

## 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

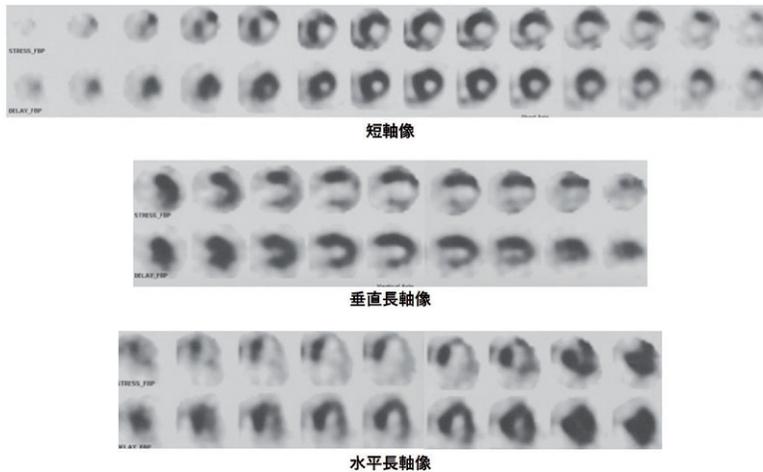
陰性を検出する指標として負荷時の一過性心内腔拡大(transient ischemic dilatation TID)についてもよく出題されており、画像所見としても判断できるようにすべきである。また、左脚ブロックにおける負荷時の中隔の可逆性欠損についても頻出である。

## 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。

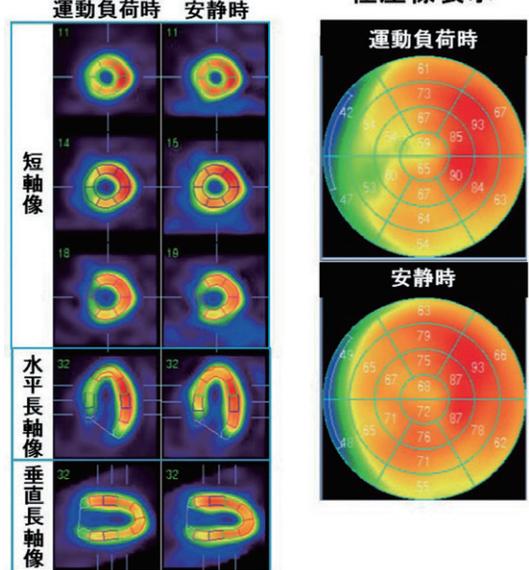
**問題** 70歳代，女性。心電図異常を指摘され，虚血性心疾患の精査目的で<sup>201</sup>Tlを用いた運動負荷心筋血流SPECTが施行された(図2)。後に冠動脈造影検査も施行されたが，正常冠動脈であった。指摘された心電図異常は次のうちどれか。1つ選べ。(2019年 第16回 問49)

- 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 断層像 運動負荷時 安静時 極座標表示

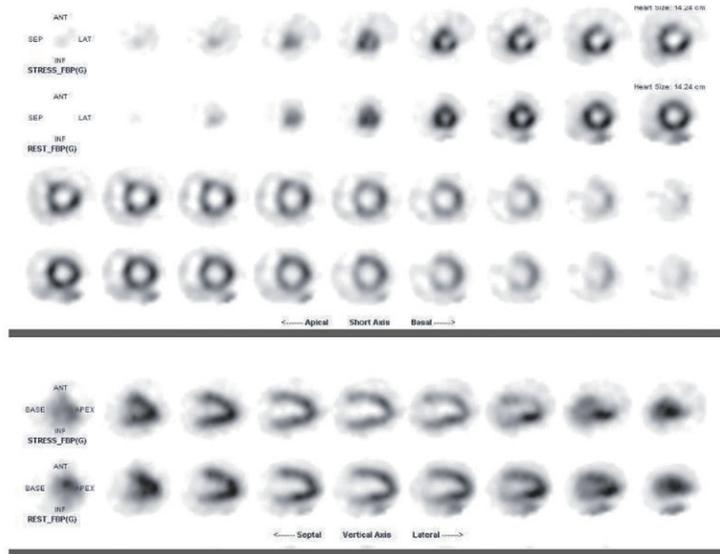


いる。特に運動負荷時の頻脈に伴って，心筋の弛緩の遅延が生じることが原因の1つと考えられている。左脚ブロックに対する負荷方法の選択としては薬剤負荷が好ましいとする報告がある。左脚ブロックと偽陽性所見については専門医試験では頻出の問題である。

**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

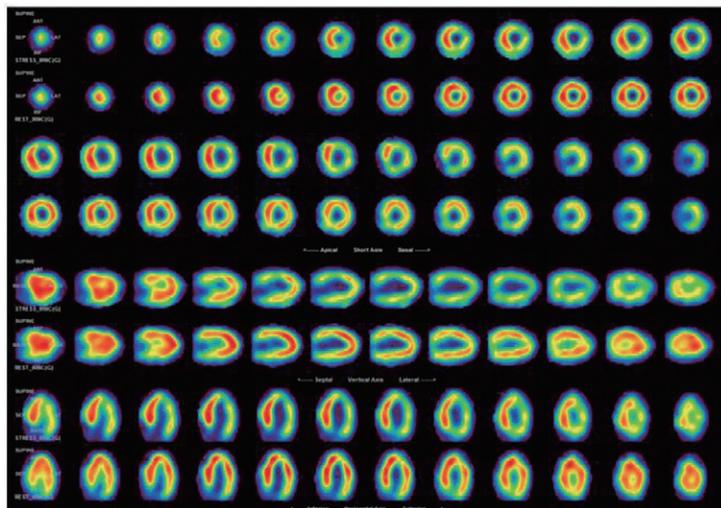
(解説)本設問は画像読影に加えて運動負荷心筋血流シンチにおける負荷中止基準についても問われている。本症例では年齢別予測最大心拍数の68%で負荷中止となったが，胸痛の出現および心電図の高度な虚血性ST変化を認めていたことから，運動負荷量は適正であったと考えられる。心筋血流シンチの画像では前壁・側壁の広範な虚血所見を明かに認めているが，心尖部にも可逆性の

図4

短軸断層像

垂直長軸断層像

水平長軸断層像



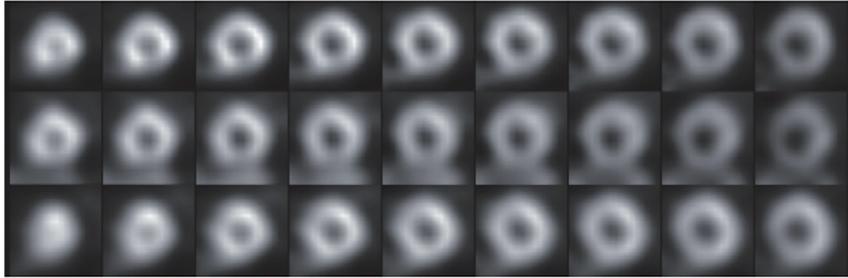
それぞれの断層像で，上段が負荷時像，下段が安静時像

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のプロトコール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)

- 正常範囲である
- 心電図変化は陽性である
- 冠動脈造影検査を施行する
- 右冠動脈領域に梗塞心筋が存在する
- $^{201}\text{Tl}$  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)

- アデノシン負荷前12時間は海藻類の摂取を制限する
- 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
- 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
- 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

- 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)

- 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
- 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
- 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
- $^{99m}\text{Tc}$ 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
- $^{99m}\text{Tc}$ 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ー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)

- 70歳以下では $^{201}\text{Tl}$ を利用する
- $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 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
- 心臓専用半導体SPECT装置を利用する
- コリメータ開口径補正ソフトウェアを利用する
- 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)

- 若年者
- 肺気腫症例
- 気管支喘息症例
- 完全左脚ブロック症例
- 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)

- 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。
- 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。
- 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。
- $^{201}\text{Tl}$ 心筋SPECTの方が、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 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。
- 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。 $^{201}\text{Tl}$ よりも $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 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測的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も、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.