

NUCLEAR MEDICINE IN CLINIC

## 臨床核医学

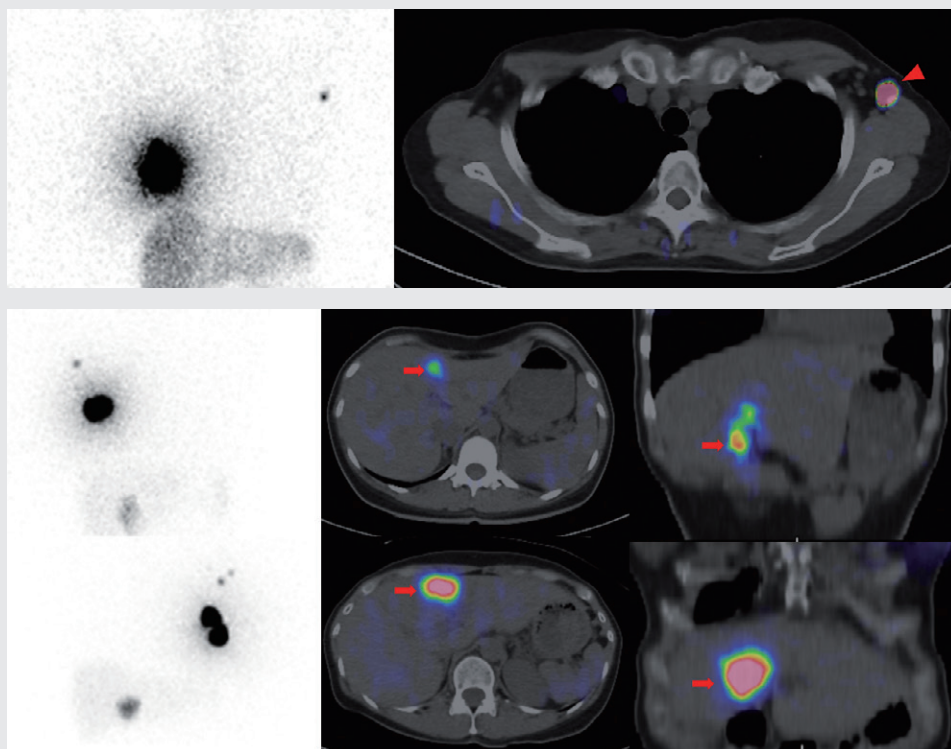
2022

Vol. 55 No. 5

9月号 65~80頁

放射線診療研究会

1968年創刊通算269号(奇数月刊行)

<http://www.meteo-intergate.com>(本誌論文検索用)

See Page 66

ホームページ・Online版 [www.rinshokaku.com](http://www.rinshokaku.com)

[症例報告] 乳腺センチネルリンパ節シンチで偶発的に認められた集積…………… 66

南本 亮吾

[教育講座] 慢性冠動脈疾患診断における冠動脈CT・FFR<sub>CT</sub>の現状と課題…………… 69

藤本 進一郎

[リレー講座] 専門医試験から学ぶ核医学の基礎と最近の話題

Vol. 2. 心臓核医学/ 心筋血流シンチ…………… 73

鈴木 康之

## 症例報告

## 乳腺センチネルリンパ節シンチで偶発的に認められた集積

## Incidental findings in breast sentinel lymph node scintigraphy

高松 佑一郎<sup>1)</sup> TAKAMATSU Yuichiro 南本 亮吾<sup>2)</sup> MINAMIMOTO Ryogo

Key words : Lymphoscintigraphy, sentinel lymph node, breast tumor

## 《はじめに》

乳腺センチネルリンパ節シンチでは、放射性薬剤を投与した乳腺と同側のいずれかの腋窩リンパ節に集積を認めることが典型であるが、非典型的な集積が偶発的に認められることがある。今回我々が経験した乳腺センチネルリンパ節シンチにおける非典型的な集積について報告する。

## 《症例1(図1)》

〔症例〕 40歳代女性。左乳癌術前でセンチネルリンパ節シンチ検査を施行。

〔検査画像所見と経過〕

ブラナー画像では、左乳腺に投与した<sup>99m</sup>Tc-フチン酸の集積が2か所見られ、左内胸リンパ節が3か所描出された(矢印)。SPECT/CT画像ではこのほか2か所の左腋窩リンパ節への集積が確認された(矢頭)。手術が施行され、左腋窩のセンチネルリンパ節には転移は確認されず、左内胸リンパ節の精査はされなかった。術後4年経過し、再発病変は確認されていない。

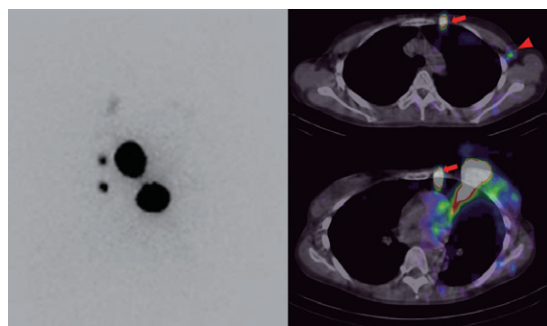


図1

## 《症例2(図2)》

〔症例〕 50歳代女性。右乳癌術前でセンチネルリンパ節シンチ検査を施行。

〔画像所見と経過〕

ブラナー画像では、右乳腺に投与した<sup>99m</sup>Tc-フチン酸の集積が見られ、右腋窩にセンチネルリンパ節が描出された。この他、右鎖骨上窩、右内胸リンパ節にも集積がみられた(矢印)。肝臓や脾臓に高い集積が認められたが、血液プールの集積も

さほど高くないものの確認され、肝臓や脾臓への集積は<sup>99m</sup>Tc-フチン酸の血液循環への移行の結果と考えられた(図2)。手術が施行され、右腋窩のセンチネルリンパ節に転移が確認されたが、右内胸リンパ節の精査はなされなかった。術後1年が経過したが再発病変は確認されていない。

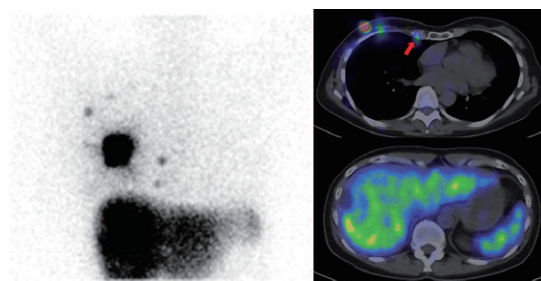


図2

## 《症例3(図3)》

〔症例〕 60歳代女性。16年前に右乳房部分切除後。右乳腺の再発病変の術前にセンチネルリンパ節シンチ検査を施行。

〔画像所見と経過〕

ブラナー画像では、右乳腺に投与した<sup>99m</sup>Tc-フチン酸の集積が見られた。右腋窩にはセンチネルリンパ節は描出されず、左側の腋窩リンパ節に明瞭な集積が確認された(矢頭)。手術が施行され、左腋窩のセンチネルリンパ節には転移は認められなかった。術後1年半が経過し、再発病変は確認されていない。

## 《症例(図4)》

〔症例〕 上段 40歳代女性。右乳癌術前でセンチネルリンパ節シンチ検査施行。

下段 40歳代女性。左乳癌術前でセンチネルリンパ節シンチ検査施行。

〔画像所見と経過〕

上段)ブラナー画像では、右乳腺に投与した<sup>99m</sup>Tc-フチン酸の集積が見られ、右腋窩にセンチネルリンパ節が描出されている。下方では、肝臓付近に限局性の集積があり、SPECT/CT画像では肝臓状間膜付近の集積であった(矢印)。手術が施行され、右腋窩のセンチネルリンパ節には転移は確認

1) 国立国際医療研究センター 放射線診断科

Department of Radiology, National Center for Global Health and Medicine

2) 国立国際医療研究センター 放射線核医学科 〒162-8655 東京都新宿区戸山1-21-1

TEL : 03-3202-7181 FAX : 03-3207-0138 E-mail : ryogominamimoto@yahoo.co.jp

Division of Nuclear Medicine, National Center for Global Health and Medicine

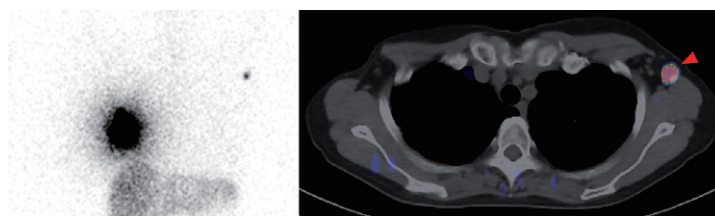


図3

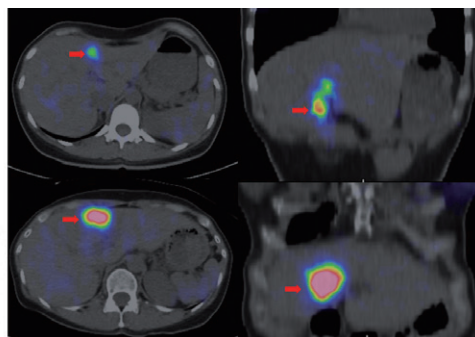


図4

されず、肝臓の精査は行われなかった。  
下段) プラナー画像では、左乳腺に投与した $^{99m}\text{Tc}$ -フチン酸の集積が見られ、左腋窩にセンチネルリンパ節及びsecondaryが描出された。右上腹部では、肝臓付近に限局性の集積がみられ、SPECT/CT画像では肝鎌状間膜付近の集積であった(矢印)。手術が施行され、左腋窩のセンチネルリンパ節には転移は確認されなかった。腹部超音波検査による肝臓の精査の結果、集積の認められた領域を含め、肝臓に異常は指摘されなかった。

#### 《考 察》

センチネルリンパ節は腫瘍から直接リンパ流を受けるリンパ節と定義され、最初に転移が起こりうるリンパ節である。リンパ節生検によりリンパ節転移を診断し、リンパ節の郭清範囲やその省略の決定、集学的治療の適応が決定される<sup>1)</sup>。

センチネルリンパ節生検の適応はcN0の症例であり、臨床的に明らかに転移と判断される場合が適応外となるが、転移で硬化したリンパ節にはRIや色素が流入せず偽陰性となることが多いことによる<sup>2)</sup>。内胸リンパ節転移陽性、腋窩リンパ節転移陰性の場合の予後は、腋窩リンパ節転移陽性乳癌の場合と同等であるが、内胸及び腋窩リンパ節に転移を認めた場合の予後は著しく不良とされる<sup>3)</sup>。術前のセンチネルリンパ節シンチによる内胸センチネルリンパ節の描出率は5.4~28.7%で<sup>3)</sup>、乳腺内側に腫瘍が存在する場合のほうが有意に内胸領域へのリンパ流が確認されたと報告されている<sup>4)</sup>。内胸センチネルリンパ節生検で転移を認める割合は11.1~23.5%と報告されている。内胸センチネルリンパ節転移により病期が変更となった症例は内胸センチネルリンパ節転移陽性乳癌の13~33%とされ、放射線療法を含む術後治療の変更により、予後が改善される可能性があるが、データが十分とは言えず、内胸リンパ節領域のセンチネルリンパ節生検の推奨には至っていない<sup>3)</sup>。

センチネルリンパ節は、放射性薬剤を投与した

乳腺と同側のいずれかの腋窩リンパ節に同定されることが典型であるが、腋窩リンパ節以外へのリンパの流れは32%と報告され<sup>5)</sup>、特に再手術の際には腋窩リンパ節以外へのリンパ経路に注意が必要である<sup>6)</sup>。初回手術での摘出リンパ節個数が多い例、乳房・腋窩への放射線治療歴のある例では生理的リンパ行路の破綻により腋窩リンパ節以外にセンチネルリンパ節が存在する可能性が高い傾向がある<sup>6,7)</sup>。足立らは、乳房部分切除後の再発乳腺病変術前のセンチネルリンパ節シンチにて対側の腋窩リンパ節が描出されたと報告している。これは以前の手術により同側腋窩へのリンパ流が遮断され、内胸リンパ節がドレーナージリンパ節となることでリンパ節を占拠する転移が発生し、左乳房内リンパ流はさらに変化して右腋窩にセンチネルリンパ節が同定されたと推測されている<sup>6)</sup>。しかし、治療歴のない例でも乳腺病変の対側の腋窩リンパ節のみがセンチネルリンパ節シンチで同定されたという報告もある<sup>8)</sup>。この症例では、撮像の後期に病変の反対側の腋窩リンパ節への集積がみられたが同側では確認できなかったことから、乳腺病変と同側のリンパ流が閉塞したことに起因すると考えられ<sup>9)</sup>、同側のリンパ節転移の可能性を示唆する所見と考察される。

センチネルリンパ節シンチ投与後の肝臓への集積は、投与した放射性薬剤が血流循環に移行し、最終的に肝臓のクッパー細胞によって貪食されることによる。一方、転移性病変や単純嚢胞には $^{99m}\text{Tc}$ -フチン酸蓄積しないため、集積欠損として描出される<sup>10)</sup>。

肝臓には主に表在性リンパ系と深部リンパ系があり、表在性リンパ系の一つとして肝鎌状間膜リンパ本幹群があり、肝右葉上面1/3前後の領域から肝鎌状間膜近傍の領域にかけて分布する肝リンパ管と肝左葉上面で肝鎌状間膜近傍領域の肝リンパ管との流入を受けて肝鎌状間膜で集束する。またこの領域には血管も収集され密なネットワークを形成する<sup>11)</sup>。集束したリンパ流は基本的には横



隔膜前部や胸骨後部など、横隔膜の上のいくつかのリンパ節群に向かって上行する<sup>12)</sup>。しかし、この領域においてリンパ流が閉塞するような場合、上方からのリンパ流がこの領域に至る可能性があり、主に胸骨傍リンパ節群の経路を逆行するとされている。Vermeerenらは、乳腺センチネルシンチで偶発的に肝鎌状間膜付近に集積が認められた症例を報告し、我々の経験した症例とほぼ同様の画像所見が確認されている<sup>13)</sup>。またこの領域に集積がみられ、後に局所リンパ節転移を伴わずこの領域に肝転移が発症した例が報告され、肝転移は乳房から肝臓への直接リンパ流によって起こったと考察されている<sup>14)</sup>。

## 《まとめ》

乳腺センチネルリンパ節シンチで偶発的に認められた非典型的な集積について報告した。非典型的な集積がみられた場合は、必ずしも即座に精査が行われない場合がある。その集積の背景となる機序を認識した上で、担当医へのコメントや経過観察を考慮する必要がある。

## 《文献》

- 1) Buscombe J, Paganelli G, Burak ZE, et al. European Association of Nuclear Medicine Oncology Committee and Dosimetry Committee. Sentinel node in breast cancer procedural guidelines. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2007; 34: 2154–2159.
- 2) nyugan.info 乳がん診療 Tips&Traps., [https://nyugan.info/medical/qa/qa3/qa3\\_11.html](https://nyugan.info/medical/qa/qa3/qa3_11.html) (最終アクセス2022年6月27日)
- 3) 日本乳癌学会 乳癌診療ガイドライン。FQ3. 内胸リンパ節領域にセンチネルリンパ節を認めた場合、生検は勧められるか? <https://jbcs.xsrv.jp/guideline/2018/index/gekaryoho/g2-fq-3/>
- 4) Coombs NJ, Boyages J, French JR, et al., Internal mammary sentinel nodes : ignore, irradiate or operate? *Eur J Cancer* 2009; 45 : 789-794.
- 5) Fehm T, Helms, G., Banys, M, et al. Management of the axilla for ipsilateral breast cancer recurrence after previous sentinel lymph node biopsy and breast conserving therapy. *Gynecol Surg* 2011; 8 : 13-18.
- 6) 足立 恵理, 藤田 崇史, 澤木 正孝, 他. Sentinel node 生検で対側腋窩リンパ節転移を診断した乳房内再発乳癌の1例. *日臨外会誌* 2013; 74: 2710-2713.
- 7) Taback B, Nguyen P, Hansen N, et al. Sentinel lymph node biopsy for local recurrence of breast cancer after breast-conserving therapy. *Ann Surg Oncol* 2006; 13 :1099-1104.
- 8) Uçmak Vural G, Şahiner I, Demirtaş S, et al. Sentinel Lymph Node Detection in Contralateral Axilla at Initial Presentation of a Breast Cancer Patient: Case Report. *Mol Imaging Radionucl Ther* 2015; 24:90-93.
- 9) Tanis PJ, et al., The hidden sentinel node in breast cancer. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2002. 29 (3): p. 305–11.
- 10) Vaidya JS, van Sandick JW, Nieweg OE, et al. An uncommon (hepatic) scintiscan during sentinel node biopsy—an optical illusion. *Int J Surg* 2008; 6: 422-433.
- 11) 北爪伸仁. ヒト肝表在リンパ管の正常構築に関する研究. *肝臓*. 1983; 24: 581-590.
- 12) Meyers MA, Charnsangavej C, Oliphant M. Patterns of spread of disease from the liver. Meyers' Dynamic Radiology of the Abdomen. In: Meyers' Dynamic Radiology of the Abdomen. Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5939-3\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5939-3_8)
- 13) Vermeeren L, Tanis PJ, Nieweg OE, et al. Lymphoscintigraphy of a breast tumor showing focal tracer accumulation along the falciform ligament of the liver. *Clin Nucl Med* 2010; 35:168-169.
- 14) Tokisawa H, Aruga T, Kumaki Y, et al. Metastasis of breast cancer to liver through direct lymphatic drainage: a case report. *J Int Med Res* 2021;49: 3000605211064793.

# Canon



求められるPET-CTを、ここに。

東芝メディカルシステムズ株式会社は、2018年1月に「キヤノンメディカルシステムズ株式会社」へ社名変更いたしました。

キヤノンメディカルシステムズ株式会社 <https://jp.medical.canon>



## 教育講座

慢性冠動脈疾患診断における冠動脈CT・FFR<sub>CT</sub>の現状と課題Current status and issues of coronary CT angiography/FFR<sub>CT</sub> in diagnosing chronic coronary artery disease

藤本 進一郎 FUJIMOTO Shinichiro

Key words : coronary CT angiography, CT-derived fractional flow reserve, chronic coronary syndrome

## Ⅰ. 慢性冠動脈疾患診断における冠動脈CTの台頭

わが国では依然として、冠動脈疾患が増加傾向にありその的確な診断・治療は重要な課題の一つである。2019年に改定された欧州心臓病学会のガイドラインでは、慢性冠症候群“chronic coronary syndrome”という概念が登場し、subclinical phaseから生涯にわたって冠動脈硬化を評価し、1次予防から2次予防まで適切なマネージメントを継続することが重要視された<sup>1)</sup>。そのため冠動脈疾患に対し、初期診断や血行再建の適応だけでなく、将来の心血管イベントに対するリスク層別化や、薬物療法の効果も評価する必要がある、非侵襲的な画像診断検査の積極的活用が推奨されている。特に画像検査の中でも冠動脈CTは1.除外診断としての陰性的中率の高さ2.左冠動脈主幹部病変の除外診断3.機能的虚血検査では評価が困難な非閉塞性冠動脈病変の存在やプラークの性状を評価可能といった観点からその重要性がさらに大きくなり、欧州心臓病学会や、米国心臓協会/米国心臓病学会のガイドライン、またそれらの変更を反映した『2022年安定冠動脈疾患の診断と治療』のアップデート版でも、初期より、検査前確率が軽度から中等度リスクを有する患者に対し、有用な検査として位置づけられている。特に、非閉塞性冠動脈病変の存在はまったく動脈硬化のない正常冠動脈と比較すると心血管イベントのリスクが上がるため、プラークの評価や他の冠動脈危険因子を考慮した薬物療法の強化が必要となる。SCOT-HEART研究では、安定狭心症が疑われる患者に対し、standard careと比較し冠動脈CT検査を追加することが予後改善に繋がったが、この要因として冠動脈CTによるプラークや石灰化の評価をもとにスタチン等の積極的な薬物療法の結果と考えられた<sup>2)</sup>。また冠動脈CTにおける閉塞性病変のみならず非閉塞性病変の存在が確認された患者においてその後に至適薬物療法であるアスピリンやスタチンの使用頻度が上昇することが報告されている<sup>3)</sup>。

Ⅱ. FFR<sub>CT</sub>の登場とその臨床的有用性に関するエビデンス

これまで冠動脈CTは解剖学的狭窄のみを評価できる検査であったが、近年、通常の冠動脈CTから数値流体力学を用いて冠血流予備比(fractional flow reserve: FFR)を算出する方法が開発された。特にHeartFlow社が開発した

FFR<sub>CT</sub>は2018年12月より本邦でも保険償還され、実臨床において活用されている。

特にFFR<sub>CT</sub>においてはこれまでに臨床的有用性に関するエビデンスが多くの大規模臨床試験で報告されている。最初にDISCOVER-FLOW<sup>4)</sup>、DeFACTO<sup>5)</sup>、NXT<sup>6)</sup>といった3つの多施設前向き研究でinvasive FFRを基準としたときCT単独での診断よりも、FFR<sub>CT</sub>のほうが診断精度に優れることが証明された。その後安定狭心症が疑われた患者に全例侵襲的カテーテル(ICA)を施行する群と最初に冠動脈CTとFFR<sub>CT</sub>を施行する2群を比較したPLATFORM研究では冠動脈CTとFFR<sub>CT</sub>を最初に行うことで有意狭窄の診断を損なうことなく、不要なICAを83%回避できるという結果であった<sup>7)</sup>。また同試験の1年後の検討において、ICAがdeferされた冠動脈CT、FFR<sub>CT</sub>群における61%の患者においてその予後は良好でかつ医療コスト削減に寄与することが示唆された<sup>8)9)</sup>。実臨床における冠動脈CTにFFR<sub>CT</sub>検査を追加することの有用性を評価したのがADVANCEレジストリー研究である。この研究では、欧米や日本の38施設、5083名が登録され、冠動脈CT後にFFR<sub>CT</sub>を追加した情報を元に、患者管理計画の63%が変更され、不要なICAを含めたその後の追加検査を回避することが可能であった<sup>10)</sup>。またFFR<sub>CT</sub>陰性(FFR<sub>CT</sub> >0.80)患者は1年後の予後も良好であり、心血管イベントのリスク層別化にFFR<sub>CT</sub>が有用であることが証明された<sup>11)</sup>。Nogaardらは、FFR<sub>CT</sub>陽性(FFR<sub>CT</sub> ≤0.80)患者のうちICAを行った患者群は、ICAを行わなかった又は延期された群と比較しMACE(心筋梗塞+心死亡)の発生が少なく、冠動脈CT上中等度狭窄を認めてもFFR<sub>CT</sub>陰性(FFR<sub>CT</sub> >0.80)であればその後のICAをdeferしても、中等度狭窄のない患者と同等の予後であることを報告した<sup>12)</sup>。これらの臨床研究から、invasive FFRと同様にFFR<sub>CT</sub>は機能的狭窄の評価や心血管イベントリスクの層別化に有用であることに加え、FFR<sub>CT</sub>が陰性であればそれ以降のICAを含めた侵襲的な追加検査は不要であることが証明された。

さらに近年は経カテーテル的冠動脈ステント留置(PCI)後のFFR値が予後に影響することを踏まえ、治療前のCTから仮想ステント留置後のFFR<sub>CT</sub>値評価に対する有用性も報告されている。120名123枝に対し、仮想冠動脈ステント留置後の

順天堂大学大学院医学研究科 循環器内科学講座 〒113-8421 東京都文京区本郷2-1-1

TEL : 03-5802-1056 FAX : 03-5689-0627 E-mail : s-fujimo@tj8.so-net.ne.jp

Department of Cardiovascular Biology and Medicine, Juntendo University Graduate School of Medicine

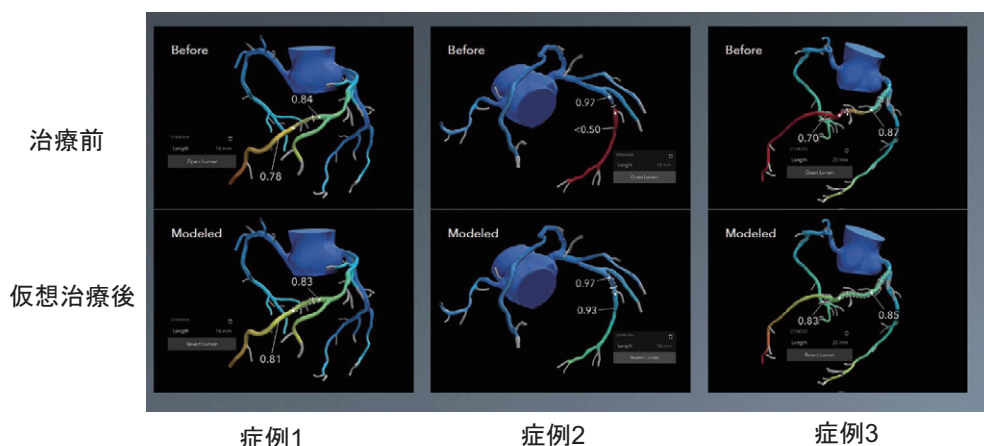


図1 仮想冠動脈ステント留置後のFFR<sub>CT</sub>評価

現在はまだ国内未導入であるが、治療前のFFR<sub>CT</sub>から(上段)治療範囲を設定することで冠動脈ステント留置後のFFR<sub>CT</sub>(下段)を推測することが可能となった。これにより治療によってもあまりFFRの改善が期待できない症例の選別(症例1)や局所病変(症例2)・多発病変(症例3)といった病変の特徴にあわせた適切な治療戦略に有用な情報を提供することができる。

(HeartFlow Inc.のホームページより引用)

FFR<sub>CT</sub>と、実際のPCI後のinvasive FFRとの相関を評価したP3 studyの結果が報告され、石灰化の程度やびまん性、またはfocalな病変に関わらず、PCI後のFFR値とFFR<sub>CT</sub>値は平均0.02程度の差であった<sup>13)</sup>。これにより、今後FFR<sub>CT</sub>は虚血の評価だけでなく、その後の治療戦略評価にも有用である可能性が示唆された(図1)。

### Ⅲ. FFR<sub>CT</sub>のガイドラインでの位置づけ

慢性冠動脈疾患の診断に対し、欧州に続き米国のガイドラインもアップデートされた<sup>14)</sup>。2021年度米国が発表した『胸痛の評価と診断』では、特に今まで冠動脈疾患の既往のない慢性冠動脈疾患が疑われる中等度リスクを有する患者においては冠動脈CTが唯一のclass IAとなり、そのうち40-90%の狭窄度を有する場合、FFR<sub>CT</sub>は機能的狭窄の評価方法としてclass IIaとなった。本邦では、日本循環器学会が提唱する『2018年改訂版慢性冠動脈疾患ガイドライン』においてはじめてFFR<sub>CT</sub>が紹介され、その診断フローにおいてSPECTやPETと同様の心筋虚血評価方法のひとつとして掲載された。その後2022年3月に発表された『2020年JCSガイドラインフォーカスアップデート版 安定冠動脈疾患の診断と治療』では、冠動脈疾患が疑われる患者の診断において、FFR<sub>CT</sub>はClass IIaに位置づけられた。

### Ⅳ. 日本の保険適応下におけるFFR<sub>CT</sub>の現状

2018年12月より本邦でもHeartFlow社のFFR<sub>CT</sub>が保険適用となった。64列以上の冠動脈CTで撮像され、50%以上の狭窄が認められた症例のCTデータをアメリカにあるスーパーコンピュータに転送し、平均5時間程度で算出することが可能である。従来の冠動脈CTに追加検査をする必要がなく、かつ冠動脈CT後に外来で行うことができる非常に有用かつ簡便な検査であり、2022年4月に施設基準が拡大されたため、今後更に広く活用されることが予想される。現在FFR<sub>CT</sub>が保険償還されているのは米国、イギリス、デンマークの一部地域、日本のみである。日本の医療制度は

社会保険システムを採用しており国民は自らの選択でどの医療機関も受診できることができ、診療報酬は出来高払いとなっている。そのため日本ではFFR<sub>CT</sub>が保険償還されるにあたりFFR<sub>CT</sub>が陰性の場合90日以内に冠動脈造影検査を行った場合の両検査の保険算定やFFR<sub>CT</sub>の結果に関わらず、invasive FFR、負荷心筋血流SPECT・PET、負荷心筋エコー、負荷心筋血流MRIといったfunctional testとの併算定はできない規定となっている。このような日本特有の保険診療下において、実際にFFR<sub>CT</sub>がどのように活用されているのかについては現在本邦の6施設(順天堂大学、三井記念病院、東邦大学大森病院、済生会熊本病院、倉敷中央病院、聖路加病院)で多施設前向きレジストリーのDYNAMIC FFR<sub>CT</sub>研究(DiscoverY of Novel Assessment Myocardial Ischemia by FFR<sub>CT</sub> study)が行われており、その結果が待たれる。

### Ⅴ. FFR<sub>CT</sub>における今後の課題

#### 1. 高度石灰化病変、ステント留置後症例

冠動脈CTにおいて高度石灰化病変はその診断能が低下することがいわれている。FFR<sub>CT</sub>においてはNXT trialのsub studyでNorgaardらは、その診断精度はAgatston scoreに影響されないと報告している<sup>15)</sup>。しかしhigh Agatston score群の12%においてFFR<sub>CT</sub>結果が得られなかったといったlimitationもあり、高度石灰化病変に対するFFR<sub>CT</sub>の適応や解釈は慎重に行うべきである。さらに現段階では、ステント留置後の評価も適応が認められていない。しかしながら深層学習機能による冠動脈3Dモデル構築はFFR<sub>CT</sub>の利点であり、学習を繰り返すことにより、これまで困難とされてきた高度石灰化病変やステント枝の評価が今後更に改善されることが期待されている。

#### 2. FFR<sub>CT</sub> 0.75~0.80のグレーゾーンと至適cut off値

一方、FFR<sub>CT</sub>値のグレーゾーン(0.75-0.80)病変に関してもその解釈は慎重に行う必要がある。FFR<sub>CT</sub>値はinvasive FFRよりも0.03から0.05低くなること、またFFR<sub>CT</sub> ≤0.75ではinvasive FFR値



と良い相関を示すが、0.76～0.80の範囲では診断能が低下することが報告されている<sup>16)</sup>。そのためグレーゾーンの病変では、プラークの情報 (positive remodelingやlow attenuation, napkin ring signといったハイリスクプラークや、総プラーク量など) や病変の位置 (近位部/遠位部やLAD/non-LADなど)、他のvesselの病変の有無、また $\Delta\text{FFR}_{\text{CT}}$ といった情報を加味することも推奨されている<sup>17)</sup>。また $\text{FFR}_{\text{CT}}$ の至適カットオフ値についても今後検討が必要かもしれない。実際invasive FFR同様の0.80よりも特異度や陽性的中率を上げるためにはカットオフ値をもう少し低くした方がよいといった報告も認められている<sup>18)</sup>。

### 3. 至適測定位置について

$\text{FFR}_{\text{CT}}$ はHeartFlow社から送信された解析結果の画面において任意の位置での $\text{FFR}_{\text{CT}}$ 値を評価することができる。一般に病変の有無に関わらずFFRは遠位になるに従い低下するが、 $\text{FFR}_{\text{CT}}$ 値はinvasive FFRに比較してその低下が大きいことが報告されている<sup>19)</sup>。そのためinvasive FFR同様にfar distalで評価を行うと過大評価をしてしまう可能性がある。そのため $\text{FFR}_{\text{CT}}$ の測定箇所において、HeartFlow社は病変の1-2cm遠位部での数値を採用することを推奨しているが、それに関して明確な基準を検討した研究はこれまでにない。一方で病変の1-2cm遠位部における $\text{FFR}_{\text{CT}}$ 値という理論では、びまん性病変における測定値がより遠位もしくは測定可能な血管径における最遠位端での値になることもあり得る。またtandemな病変であった場合、どこを狭窄後の数値とするかは病変次第であり、一部の病変を治療することでその後のFFR値が代わる可能性もある。臨床における至適測定位置に関しては今後もさらなる検討が必要であるかもしれない。

### 《V. 核医学検査をどのように活用するか》

近年の慢性冠動脈疾患の診断に関するガイドラインでは検査前確率が中等度から高度リスク (一部低リスクも含む) の患者に冠動脈CTや核医学検査といった非侵襲的画像検査を積極的活用する

ことが記載されている<sup>1)14)</sup>。米国のガイドラインでは年齢が若く (65歳未満) かつ閉塞性冠動脈疾患が疑わしくない患者には冠動脈CTを年齢が高くかつ閉塞性冠動脈疾患が疑わしい患者には核医学検査をはじめとした負荷イメージング検査が推奨されている<sup>14)</sup>。『2020年JCSガイドラインフォークラスアップデート版 安定冠動脈疾患の診断と治療』においても同様に中等度から高リスクの中でも比較的低リスクの低い患者には冠動脈CTをリスクの高い患者には負荷イメージング検査を推奨している。また米国のガイドラインでは既知の冠動脈疾患を有する患者においては負荷イメージング検査が唯一のclass Iで冠動脈CTや $\text{FFR}_{\text{CT}}$ はclass IIの位置づけとなっている。これに加え腎機能障害や造影剤アレルギーを有する患者はもちろんステント留置後、バイパス術後、高度石灰化の患者においても症例によっては負荷イメージング検査の活用を考慮する必要がある。

また近年は狭心症の原因として虚血性非閉塞性冠動脈疾患 (Ischemic non-obstructive coronary artery disease: INOCA) が注目されている<sup>20)</sup>。主に冠攣縮性狭心症、微小血管狭心症またはその複合病変が原因といわれており、最新の欧米の慢性冠動脈疾患に関するガイドラインでは鑑別疾患の一つとして記載されている。包括的診断には侵襲的カテーテルによる冠攣縮誘発検査、冠血流予備能 (CFR) や微小血管抵抗指数 (IMR) の測定が有用とされている。一方冠動脈CT・ $\text{FFR}_{\text{CT}}$ といった検査はINOCAの診断には有用ではなく、特に微小血管狭心症に関しては非侵襲的検査として絶対心筋血流量やCFRが測定できるPETといった核医学検査の活用が期待されている。実際に米国のガイドラインではINOCAの診断に対する負荷PETの活用はclass IIaに位置づけられている。

冠動脈CTや $\text{FFR}_{\text{CT}}$ の登場は慢性冠動脈疾患の診断フローの大きな位置を占めるようになってきているが、課題や限界もあり各々の症例の検査前確率や状況をよく考慮した上で核医学検査といった他のモダリティと使い分けていくことが重要である (図2)。

| 冠動脈疾患の検査前確率 | 低い             | 検査の必要性がない                     | オプション<br>ASCVDリスク層別化のためのCAC検査                                            |
|-------------|----------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
|             | 中等度～<br>高度のリスク | 若い患者<br>(65歳未満)               | または<br>あまり閉塞性CADが疑わしくない場合 → CCTAが望ましい                                    |
|             | 中等度～<br>高度のリスク | 高齢の患者<br>(65歳以上)              | または<br>より閉塞性CADが疑わしい場合 → 負荷検査が望ましい                                       |
|             |                | CCTAが望ましい場合                   | 負荷検査が望ましい場合                                                              |
| 目標          |                | ・閉塞性冠動脈病変の除外<br>・非閉塞性冠動脈病変の検出 | ・虚血ガイドラインに基づく管理                                                          |
| 利用しやすさや専門知識 |                | ・高画質の画像や専門家の解釈を日常的に入手可能       | ・高画質の画像や専門家の解釈を日常的に入手可能                                                  |
| 閉塞性冠動脈疾患らしさ |                | ・65歳未満                        | ・65歳以上                                                                   |
| 以前の検査結果     |                | ・以前の生理機能検査が不十分な場合             | ・以前のCCTAが不十分な場合                                                          |
| 他の示す兆候      |                | ・冠動脈奇形<br>・大動脈や肺動脈の評価が必要な場合   | ・瘢痕が疑われる場合 (特にPET or 負荷CMRが望ましい)<br>・微小血管障害が疑われる場合 (PET or 負荷CMRが利用できる時) |

図2 慢性冠動脈疾患の診断における冠動脈CTと負荷検査の使い分け  
検査前確率や患者背景、施行施設の特徴などを総合的に考慮した上で適切に検査を使い分けることが重要である。  
(文献14より改変引用)

# 《文 献》

- 1) Knuuti J, Wijns W, Saraste A, et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. *Eur Heart J*. 2020; 41: 407-477.
- 2) Newby DE, Adamson PD, Berry C, et al. Coronary CT Angiography and 5 -Year Risk of Myocardial Infarction. *N Engl J Med*. 2018; 379: 924-933.
- 3) Shaw LJ, Blankstein R, Bax JJ, et al. Society of Cardiovascular Computed Tomography / North American Society of Cardiovascular Imaging - Expert Consensus Document on Coronary CT Imaging of Atherosclerotic Plaque. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. 2021; 15: 93-109.
- 4) Koo BK, Erglis A, Doh JH, et al. Diagnosis of ischemia-causing coronary stenoses by noninvasive fractional flow reserve computed from coronary computed tomographic angiograms. Results from the prospective multicenter DISCOVER-FLOW (Diagnosis of Ischemia-Causing Stenoses Obtained Via Noninvasive Fractional Flow Reserve) study. *J Am Coll Cardiol*. 2011; 58: 1989-97.
- 5) Min JK, Leipsic J, Pencina MJ, et al. Diagnostic Accuracy of Fractional Flow Reserve From Anatomic CT Angiography. *JAMA*. 2012; 308:1 237-45.
- 6) Nørgaard BL, Leipsic J, Gaur S, et al. Diagnostic performance of noninvasive fractional flow reserve derived from coronary computed tomography angiography in suspected coronary artery disease: the NXT trial (Analysis of Coronary Blood Flow Using CT Angiography: Next Steps). *J Am Coll Cardiol*. 2014; 63: 1145-55.
- 7) Douglas PS, Pontone G, Hlatky MA, et al. Clinical outcomes of fractional flow reserve by computed tomographic angiography-guided diagnostic strategies vs. usual care in patients with suspected coronary artery disease: the prospective longitudinal trial of FFR(CT): outcome and resource impacts study. *Eur Heart J*. 2015; 36: 3359-67.
- 8) Douglas PS, De Bruyne B, Pontone G, et al. 1 -Year Outcomes of FFRCT-Guided Care in Patients With Suspected Coronary Disease: The PLATFORM Study. *J Am Coll Cardiol*. 2016; 68: 435-45.
- 9) Hlatky MA, De Bruyne B, Pontone G, et al. Quality-of-Life and Economic Outcomes of Assessing Fractional Flow Reserve With Computed Tomography Angiography: PLATFORM. *J Am Coll Cardiol* 2015; 66: 2315-23.
- 10) Fairbairn TA, Nieman K, Akasaka T, et al. Real-world clinical utility and impact on clinical decision-making of coronary computed tomography angiography-derived fractional flow reserve: lessons from the ADVANCE Registry. *Eur Heart J*. 2018; 39: 3701-11.
- 11) Patel MR, Nørgaard BL, Fairbairn TA, et al. 1 -Year Impact on Medical Practice and Clinical Outcomes of FFR(CT): The ADVANCE Registry. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2020; 13: 97-105.
- 12) Nørgaard BL, Terkelsen CJ, Mathiassen ON, et al. Coronary CT Angiographic and Flow Reserve-Guided Management of Patients With Stable Ischemic Heart Disease. *J Am Coll Cardiol*. 2018; 72: 2123-34.
- 13) Sonck J, Nagumo S, Norgaard BL, et al. Clinical Validation of a Virtual Planner for Coronary Interventions Based on Coronary CT Angiography. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2022; 15: 1242-55.
- 14) Gulati M, Levy PD, Mukherjee D, et al. 2021 AHA/ACC/ASE/CHEST/SAEM/SCCT/SCMR Guideline for the Evaluation and Diagnosis of Chest Pain: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*. 2021; 144: e368-e454.
- 15) Nørgaard BL, Gaur S, Leipsic J, et al. Influence of Coronary Calcification on the Diagnostic Performance of CT Angiography Derived FFR in Coronary Artery Disease: A Substudy of the NXT Trial. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2015; 8: 1045-55.
- 16) Cook CM, Petraco R, Shun-Shin MJ, et al. Diagnostic Accuracy of Computed Tomography-Derived Fractional Flow Reserve: A Systematic Review. *JAMA Cardiol*. 2017; 2: 803-10.
- 17) Nørgaard BL, Fairbairn TA, Safian RD, et al. Coronary CT Angiography-derived Fractional Flow Reserve Testing in Patients with Stable Coronary Artery Disease: Recommendations on Interpretation and Reporting. *Radiology: Cardiothoracic Imaging*. 2019; 1: e190050.
- 18) Matsumura NY, Kawaji T, Shiomi H, et al. Optimal Cutoff Value of Fractional Flow Reserve Derived From Coronary Computed Tomography Angiography for Predicting Hemodynamically Significant Coronary Artery Disease. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2019; 12: e008905.
- 19) Cami E, Tagami T, Raff G, et al. Assessment of lesion-specific ischemia using fractional flow reserve (FFR) profiles derived from coronary computed tomography angiography (FFRCT) and invasive pressure measurements (FFRINV): Importance of the site of measurement and implications for patient referral for invasive coronary angiography and percutaneous coronary intervention. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. 2018; 12: 480-92.
- 20) Kunadian V, Chieffo A, Camici PG, et al. An EAPCI Expert Consensus Document on Ischaemia with Non-Obstructive Coronary Arteries in Collaboration with European Society of Cardiology Working Group on Coronary Pathophysiology & Microcirculation Endorsed by Coronary Vasomotor Disorders International Study Group. *Eur Heart J*. 2020; 41: 3504-3520.



## リレー講座

## 専門医試験から学ぶ核医学の基礎と最近の話題

## Vol. 2. 心臓核医学 / 心筋血流シンチ

Basic knowledge and recent topics of nuclear medicine learned from the certification examination.

Vol.2. Nuclear cardiology / Myocardial perfusion scintigraphy

鈴木 康之 SUZUKI Yasuyuki

Key words : myocardial perfusion scintigraphy, gated single photon computed tomography

## 《はじめに》

本稿では日本核医学会専門医試験を受験する医師を対象に過去5年間の専門医試験の心筋血流シンチの領域で要求される知識を整理し、実際の問題の解説を行う。心筋血流シンチの実践に必要とされる基礎知識は多岐にわたるが、本稿では専門医試験で取り上げられている内容を中心に解説する。また、本稿の最後には最新の話題として心筋血流シンチの診断上有用な定量指標についても取り上げる。

## 《心筋血流シンチの基礎知識》

## 1. 負荷心筋血流シンチの読影について

専門医試験では、実際に心筋血流シンチの画像を提示し読影結果から判断する問題が出題されている。多くの施設ではSPECT画像の読影に負荷および安静時の左室短軸像、左室垂直長軸像、左室水平長軸像、極座標表示を用いて読影を行う点は共通しているが、画像表示のレイアウトや、カラースケールの色調は施設毎に異なるため、試験問題の画像でも様々なレイアウト・色調で問題画像が提示されている。受験者はそうした普段見慣れないレイアウトや画像の色調も想定しておく必要がある。また、画像読影はグレースケールの画像でも出題されているため、読影に慣れておく必要がある。さらに、最近では提示される画像もアンガーカメラによる心筋血流シンチ画像だけでなく、半導体カメラを用いた画像も提示されているので、過去の問題を参考にするとよいが、基本的には読影で判断する内容は変わらない。

心筋血流シンチの読影では多くの場合、冠動脈支配領域の診断が求められている。非常に典型的な虚血パターンを示す冠動脈1枝の異常所見だけでなく、複数の冠動脈領域の虚血による画像も提示されており、多枝病変の虚血異常部位の診断も要求されている。

画像読影では、アーチファクト・偽陰性を生じる要因や、それらを回避する方法についても問われている。具体的には腹臥位撮影による下壁のアーチファクトの減弱に関することや、多枝病変や主幹部病変によるbalanced ischemiaによる偽

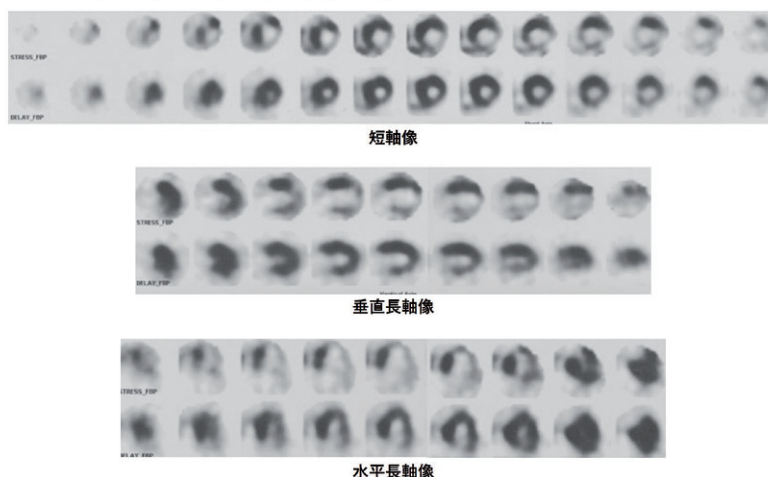
陰性を検出する指標として負荷時の一過性心内腔拡大(transient ischemic dilatation TID)についてもよく出題されており、画像所見としても判断できるようにすべきである。また、左脚ブロックにおける負荷時の中隔の可逆性欠損についても頻出である。

## 2. 放射性薬剤とプロトコールについて

負荷心筋血流シンチに関する問題では、放射性薬剤<sup>201</sup>Tl(タリウム, 以下TL), <sup>99m</sup>Tc(テクネチウム, 以下Tc)に関する基礎知識も問われている。TLはTcと比較して物理学的半減期が73時間と長く、心筋抽出率が高く、再分布現象を認め心筋のバイアビリティ評価にも用いられる。一方Tcは物理学的半減期が6時間と短いため被ばく量が少ない。さらに、TcはエネルギーがTLよりも高く画質に優れているため心電図同期SPECTによる心機能や左室容量に関する評価の信頼性が高い。

近年、循環器診療における放射線被ばくに関するガイドラインが公開され、心筋血流シンチにおいては被ばく低減のための「8つのベストプラクティス」が示されており、具体的な内容は以下の通りである。①70歳以下ではTLの使用を避ける、②TL/Tcの2核種同時使用を避ける(半導体カメラでは必ずしもこの限りではない)、③Tcの使用量を最適化する、④TLの使用量を最適化する、⑤負荷のみのプロトコールを使用する、⑥技術的方法を用いて被ばくを低減する(半導体カメラの使用や腹臥位撮影など)、⑦体重に合わせて投与量を最適化する、⑧Shine-throughを避ける投与比率を用いる。今後の負荷心筋血流シンチをアンガーカメラで実施する場合、基本的にTc製剤の使用が推奨されており、放射性薬剤の特性の理解とともに整理しておくべきである。また、近年登場した半導体カメラの特性についても専門医試験に出題されている。半導体カメラは低被ばくで高感度、高画質の撮像が可能であり、前述の8つのベストプラクティスにおいても低被ばくを実現するための有用な技術的な選択肢の1つとされている。

図1 上段：負荷（stress） 下段：安静（delay）



**問題** 60歳代，男性。高血圧，脂質異常，糖尿病で治療中。労作時胸部圧迫感精査のため運動負荷心筋血流シンチグラフィ（図1）を施行した。本症例について正しいものはどれか。1つ選べ。（2021年 第18回 問49）

- a. 三枝病変
- b. 右冠動脈病変
- c. 左回旋枝病変
- d. 左前下行枝病変
- e. 右冠動脈及び左回旋枝病変

解答：a

（解説）負荷心筋血流シンチの画像読影の問題である。図では下壁および下側壁に広範囲の可逆性欠損像を認めるため，右冠動脈及び左回旋枝領域の異常所見はすぐに判断しやすい。しかしながら心尖部及び心尖部付近の遠位部前壁にも可逆性の欠損像を認めており，左前下行枝の虚血も認めている。したがって答えはa。

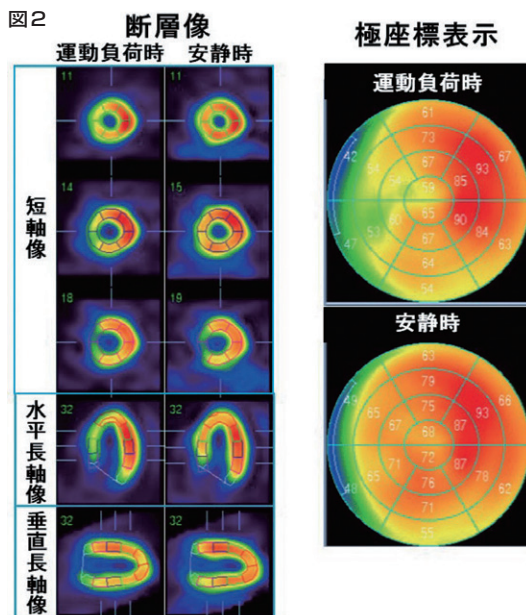
**問題** 70歳代，女性。心電図異常を指摘され，虚血性心疾患の精査目的で<sup>201</sup>Tlを用いた運動負荷心筋血流SPECTが施行された（図2）。後に冠動脈造影検査も施行されたが，正常冠動脈であった。指摘された心電図異常は次のうちどれか。1つ選べ。（2019年 第16回 問49）

- a. 心房細動
- b. 左室高電位
- c. 左脚ブロック
- d. 右脚ブロック
- e. 高度房室ブロック

解答：c

（解説）図では負荷時に中隔を中心に広範囲の可逆性欠損像を認めているが，冠動脈は正常であり，偽陽性所見と考えられる。運動負荷心筋血流シンチで中隔に可逆性欠損を示す偽陽性所見を呈する心電図異常として，左脚ブロックがよく知られて

図2

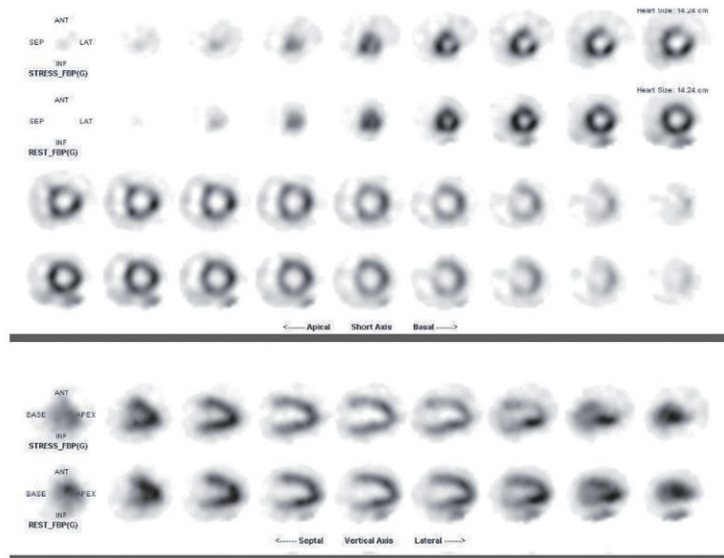


いる。特に運動負荷時の頻脈に伴って，心筋の弛緩の遅延が生じることが原因の1つと考えられている。左脚ブロックに対する負荷方法の選択としては薬剤負荷が好ましいとする報告がある。左脚ブロックと偽陽性所見については専門医試験では頻出の問題である。

**問題** 70歳代，男性。最近動作時胸部圧迫感があり，心臓超音波検査で左室機能の低下が示唆されている。別紙（図3）に負荷時および安静時に施行した心筋血流SPECTを呈示する（1,3,5段目が負荷時，2,4,6段目が安静時）。次の説明で誤っているのはどれか。1つ選べ。（2019年 第16回 問50）

- a. 明らかな心筋虚血がある
- b. 冠動脈造影では右冠動脈に病変があると考えられる

図3



- c. 虚血領域が広く積極的な治療が必要である
- d. 保存的治療では予後不良と考えられる
- e. 治療により左室機能の改善が期待できる

解答: b

(解説) 図では負荷時に心基部から心尖部付近までの前壁及び前側壁の広範囲に可逆性の血流欠損を認めている。虚血領域には再分布を認めており保存的治療よりは積極的な治療により虚血および心機能の改善が期待できる。虚血領域は下壁には認めないため、右冠動脈領域の虚血とは考えにくい。

**問題** 70歳代、女性。6か月前より坂道歩行時に胸痛が出現するため受診。エルゴメータを用いた運動負荷<sup>201</sup>TL心筋シンチグラフィが行われた。50W 3分にて負荷中止。Max HR 108 (年齢別予測最大心拍数の68%), max RPP 16,848で胸痛が出現し、心電図変化ではⅡ、Ⅲ、aVF、V4-6に水平型ST低下最大

2mmを認めた。別紙(図4)にSPECT像を示す。本症例について正しいものを1つ選べ。(2019年 第16回 問52)

- a. 運動負荷量は不十分である
- b. 一過性内腔拡大を認める
- c. 左前下行枝領域は虚血を認めない
- d. 左回旋枝領域は虚血を認めない
- e. 血行再建術の適応は低い

解答: b

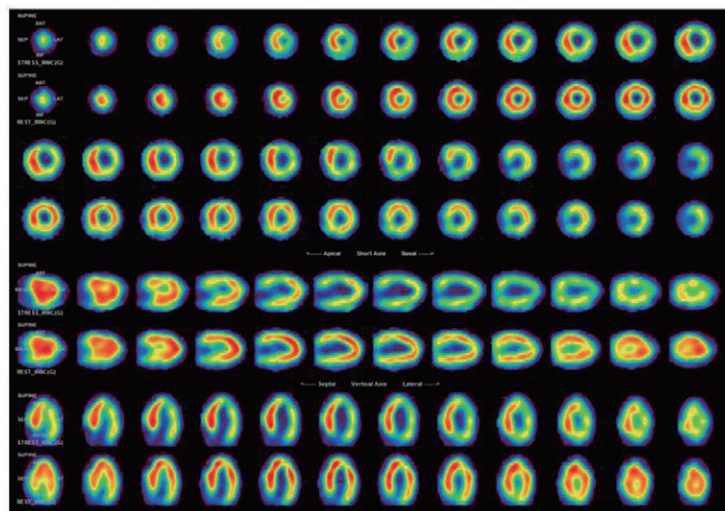
(解説) 本設問は画像読影に加えて運動負荷心筋血流シンチにおける負荷中止基準についても問われている。本症例では年齢別予測最大心拍数の68%で負荷中止となったが、胸痛の出現および心電図の高度な虚血性ST変化を認めていたことから、運動負荷量は適正であったと考えられる。心筋血流シンチの画像では前壁・側壁の広範な虚血所見を明かに認めているが、心尖部にも可逆性の

図4

短軸断層像

垂直長軸断層像

水平長軸断層像



それぞれの断層像で、上段が負荷時像、下段が安静時像

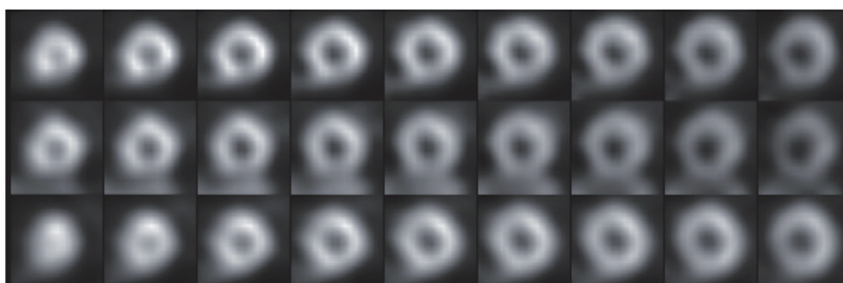


図5

負荷背臥位像

安静背臥位像

負荷腹臥位像



欠損像を認めていることから、左回旋枝および左前下行枝領域の虚血所見と考えられる。再分布を認める広範囲の虚血所見であり、血行再建術の適応である。

**問題** 60歳代、男性。2型糖尿病と高血圧症の既往あり。1か月前から非典型的胸痛症状を主訴に受診し、運動負荷・安静 $^{99m}\text{Tc}$ 心筋血流SPECT検査を受けた。安静時脈拍は70/分、血圧は136/86 mmHgであった。Bruceのプロトコル5分にて脈拍は137/分に達し、明らかな胸痛はなかった。安静時心電図は正常で負荷心電図の胸部誘導でST部分は1.0mmの上行型の低下を示した。別紙(図5)に $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI 負荷(背臥位と腹臥位)・安静像を示す。正しいのはどれか。1つ選べ。(2018年 第15回 問54)

- a. 正常範囲である
- b. 心電図変化は陽性である
- c. 冠動脈造影検査を施行する
- d. 右冠動脈領域に梗塞心筋が存在する
- e.  $^{201}\text{Tl}$  アデノシン負荷を用いて再検査する

解答: a

(解説) 本症例では背臥位の負荷時および安静時画像において下壁に固定性欠損像を認めるが、腹臥位の下壁では下壁の欠損像が消失していることから、偽陽性所見と考えられるため、冠動脈造影検査や $^{201}\text{Tl}$ とアデノシン負荷による再検査は不要と考えられる。また、固定性欠損像を示した右冠動脈領域は腹臥位撮影で改善がみられることから梗塞心筋の存在は否定的である。運動負荷心電図の陽性基準では水平型または下降型で0.1 mV以上のST下降が陽性とされ、本症例ではST上行型であり、陰性である。

**問題** 心筋負荷血流シンチグラフィについて、正しい記述はどれか。1つ選べ。(2017年 第14回 問26)

- a. アデノシン負荷前12時間は海藻類の摂取を制限する
- b. ジピリダモールはトレーサとして $^{201}\text{TlCl}$ を用いた場合のみ負荷検査の保険適応がある
- c. QT延長症候群の患者ではアデノシンによる薬剤負荷は禁忌である
- d. アデノシンに対してアナフィラキシー反応の既往がある患者に対しては、ステロイド剤を併用しての負荷検査が推奨される

- e. 血糖コントロール不良の患者ではアデノシン負荷よりもドブタミン負荷が望ましい

解答: c

(解説) 心筋血流シンチの負荷薬剤に関する知識を問う問題である。アデノシンはカフェイン類の影響によって効果が減弱するため、検査前日からカフェインの摂取を中止する。また、負荷心筋血流シンチの保険適応はアデノシンのみである。QT延長症候群の患者ではアデノシンによる薬剤負荷は刺激伝導抑制作用により、徐脈が発現した場合Torsades de pointesを誘発する可能性があり禁忌である。また、アデノシンに対して、アナフィラキシー反応の既往が確認された場合も禁忌である。アデノシンは血糖コントロール不良の影響は受けない。

**問題** 負荷心筋血流SPECTの説明で最も適切なのはどれか。1つ選べ。(2019年 第16回 問26)

- a. 心電図同期収集には $^{99m}\text{Tc}$ 標識血流製剤より $^{201}\text{TlCl}$ が適している
- b. アデノシン負荷検査で一過性の集積低下を呈する部位では、アデノシン投与時に心筋の酸素必要量に対して血流量が不足している状態にある
- c. 心電図同期収集でのR-R分割数は、 $^{99m}\text{Tc}$ 標識心筋血流製剤では32分割以上が推奨される
- d.  $^{99m}\text{Tc}$ 標識心筋血流製剤での虚血の診断には再静注は必須である
- e.  $^{99m}\text{Tc}$ 標識心筋血流製剤の心筋集積は $^{201}\text{TlCl}$ に比べ、血流増加に対する集積増加をより正確に反映する。

解答: b

(解説) 負荷薬剤のアデノシンおよび放射性薬剤の特性に関する知識を問う問題である。心電図同期収集により計測される左室容量や左室駆出率は、よりエネルギーの高い $^{99m}\text{Tc}$ 標識製剤による撮影の方が信頼度が高いことが知られている。心電図同期収集でのR-R分割数は $^{99m}\text{Tc}$ 標識心筋血流製剤では16分割が推奨されている。 $^{99m}\text{Tc}$ 標識心筋血流製剤による虚血の診断において、負荷のみのプロトコルの例が挙げられるように負荷画像で正常と診断されれば再静注は必須ではない。また、 $^{99m}\text{Tc}$ 製剤と比較し、 $^{201}\text{TlCl}$ の方が心筋抽出率が高く、血流増加に対する集積増加をより正確に反映する。したがって解答はb。

**【問題】** 負荷心筋血流SPECTにおける医療被ばく低

減の取り組みとして誤っているものはどれか。1つ選べ。(2020年 第17回 問27)

- a. 70歳以下では<sup>201</sup>Tlを利用する
- b. <sup>99m</sup>Tc標識製剤の場合、負荷時像が正常であれば安静時の検査を省略する
- c. 心臓専用半導体SPECT装置を利用する
- d. コリメータ開口径補正ソフトウェアを利用する
- e. 心臓専用コリメータを利用する

解答: a

(解説) 負荷心筋血流シンチにおける医療被ばく低減の取り組みは「8つのベストプラクティス」(前述)として近年公開されたガイドラインに記載されており、この中でTLの使用の適正化について記述されており、70歳以下ではTLの使用を避けることが推奨されているため、aが正解となる。選択肢bは8つのベストプラクティスの一つの負荷のみプロトコールに関する記述であり正しい。また、選択肢c,d,eは被ばく低減に寄与する技術的方法に関する記述であり正しい。

**【問題】** 心筋血流SPECTを行う際に、負荷法として運動負荷よりもアデノシン負荷が推奨される症例はどれか。1つ選べ。(2020年 第17回 問29)

- a. 若年者
- b. 肺気腫症例
- c. 気管支喘息症例
- d. 完全左脚ブロック症例
- e. II度房室ブロック症例

解答: d

(解説) 運動負荷または薬物負荷の選択についての設問。若年者で特に禁忌がない場合、運動負荷が第一選択と考えられる。アデノシン負荷では呼吸苦が発現することがあり、肺気腫症例や気管支喘息症例では積極的には選ばれない負荷方法である。完全左脚ブロックの症例では運動負荷時に中隔の可逆性欠損を生じることが知られており、負荷方法としては薬物負荷が推奨される。II度房室ブロックではペースメーカーが装着されていない場合アデノシン負荷は禁忌である。

**【問題】** 負荷心筋血流SPECTについて、正しい記述はどれか。1つ選べ。(2020年 第17回 問30)

- a. アデノシン負荷時に軽い労作を加えることは、心筋バイアビリティの判定に有用である。
- b. 腹臥位での撮影を追加することで、前壁の偽陽性を防ぐ効果が得られる。
- c. 一過性虚血性心拡大(transient ischemic dilatation)は、中等度狭窄を有する一枝性病変例でしばしばみられる所見である。
- d. <sup>201</sup>Tl心筋SPECTの方が、<sup>99m</sup>Tc標識製剤による心筋SPECTよりも胆のうへの高集積によるアーチファクトの頻度は高い。
- e. 半導体SPECT装置を用いると、従来型SPECT装置と比べて、より短時間で高分解能の画像が得られる。

解答: e

(解説) アデノシン負荷時に軽い労作を加えることによって、アデノシン負荷中の血圧低下を予防できる。腹臥位撮影を追加することで、下壁の偽陽性を防ぐ効果がある。一過性虚血性心拡大は、多枝病変および左主幹部病変でみられる所見である。<sup>201</sup>Tlよりも<sup>99m</sup>Tcの方が胆のうへの高集積によるアーチファクトの頻度が高い。近年登場した半導体SPECT装置は従来型の装置と比べてより短時間で高分解能の画像を撮像することが可能であり、放射性薬剤の投与量を減量することも可能である。

**《最近の話題》**

**(心筋血流シンチの定量指標について)**

心筋血流シンチは、心電図同期撮影を用いることによって様々な定量指を計測することが可能である。左室駆出率や左室容量に関する計測値は以前から知られている予後予後側の価値を持つ指標だが、他にも心筋血流分布の異常を自動的かつ定量的に検出するtotal perfusion deficit (TPD)と呼ばれる指標も有用である。TPDの算出に用いる正常例のノーマルデータベースは核医学会から公開されており、実臨床に利用可能である。また、適切な正常例のデータを集積して、自施設で作成したノーマルデータベースを用いてTPDを算出することも可能である。TPDは適正に使用すれば専門家の読影と同等の診断能をもつとされている。更に、心筋血流シンチでは左室心筋の各セグメントの収縮位相に関する計測値も計測することが可能である。左室心筋の収縮位相のずれを表現するバンド幅、その分布の標準偏差、および位相の乱雑さを表現したエントロピーの3つの指標が各種解析ソフトウェア上で解析可能である。これらの位相解析指標を核医学検査で評価できる利点は、腎機能に影響を受けないこと、植え込み式デバイスを使用している患者においても特に制限なく実施できるため再同期療法の効果判定に用いることもできる。また、心イベントの予測において、他の定量指標に対して追加的予後予測能を持つことも報告されている<sup>1)</sup>。

**《おわりに》**

本稿では、核医学専門医試験の解説を通して、心筋血流シンチの基礎知識を整理した。また、放射線被ばくガイドラインおよび半導体SPECT装置に関する内容も過去の問題に取り上げられていることから今回解説に加えた。最近の話題として、心電図同期撮影における定量指標の有用性についても紹介した。日常診療および核医学専門医試験の対策としてお役に立てれば幸いである。

**《参考文献》**

- 1) Kuronuma K, Miller RJH, Otaki Y et al. Prognostic Value of Phase Analysis for Predicting Adverse Cardiac Events Beyond Conventional Single-Photon Emission Computed Tomography Variables: Results From the REFINE SPECT Registry. Circ Cardiovasc Imaging 2021;14:e012386.

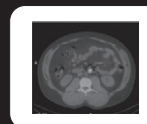
編集  
後記

先月、放射線治療医で「患者よ、がんと闘うな」の著書で知られる近藤誠氏が逝去した。私が循環器内科から放射線科に移局した年に出版されたこの書は、その翌年私が放射線治療を研修したときに通読した。がん治療の関係者にとってはセンセーショナルな内容と話題になったが、私が当時、本書を読んで驚いたのは、国内のがん治療が確立しておらず施設によりかなり異なっていたことである。また、氏はがん治療が外科医の言いなりになっており、世界の標準的な治療が無視されているとも主張していた。氏のこのような主張はその後新たな著書の中で紹介され、患者団体に広がり、25年経過した現在ではEBMの重要性も考慮され、より適切な治療方針が推奨されるようになった。しかし、いまだ外科医に比べて放射線治療医・腫瘍内科医が少ないために手術が主体となることは多いと感じる。氏はその後、「成人病の真実」で健診の不要を論じ、「抗がん剤は効かない」で抗がん剤が固形癌で無効であることなどを力説し、さらには「医者に殺されない47の心得」で医療不信を煽る結果となった。私は氏の本をいろいろ読んでみたが、あながち嘘とは言えない部分も多いと感じた。氏の主張を代弁するなら、世の診療は過剰医療であり、利害関係の中で診療が左右されているということだ。この点についてはその後、利益相反を必ず申告することが習慣となったり、EBMに基づかない診療について診療報酬が制限されたりしたことなどから改善方向には向かっているのだと思う。氏は急性心筋梗塞により搬送されたが、その日のうちに亡くなったという。「病気は症状が出てから受診すればよい」と論じていた氏が体調不調を訴えた同日に亡くなってしまったのは皮肉なことである。いずれにしても氏が、がん医療や一般診療のあり方に異議を申し立て、医療を見直すきっかけとなったことは事実である。氏のご冥福をお祈りしたい。

(編集委員長)

GE Healthcare

From  
Late  
Disease  
to  
Early  
Health



GEはEarly Health実現に向けてMolecular Imagingを使って世界の医療における変革を推進し、疾患が進行してからの医療(Late Disease)から早期診断・早期治療(Early Health)の確立を目指します。



GE imagination at work

販売名称：X線CT組合せ型PET/CT装置 Optima PET/CT500, Discovery PET/CT 600  
 薬事承認番号：221ACBZX0029000  
 販売名称：核医学診断用装置 Discovery NM/CT 670  
 薬事承認番号：222ACBZX00068000  
 販売名称：放射性医薬品合成設備 FASTlab  
 薬事承認番号：22300BZX00445000

DOC1215724

SIEMENS  
Healthineers

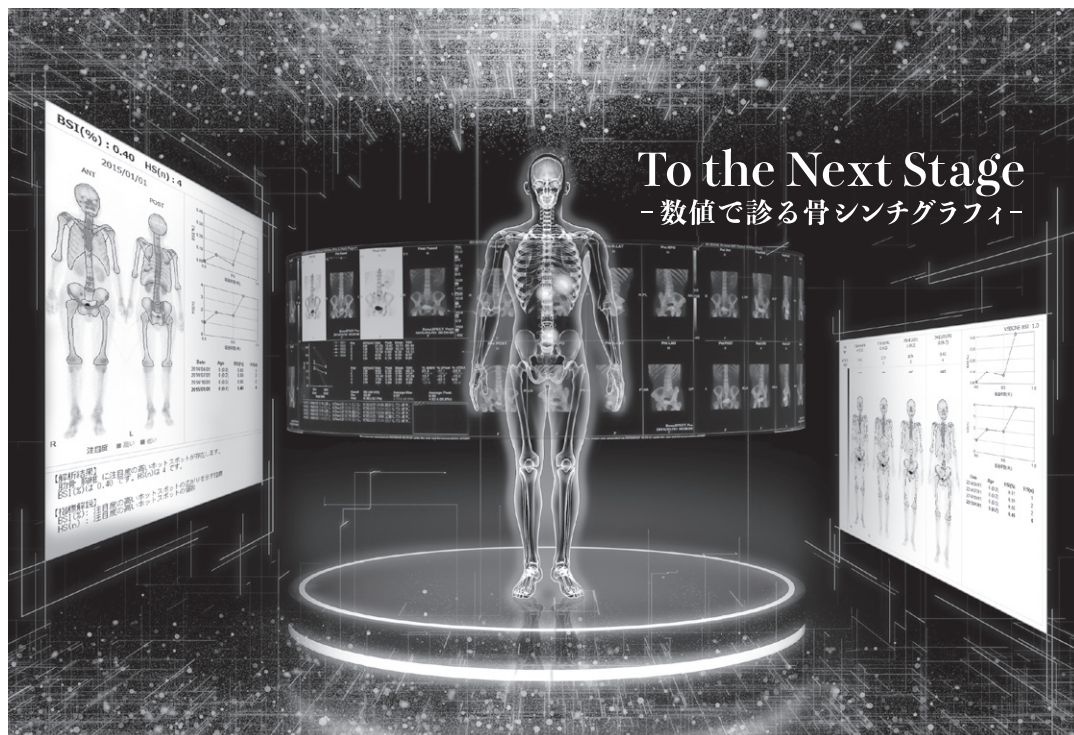
Biograph Horizon

More within reach.

[www.siemens.co.jp/healthineers](http://www.siemens.co.jp/healthineers)

X線CT組合せ型PET/CT装置 バイオグラフ ホライゾン 認証番号:227ADBZX00164000





処方箋医薬品<sup>※1</sup>

放射性医薬品・骨疾患診断薬

薬価基準収載

# クリアボーン®注

CLEARBONE® Injection

放射性医薬品基準ヒドロキシメチレンジホスホン酸

テクネチウム ( $^{99m}\text{Tc}$ ) 注射液

注) 注意-医師等の処方箋により使用すること

®: 登録商標

## 2. 禁忌 (次の患者には投与しないこと)

本剤の成分に対し過敏症の既往歴のある患者

## 4. 効能又は効果

骨シンテグラムによる骨疾患の診断

## 6. 用法及び用量

通常、成人には555~740MBqを肘静脈内に注射し、1~2時間の経過を待つて被検部の骨シンテグラムを撮る。投与量は、年齢、体重により適宜増減する。

## 8. 重要な基本的注意

診断上の有益性が被曝による不利益を上回ると判断される場合にのみ投与することとし、投与量は最小限度にとどめること。

## 9. 特定の背景を有する患者に関する注意

### 9.5 妊婦

妊婦又は妊娠している可能性のある女性には、診断上の有益性が被曝による不利益を上回ると判断される場合にのみ投与すること。

### 9.6 授乳婦

診断上の有益性及び母乳栄養の有益性を考慮し、授乳の継続又は中止を検討すること。

### 9.7 小児等

小児等を対象とした臨床試験は実施していない。

### 9.8 高齢者

患者の状態十分に観察しながら慎重に投与すること。  
一般に生理機能が低下している。

## 11. 副作用

次の副作用があらわれることがあるので、観察を十分に行い、異常が認められた場合には投与を中止するなど適切な処置を行うこと。

### 11.1 重大な副作用

#### 11.1.1 ショック、アナフィラキシー(いずれも頻度不明)

呼吸困難、血圧低下、発疹等の異常が認められた場合には、適切な処置を行うこと。

#### 11.2 その他の副作用

|       | 頻度不明                    |
|-------|-------------------------|
| 過敏症   | 発疹、そう痒感、顔面潮紅、発赤         |
| 消化器   | 嘔吐、悪心、食思不振              |
| 循環器   | チアノーゼ、血圧低下、徐脈、動悸        |
| 精神神経系 | てんかん様発作、耳閉感、頭痛、めまい、ふらつき |
| その他   | 発熱、気分不良、冷汗、四肢しびれ        |

## 14. 適用上の注意

### 14.1 薬剤投与時の注意

骨盤部読影の妨害となる膀胱の描出を避けるため及び膀胱部の被曝を軽減させるため、撮像前後できるだけ排尿させること。

## 20. 取扱い上の注意

本剤は、医療法その他の放射線防護に関する法令、関連する告示及び通知等を遵守し、適正に使用すること。

## 22. 包装

555MBq(1.5mL)[1シリンジ]、740MBq(2mL)[1シリンジ]

## 24. 文献請求先及び問い合わせ先

日本メジフィジックス株式会社  
メディカルアフェアーズ部 メディカルインフォメーショングループ  
〒136-0075 東京都江東区新砂3丁目4番10号  
0120-07-6941(フリーダイヤル)

## 26. 製造販売業者等

### 26.1 製造販売元

日本メジフィジックス株式会社 東京都江東区新砂3 丁目4 番10 号

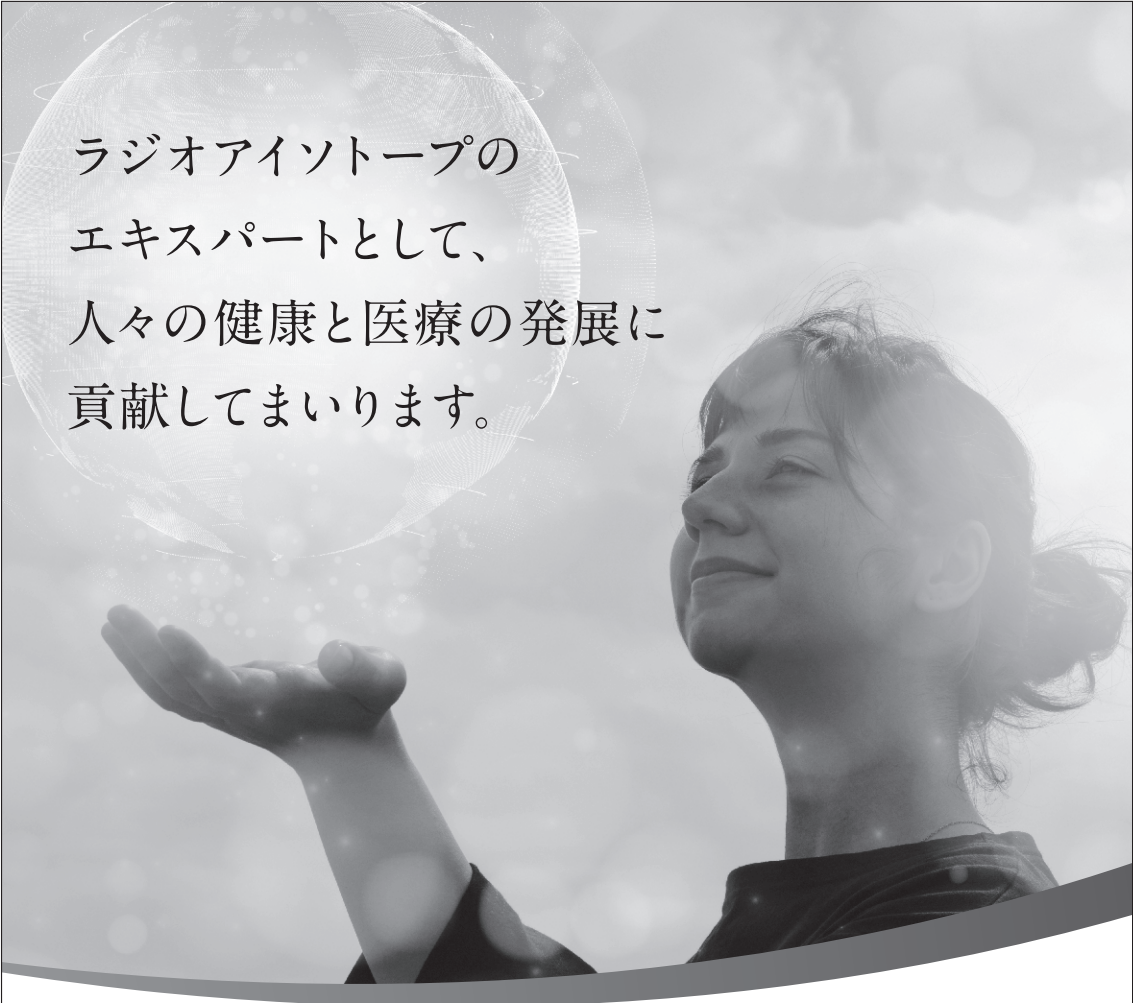
最新の詳しい情報は、電子化された添付文書をご参照ください。

 日本メジフィジックス株式会社

弊社ホームページの「医療関係者専用情報」サイトで  
SPECT 検査について紹介しています。

<https://www.nmp.co.jp>

2022年6月改訂



ラジオアイソトープの  
エキスパートとして、  
人々の健康と医療の発展に  
貢献してまいります。

PDRファーマは、1968年 第一ラジオアイソトープ研究所の創業以来、  
半世紀に亘り、核医学の発展に寄与してきました。

高品質な診断用放射性医薬品（SPECT検査、PET検査）の迅速確実なデリバリーに加え、  
治療用放射性医薬品の分野を積極的に推し進め、  
診断薬と一体となった各種治療薬の更なる拡充を図っていきます。

ペプチドリームグループの革新的な創薬力により、  
最先端の放射性医薬品をグローバルに展開し、核医学の広がり貢献してまいります。



**PDRファーマ株式会社**

〒104-0031 東京都中央区京橋2-14-1 兼松ビルディング  
<https://www.pdradiopharma.com> TEL 03-3538-3624

2022年5月作成

放射線診療研究会会長

橋本 順

〒259-1193 神奈川県伊勢原市下糟屋143 東海大学医学部専門診療学系画像診断学

臨床核医学編集委員長

百瀬 満（発行者）

〒162-0033 杉並区清水2-5-5 百瀬医院 内科・循環器内科

TEL. 03-5311-3456 FAX. 03-5311-3457 E-mail: momose.mitsuru@twmu.ac.jp

臨床核医学編集委員

井上優介、内山眞幸、汲田伸一郎、高橋美和子、橋本 順、丸野廣大、

南本亮吾、百瀬敏光、須山淳平、鳥井原彰

2022年9月20日発行