって示されている。心臓領域もその一つであり、治療適応決定に

対して最も影響をもつモダリティと言っても過言ではない。今後、核医学とMDCT, MRIによる形態と機能の融合が有力なツールとなってくるものと考えられる。まだ、心臓領域におけるFusion imagingははじまったばかりの領域であり、今後の臨床的な評価が必要となってくるものと思われる。

#### 参考文献

1. Townsend DW, Cherry SR. Combining anatomy and function: the path to true image fusion. *Eur Radiol* 2001;11:1968-1974
2. Israel O, Mor M, Gaitini D, et al. Combined functional and structural evaluation of cancer patients with a hybrid camera-based PET/CT system using (18) F-FDG. *J Nucl Med* 2002;43:1129-1136
3. Hasegawa BH, Wong KH, Iwata K, et al. Dual-modality imaging of cancer with SPECT/CT. *Technol Cancer Res Treat* 2002;1:449-458
4. Reinartz P, Wieres FJ, Schneider W, Schur A, Buell U. Side-by-side reading of PET and CT scans in oncology: which patients might profit from integrated PET/CT? *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2004
5. Kopp AF, Schroeder S, Kuettner A, et al. Non-invasive coronary angiography with high resolution multidetector-row computed tomography. Results in 102 patients. *Eur Heart J* 2002;23:1714-1725
6. Mahnken AH, Wildberger JE, Sinha AM, et al. Value of 3D-volume rendering in the assessment of coronary arteries with retrospectively ECG-gated multislice spiral CT. *Acta Radiol* 2003;44:302-309
7. Nieman K, Oudkerk M, Rensing BJ, et al. Coronary angiography with multi-slice computed tomography. *Lancet* 2001;357:599-603
8. Schoenhagen P, Halliburton SS, Stillman AE, et al. Noninvasive imaging of coronary arteries: current and future role of multi-detector row CT. *Radiology* 2004;232:7-17
9. Bocher M, Balan A, Krausz Y, et al. Gamma camera-mounted anatomical X-ray tomography: technology, system characteristics and first images. *Eur J Nucl Med* 2000;27:619-627
10. Kashiwagi T, Yutani K, Fukuchi M, et al. Correction of nonuniform attenuation and image fusion in SPECT imaging by means of separate X-ray CT. *Ann Nucl Med* 2002;16:255-261
11. Takahashi Y, Murase K, Higashino H, Mochizuki T, Motomura N. Attenuation correction of myocardial SPECT images with X-ray CT: effects of registration errors between X-ray CT and SPECT. *Ann Nucl Med* 2002;16:431-435
12. Mochizuki T, Murase K, Higashino H, et al. Two- and three-dimensional CT ventriculography: a new application of helical CT. *AJR Am J Roentgenol* 2000;174:203-208
13. Mochizuki T, Koyama Y, Tanaka H, Ikezoe J, Shen Y, Azemoto S. Images in cardiovascular medicine. Left ventricular thrombus detected by two- and three-dimensional computed tomographic ventriculography: a new application of helical CT. *Circulation* 1998;98:933-934
14. Juergens KU, Grude M, Fallenbergh EM, et al. Using ECG-gated multidetector CT to evaluate global left ventricular myocardial function in patients with coronary artery disease. *AJR Am J Roentgenol* 2002;179:1545-1550

ダウンロードされた論文は私的利用のみが許諾されています。公衆への再配布については下記をご覧ください。

### 複写をご希望の方へ

断層映像研究会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。

本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター((社)学術著作権協会が社内利用目的の複写に関する権利を再委託している団体)と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません(社外頒布目的の複写については、許諾が必要です)。

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3F FAX:03-3475-5619 E-mail:info@jaacc.jp

複写以外の許諾(著作物の引用、転載、翻訳等)に関しては、(社)学術著作権協会に委託致しておりません。

直接、断層映像研究会へお問い合わせください

Reprographic Reproduction outside Japan

One of the following procedures is required to copy this work.

1. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has concluded a bilateral agreement with an RRO (Reproduction Rights Organisation), please apply for the license to the RRO.

Please visit the following URL for the countries and regions in which JAACC has concluded bilateral agreements.

<http://www.jaacc.org/>

2. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has no bilateral agreement, please apply for the license to JAACC.

For the license for citation, reprint, and/or translation, etc., please contact the right holder directly.

JAACC (Japan Academic Association for Copyright Clearance) is an official member RRO of the IFRRO (International Federation of Reproduction Rights Organisations).

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)

Address 9-6-41 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan

E-mail info@jaacc.jp Fax: +81-33475-5619