リレー講座

診療に役立つ核医学の基本-専門医試験も見すえ-「心臓核医学(1)」

百瀬 満 MOMOSE Mitsuru

《はじめに》

日常の診療に役立つ核医学の基礎的・臨床的知識をリフレッシュし、さらに深めていただくことを目的に新たな連載(リレー講座)を開始することが編集委員会で決まった。その第1弾として、心臓核医学を取り上げさせていただいた。特に放射線科認定医および専門医試験を目指している医師も対象として、過去6年間の認定医および専門医試験の傾向から、専門医レベルの心臓核医学の基礎知識をまとめ、症例問題を通して読影の実際と臨床的意義について学んでいただければありがたい。

《心臓核医学の基礎知識》

認定医(一次)試験の中で心臓核医学の問題は過去6 回で14題出題されているが、そのうち11題は血流シンチグラフィに関する問題である。医療現場でも心筋シンチグラフィのうち血流シンチグラフィの占める割合は大きい。ここでは負荷・安静心筋シンチグラフィの原理と現象やその他の出題の多い検査についても述べる。

心筋血流シンチグラフィ

①用いる放射性薬剤: ²⁰¹Tl(タリウム,以下 TL), ^{99m}Tc-MIBI(MIBI), ^{99m}Tc-tetrofosmin(TF)

②負荷検査法:運動負荷、薬剤負荷がある。運動負荷はエルゴメータまたはトレッドミルを用い、多段階負荷法を行い、運動ピーク時に血流製剤を静脈投与する。一般に負荷のピークでは心筋血流は2-4倍に増加することが知られている。運動負荷が十分なされているかを判断する基準(ミシガン基準)として最大心拍数×最大収縮期血圧>25,000が知られている。この結果が期待できない症例においては以下に述べる薬剤負荷が推

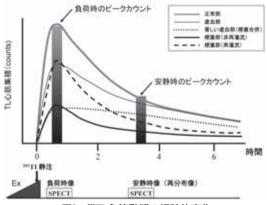


図1 ²⁰¹TI 心筋動態の経時的変化

奨される。薬剤負荷ではジピリダモール、ATP、アデノシンが用いられるが、保険で認可されているアデノシンで負荷を行う施設が多い。これらいずれの負荷薬剤も運動負荷と同様に冠血流量を増加させ、心筋内血流も増加する。高度冠動脈狭窄部位では正常部位に比べて低血流の増加に乏しく、負荷時に集積が正常部に比べて低下する原理により虚血を検出する。その他、ドブタミン負荷法があるが、これはカテコラミン作用により心仕事量を増加させ、心筋血流が2次の負荷率剤により心性事量を増加させ、心筋血流が2次的自荷薬剤と性質が異なる。前者負荷薬剤(ジピリダモール、ATP、アデノシン)使用の禁忌としては喘息と高度房室プロックがある。

③ TL の心筋動態

TLの放射性薬剤としての特徴は、負荷検査の場合 1回の注射で負荷像と安静時画像を得られることであ る。例えば一過性虚血部位(高度冠動脈狭窄領域)で は負荷時に一度取り込まれた TL がその後安静を保つ ことにより正常程度に再分布する。この再分布現象は 実際には,血流が増加するのでは無く,虚血部位の洗 い出しが低く、正常部位の洗い出しが高くなるため、 結果的に安静像で虚血部位と正常部位の差が無くなる ことにより見かけ上再分布したように見えている現象 である。図1に TL の動態を示す。それぞれの病態に おける TL 動態の経時的変化についてグラフで示した。 3-4時間後に安静像(=再分布像)を撮像した場合,正 常心筋部位では負荷時のカウントの約50%にまで集積 は低下する(従って洗い出し率は約50%)。虚血部位で は負荷時に集積は正常部よりカウントは低下しており, 安静像では正常部と同等の集積になっている。 つまり, 見かけ上では負荷時に比べ安静時には正常に近くなっ ているため「再分布している」と表現する。従って虚 血部では洗い出し率は正常に比べ低下している。高度 虚血では負荷時のカウントはより低下し、洗い出し率 もより低下する。一方, 非再灌流梗塞部では負荷時に 著しくカウントは低下しており, 正常部に対する梗塞 部のカウント比は安静時でも同等である。従って洗い 出し率は正常部と同等である。再灌流梗塞部では負荷 時のカウントが比較的高いが、洗い出しが高くなり、 安静像の集積は負荷時の正常に対するカウント比より 低くなることが多い。これは見かけ上「逆再分布」と 呼ばれている。この現象は、梗塞部に血流が再開され ていることにより、負荷をかけて血流を増加させると 梗塞に見合う以上の TL が貯留してしまうが、実際は 心筋細胞に保持することができず洗い出されてしまう という機序が考えられている。しかし実際は安静時の 梗塞部カウントが著しく低下することはなく, 逆再分 布した領域は一般に viable (機能回復が期待される)で ある。

東京女子医科大学 画像診断·核医学科 〒162-8666 東京都新宿区河田町8-1 TEL. 03-3353-8111 FAX. 03-5269-7531 e-mail:mmomose@rad.twmu.ac.jp

Dept of Diagnostic Imaging and Nuclear Medicine, Tokyo Women's Medical University

ちなみに、心筋梗塞再灌流領域では負荷を行わない 安静像-3-4時間後遅延像 SPECT においても逆再分 布現象が見られることがある(これも viable な心筋 を意味する)。

認定医試験では逆再分布に関する問題がしばしば出 題されており、TLの動態を理解することが重要であ る。

④99mTc 心筋製剤(以下 Tc)

MIBI, tetrofosmin があるが、いずれも心筋内動態 はほぼ同等である。TLとは異なり、再分布現象は無 い。従って、虚血を見るためには負荷、安静時にそれ ぞれ Tc 製剤を投与する必要がある。利点としてはエ ネルギーが TL より高く(TL 70keV vs. Tc 140keV), 画質に優れる(吸収の影響も TL より少ない)。また, 半減期が6時間と短いため同じ投与量でもTLに比べ て被曝量が少ない。従って投与量を増加させることが でき、心電図同期 SPECT における辺縁抽出は TL よ り精度が高い。

問題 急性期再灌流療法を行った急性心筋梗塞症例 ついて正しいのはどれか。2つ選べ。(2005年 第16 回一次試験 問90)

- a. 病巣に心筋血流は無い。
- b. 病巣はやがて壊死に陥る。
- 病巣に心筋血流はある。
- 病巣は左室瘤を形成する場合が多い。
- e. 病巣は生きており、機能回復が期待される。

解答: c, e

⑤心筋血流シンチグラフィの適応

過去6回の試験で2問出されている。基本的に心筋 虚血の評価であるが、①冠動脈病変の存在および重症 度診断(狭心症の診断)②冠血行再建術の適応および 術後の評価 ③非心臓手術術前の周術期リスク評価 が主な適応である。③では冠動脈病変を合併しやすい 動脈瘤手術などの動脈硬化性病変が疑われる患者でし ばしば行われている。

問題 負荷心筋血流シンチグラフィの意義はどれか。 2つ選べ。(2008年 第19回認定医試験 問94)

- a. 不整脈の手術適応の判定
- b. 虚血性心疾患の重症度判定
- c. 虚血性心疾患の血行再建術適応の判定
- d. 先天性心疾患の右左短絡の測定

e. 大動脈弁逆流症の手術適応の判定 解答:b. c

(解説) 心臓手術前の評価はあくまでも虚血の評価が 目的であり,不整脈,先天性心疾患や弁膜症などの病 態を知るものではなく、手術適応そのものの判定は困 難である。

その他の心筋シンチグラフィ

①心筋梗塞シンチグラフィ:^{99m}Tc-PYP(ピロリン酸)

梗塞部位を陽性描出する。梗塞約7日以内で描出が 可能とされる。

②心プールシンチグラフィ: 99mTc-HSA or 99mTc-RBC

アルブミン標識(HSA)または赤血球標識(RBC)の 2種類があるが、前者が主流である。血液プールを陽 性描出するため、 心電図同期で撮像することにより心 室腔の収縮拡張の評価が可能で、駆出率が算出できる。 通常は planar 像で撮像するが,近年では心プール SPECT を解析するソフト(QBS)があり、駆出率のみ ならずサイズの測定も可能である。血流イメージング の QGS と比べて、梗塞部の壁運動評価の信頼性が高 130

③脂肪酸代謝シンチグラフィ: 123I-BMIPP

認定医試験では選択枝の一つとしてのみ出題されて いるが, 同トレーサの需要は高まっており, 独立した 問題が出題される可能性がある。

BMIPP は心筋内で脂肪酸と同様の機序で心筋内に 取り込まれ、主に TG pool に貯留する。障害心筋や 虚血心では血流異常より高度に脂肪酸の取り込み異常 が起こることから、BMIPP の集積異常から障害心筋 や虚血のエピソードを知ることができる(memory imaging)。TLとの2核種同時収集を行うと、梗塞のな い高度虚血があった場合には同虚血部位に一致した両 トレーサの乖離所見が認められる。急性心筋梗塞では 血行再建術が成功すると梗塞部を中心に広い範囲で血 流代謝乖離が見られるが、成功しないか、再建術を行 わないと乖離領域は小さいか見られない。

④交感神経シンチグラフィ: 123I-MIBG

¹²³I-MIBG はノルアドレナリンの analogue で,交感 神経末梢の神経末端に取り込まれる。その後、ノルア ドレナリンと同様に再取り込み、または洗い出される。 MIBG はそうしたノルアドレナリンの動態を画像化す る。

早期像,遅延像プラナー像から心縦隔比(H/M),洗 い出し率(WR)を測定・算出する。認定試験レベルで は以下の役割を覚えておくと良い。

medi+phusics

薬価基準収載

放射性医薬品・骨疾患診断薬

処方せん医薬品注)

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(99mTc)注射液

■効能又は効果■

骨シンチグラムによる骨疾患の診断

■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 過を待って被検部の骨シンチグラムをとる。 年齢、体重により適宜増減する。

■使用上の注意■

1. **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、投与量は最少限度にとどめる

2. 副作用: 臨床試験及び使用成績調査(全12401例)において副作用が 認められた例はなかった(再審査終了時)

注)注意一医師等の処方せんにより使用すること。

詳しくは添付文書をご参照下さい。

®:登録商標

その他の副作用

CANIDANENILLAIN	
	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
	f free ft

※自発報告につき頻度不明

3. 高齢者への投与:一般に高齢者では生理機能が低下しているので、患者の状態を十分に観察しながら慎重に投与すること。

看の外恋を下力でに駆ぶしなかり限当に対すりること。 4. 妊婦、産婦、授乳婦等への投与: 妊婦又は妊娠している可能性のある婦 人及び授乳中の婦人には、原則として投与しないことが望ましいが、診断上 へ及びなれている。 の有益性が破壊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。 5. 小児等への投与:小児等に対する安全性は確立していない(現在まで ころ、十分な臨床成績が得られていない)

6. 適用上の注意: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、撮像前後できるたけ排尿させること。 7. その他の注意:(社)日本アイハーブ協会医学・薬学部会放射性医薬品 安全性専門委員会の「放射性医薬品副作用事例調査報告」において、まれ にアレルギー反応(発赤)、その他(悪心、発汗など)があらわれることがあると 報告されている。

2011年2月改訂

資料請求先

日本メジフィジックス株式会社製品に関するお問い合わせ先

〒136-0075 東京都江東区新砂3丁目4番10号 0120-076941 http://www.nmp.co.jp/

· 心臓交感神経除神経や神経再生の画像化,特に糖尿病や神経疾患(Parkinson病)などの交感神経障害の同定。早期 H/M が低下, WR は亢進する。

・心不全の重症度判定と予後予測,心筋症の病態の解明。心不全症例では MIBG の WR の亢進,後期像 H/M の低下が強いほど重症度が高い。

*近年, Parkinson 病やびまん性 Lewy 小体病の診断について認定医,専門医試験で多く出題されているので要注意。

問題 □2T-MIBG 心筋交感神経イメージングにおいて, 心筋全体への集積が低下するのはどれか。2つ選べ。 (2006年 第16回一次試験 問90)

- a. 拡張型心筋症
- b. 肥大型心筋症
- c. 狭心症
- d. 陳旧性心筋梗塞
- e. 心臟移植後(移植心)

解答: a, e

(解説) a 遅延像の集積が全体に低下する。e は除神経状態であり、心筋集積はほぼ無集積である。

心筋バイアビリティの診断

バイアビリティ診断とは心筋細胞が生存しているかどうかを、あるいは血行再建を行うことにより壁運動の改善が得られるかどうかを判定することである。心臓核医学検査の中で最も信頼性のある検査法は「FDG-PET 検査であるが、TLや MIBI、tetrofosmin を用いた心筋 SPECT のバイアビリティ診断も class Iとなっている。負荷シンチでは TL であれば胃分布、Tc 製剤であれば安静時 fill in を認めれば間違いなくバイアビリティあり、と言って良い。梗塞部の%uptake(最高カウントに対する梗塞集積の比)が50%以上をバイアビリティあり、と診断する方法もある。

|問題| 心筋バイアビリティの判定法で誤っているのは | どれか。1つ選べ。(2005年 第16回一次試験 問 | 89)

- a. 超音波検査におけるドブタミン反応性の有無
- b. MRI 検査による造影剤の遅延効果の有無
- c. ²⁰¹TICI シンチグラフィによる再分布の有無
- d. ¹⁸F-FDG の集積の有無
- e. ¹²³I-BMIPP の集積の有無

解答:e

(解説) 心臓超音波, MRI によるバイアビリティ評価は問題文の通り。BMIPP は梗塞範囲や程度が血流製剤より高度である。BMIPP 単独ではバイアビリティの判定はできない。

《専門医試験のための基礎と応用》

専門医試験は症例問題である。過去6回の専門医試験では16題の問題が出題され、虚血性心疾患が11題で大半を占める。うち3題は BMIPP, 1題がピロリン酸シンチ, 1 題が FDG-PET でそれぞれ血流シンチグラフィとの混合問題である。その他、肥大型心筋症の血流シンチグラフィが1題。 法張型心筋症, パーキンソ 病の診断で MIBG が計 4 題出題されている。 いずれも認定医の知識をフルに活用させた症例問題が並んでおり、まずは認定医のための基礎知識をしっかり把握しておいてほしい。

画像症例問題のためのアドバイス

①血流シンチグラフィ

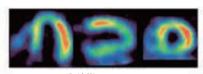
ポイントは冠動脈の心筋への支配領域を理解することが重要である。図2を参照されたい。 急性心筋梗塞の再灌流後のシンチグラフィが認定医、

急性心筋梗塞の再灌流後のシンチグラフィが認定医, 専門医の問題に目立つ。以下の例を見よう。

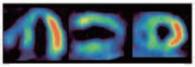
問題 50歳の男性。急性心筋梗塞にて、再潅流療法を



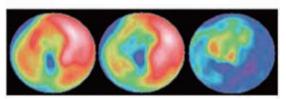
図2 冠動脈の左室心筋支配領域



15分後²⁰¹TI SPECT



4時間後²⁰¹TI SPECT



左から15分・4時間・洗い出し率のブルズアイ表示

図3 50歳男性、急性心筋梗塞の再潅流療法後

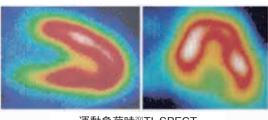
行った。²⁰¹Tl 安静時心筋シンチグラム(15分および 4時間後)を示す(図3)。最も可能性の低いのはどれ か。1つ選べ。(2006年 第15回専門医試験 問65)

- a. 病変は前壁中隔心尖部にある。
- b. 下壁の低下は減衰による偽所見が考えられる。
- c. 閉塞冠動脈の再開通は得られたと思われる。
- d. 病変は逆再分布しており、機能は回復しない。
- e. BMIPP(脂肪酸シンチグラフィ)でも分布の低下 が見られる。 解答:d

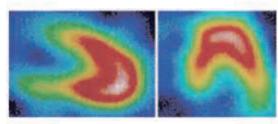
(解説) a、その通り。b、可能性はある。c、15分後の集積から viable であり、4時間後に逆再分布している。梗塞部に再灌流された場合、安静4時間後には逆再分布することが知られており、その領域は viable であることが示されている。BMIPP は再灌流に成功すると血流・代謝乖離が認められる。本症例ではこの乖離が大きいことが予想され、乖離領域は viable と判定され、機能回復が期待される。従って e は可能性が高い。

・肥大型心筋症における負荷血流シンチグラフィ

同疾患では心筋局所の肥大が特徴的である。肥大部では負荷により虚血様の所見が得られる場合が多く、例えば中隔肥大型の心筋症では負荷で中隔の集積低下(または正常集積に見える)が起こり、4時間安静像ではむしろ高度集積が見られる。SPECTを画像上の特徴としては安静像での高度集積(分厚く見える)所見で



運動負荷時201TI SPECT



4時間後²⁰¹TI SPECT

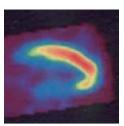
図4 胸痛と意識消失発作を主訴に来院

早期像(心縦隔比1.17)

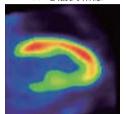


後期像(心縦隔比1.06)

図5 60歳代男性,歩行障害



201TI 心筋長軸像



18F-FDG 心筋長軸像 図6 60歳代男性,下壁心 筋梗塞

ある。そして洗い出しマップでは冠動脈領域に一致し ない肥大部の洗い出し低下が認められる。

問題 胸痛と意識消失発作を主訴に来院した。²⁰¹Tl 運 <u>動</u>負荷心筋シンチグラム(運動負荷時, 4 時間後)を 示す(図4)。最も可能性の高いのはどれか。1つ選べ。 (2006年 第15回専門医試験 問64)

- a. 中隔肥大型心筋症
- b. 心尖部肥大型心筋症
- c. 狭心症(前下行枝領域)
- d. 狭心症(多枝領域)
- e. 冠攣縮性狭心症

解答:b

(解説) 4時間後安静時像の SPECT からbと診断可 能。心尖部に高集積が見られ、心尖部以外の領域が相 対的に低下して見える。負荷像では肥大部の血流が低 下するために一見正常心筋に見える。このような所見 が中隔で見られれば中隔型の肥大である。

② MIBG 心筋シンチグラフィ

従来, MIBG は心不全の重症度評価として盛んに行 われていたが、近年では Parkinson 病などの自律神経 疾患の鑑別に用いることが多くなった。この世相を反 映してか、専門医試験でも後者の画像診断の問題が目 に付く。基本的に自律神経障害の MIBG は静注早期 像で低集積を認める。試験で出されている症例はほと んど心臓集積が見えないものが多く、解答は容易と思 われる。心不全による交感神経亢進を示す MIBG 所 見は初期像では集積が見られ、遅延像で集積が高度に 低下するパターンを示す。神経疾患の中で MIBG シ ンチグラフィ低集積となる疾患は Parkinson 病, びま ん性 Lewy 小体病, Shy-Drager 症候群, 糖尿病性神 経症である。他の選択肢の神経疾患が出た場合は当て はまらないと考えて良い。

問題 60歳代の男性。歩行障害のため来院した。¹²³I-

可能性の高い疾患はどれか。2つ選べ。(2008年 第 17回専門医試験 問63)

- a. Alzheimer 病
- b. Parkinson 病

c. 進行性核上性麻痺

d. びまん性 Lewy 小体病

e. 大脳皮質基底核変性症

解答: b, d

③バイアビリティの診断

バイアビリティの診断のための糖負荷 FDG-PET が 保険適応になっており、専門医試験でも症例問題が出 されている。FDG は血流 SPECT で低集積のため診 断が困難な症例で有用である。以下のような BMIPP との混合問題が出されている。

問題 60歳代の男性。下壁心筋梗塞部 viability 評価 のため安静時²⁰¹TICI 心筋 SPECT および糖負荷¹⁸F-FDG 心筋 PET を施行した(図6)。

本症例に¹²³I-BMIPP SPECT を施行した場合の梗塞 部集積はどれか。1つ選べ。(2008年 第17回専門医試 験 間68)

- a. 正常集積 b. ¹⁸F-FDGよりも高集積
- c. ¹⁸F-FDG と²⁰¹Tl の中間
- d. 201Tlと同等
- e. 201Tlよりも低集積

解答:e

(解説) 図のように梗塞部の集積程度は viable であ れば一般に FDG>TL>BMIPP となる。 viability が無 い場合はいずれの集積もほぼ同等に無集積となり、乖 離を認めない。

《おわりに》

2005年以降の心臓核医学に関する認定医,専門医試 験の傾向と対策について述べた。読影をする上で重要 なポイントが出題されており、 基礎知識を把握した上 で日常診療の経験を積めば解答は容易と思われる。今 回の連載記事が読者の試験対策や日常診療の一助にな れば幸いである。