

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/心筋血流以外の心筋シンチグラフィ

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

Vol. 2. Nuclear cardiology/ Myocardial scintigraphy other than myocardial perfusion

山本 篤志 YAMAMOTO Atsushi

Key words : BMIPP scintigraphy, MIBG scintigraphy, pyrophosphate scintigraphy, FDG-PET

《はじめに》

日本核医学会専門医試験を受験する医師を対象に専門医試験の心筋血流シンチグラフィ以外の心臓核医学, 具体的にはBMIPP, MIBG, ピロリン酸シンチグラフィに関して説明し, 過去の専門医試験の問題解説を行う。

《脂肪酸代謝シンチグラフィ: ^{123}I -BMIPP》

BMIPPは遊離脂肪酸のアナログで ^{123}I を標識している。長所はmemory imagingにより過去の虚血を可視化できることや, 負荷が必要ないことが挙げられるが, 一方で負荷をかけないため軽度の虚血同定は困難である。

冠攣縮性や重度の労作にて一過性の虚血が繰り返されるとBMIPPは集積低下を認め, その頻度や重症度に応じて集積低下が強くなる。持続的な虚血になるとBMIPPは欠損となり, ACSなどの梗塞を起こせば大きな欠損となる。このように, BMIPPの集積低下は範囲から責任病変が予測できるだけでなく, 程度から重症度も評価が可能となる。

BMIPPのみでは集積低下部位が心筋虚血(可逆性)なのか, あるいは心筋梗塞(不可逆性)なのか判別できないため, 一般的にはTc, Tlの心筋血流SPECTと合わせて2核種で撮像を行う。正常であればどちらも集積を認め, 労作性狭心症や冠攣縮性狭心症のような一過性虚血であれば, 血流製剤は正常集積ですがBMIPPは集積低下を認めmismatchを認めるようになる。さらに, ACSとなると再灌流療法が早期であれば血流製剤の軽度低下にとどまるが, 治療まで時間が経過しているほど, あるいは再灌流されなかった場合, 貫通性の梗塞となり両核種の高度集積低下を呈するようになる。それでは問題の解説に移る。

問題 心筋シンチグラフィで用いられる ^{123}I -BMIPPについて誤っている記述はどれか。1つ選べ。

- 心筋脂肪酸代謝を評価できる。
- 核種の物理学的半減期は $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 製剤よりも長い。
- 心筋虚血のメモリーイメージを評価できる。

- $^{201}\text{TlCl}$ を用いた心筋血流イメージングと2核種同時撮像が可能である。
- プラナー像から得られた「心/縦隔比」は心不全の予後評価に有用である。

第16回25問目。上記の通り, BMIPPは遊離脂肪酸アナログで, 心筋脂肪酸代謝を評価可能とするトレーサーである。BMIPPは ^{123}I で標識されているが, 物理学的半減期は13時間で $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (6時間)より長い。メモリーイメージングにより虚血の有無を評価する。 ^{201}Tl などの心筋血流製剤と合わせて2核種同時撮像を行うことで, 心筋血流代謝乖離の有無を確認する。

心/縦隔比はMIBGでの評価であり, 後述する。解答はe。

問題 虚血性心不全と比較して, 拡張型心筋症による心不全で一般的に見られる核医学検査所見の特徴はどれか。1つ選べ。

- 左室駆出率が低い。
- 左室拡張末期容積が小さい。
- 右室負荷が高頻度に見られる。
- 血流SPECTで見られる低下範囲が広い。
- SPECTで血流・代謝ミスマッチの頻度が低い。

第15回26問目。上記の通り, 心筋血流代謝乖離は虚血を示すため, 拡張型心筋症などの非虚血性心疾患では見られる頻度が低い。解答はe。

問題 急性心筋梗塞1週間後の安静時検査において, 虚血領域(Area at risk)に欠損を示すのはどれか。1つ選べ。

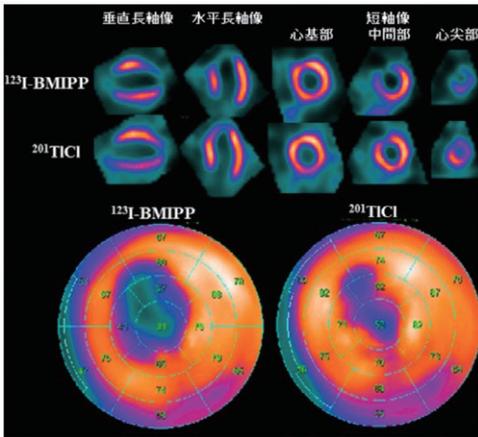
- $^{201}\text{TlCl}$
- $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI
- $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ピロリン酸
- ^{18}F -FDG
- ^{123}I -BMIPP

第13回27問目。上記の通り, memory imagingにより過去の虚血を可視化できるため, 再灌流後の心筋血流代謝乖離の範囲がarea at riskとして

表現される。解答はe。

問題 急性心筋梗塞で緊急冠動脈カテーテル治療を行なった症例の発症10日後の $^{201}\text{TlCl}$ / ^{123}I -BMIPP dual SPECTを示す(別紙No.51)。次のうち、正しいものはどれか。1つ選べ。

- 責任冠動脈病変は左回旋枝と考えられる。
- $^{201}\text{TlCl}$ と ^{123}I -BMIPPの集積に乖離(ミスマッチ)は認めない。
- 慢性期に左室壁運動障害の改善が期待される。
- 梗塞部心筋のバイアビリティはない。
- 心筋障害は認めない。



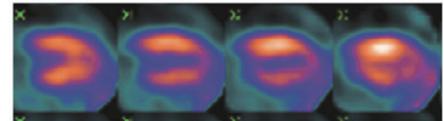
第18回51問目。前壁中隔～心尖部の血流代謝乖離(虚血による心筋障害)を認めており、LAD領域の虚血を示している。虚血領域はviabilityを認めており、壁運動、左室心機能の改善が期待される。解答はc。

問題 60歳代、女性。10日前に、労作時に突然の左前胸部痛が出現した。症状は徐々に改善したが、3日前に近医受診し心電図検査で、II, III, aV_F, V₄-V₆にST上昇、心臓超音波検査で、心尖部に高度の壁運動低下を認め、トロポニンも陽性のため当院紹介入院となる。入院後施行された安静時 $^{201}\text{TlCl}$ 心筋血流SPECT, ^{123}I -BMIPP心筋SPECT(別紙No.50:図A), および冠動脈造影(別紙No.50:図B)を示す。考えられる疾患はどれか。1つ選べ。

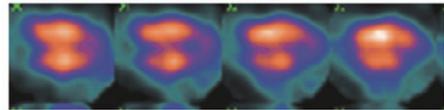
- 前壁心筋梗塞
- 下壁梗塞
- たこつぼ型心筋症
- 肥大型心筋症
- 拡張型心筋症

第13回50問目。60歳女性の胸痛。12誘導心電図で広範囲のST上昇を認め、 ^{201}Tl / ^{123}I -BMIPP心筋SPECTでは、心電図変化の部位に一致しない、心尖部の血流代謝乖離を認める。経胸壁心臓超音波検査では同部位の壁運動低下を認めるが、冠動脈造影検査では有意な狭窄、閉塞病変を認めない。全ての所見に矛盾しないのはたこつぼ型心筋症である。たこつぼ型心筋症の急性期では、心尖部で両核種の集積低下を認める。亜急性期には心筋血流の改善を認め、心筋血流代謝乖離を認めるよう

図A ^{201}Tl および ^{123}I -BMIPP

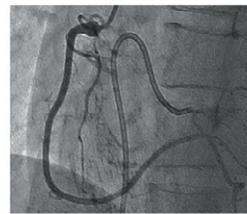


^{201}Tl 心筋血流SPECT垂直長軸断像



^{123}I -BMIPP心筋SPECT垂直長軸断像

図B 冠動脈造影



右冠動脈



左冠動脈

になり、慢性期には脂肪酸代謝も改善し両核種ともに正常集積を示す。解答はc。

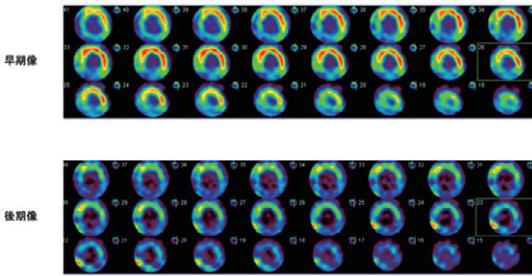
《交感神経シンチグラフィ: ^{123}I -MIBG》

心臓は交感神経の影響を強く受けているが、ノルエピネフリンの類似物質であるMIBGは同様の挙動を示し、交感神経末端においてuptake1により顆粒に取り込まれる。正常心筋では多くの交感神経終末が存在するためMIBGの高い集積が見られるが、除神経が起こった障害心筋ではMIBGは集積低下、欠損する。MIBGはこれまでの多くの研究で心不全の予後予測に有用であることが示されている。planar像で早期、後期の心臓と縦隔の集積比と心臓のカウントから計算した洗い出し率が予後の指標として使用されている。

問題 60歳代、男性。拡張型心筋症による難治性心不全にて両心室ペーシング療法を併用するも、うっ血性心不全のため入院。心不全症状改善後に ^{123}I -MIBGシンチ施行した。SPECT短軸像(別紙No.52図A上段:早期像, 下段:後期像), 正面プラナー像(別紙No.52図B左:早期像H/M比2.11, 右:後期像H/M比1.55, 洗い出し率48.3%(半減期補正なし))を示す。正しいものはどれか。1つ選べ。

- ^{123}I -MIBG投与後、早期像は1時間後、後期像は4時間後に撮像する。
- SPECT像では下後壁、心尖部の集積は正常範囲である。
- SPECT像では前壁、側壁の集積は早期像から後期像にかけて洗い出しが亢進している。
- MIBGの集積は三環系抗うつ剤の内服による影響を受けない。
- 後期像のH/M比は1.55と正常範囲であり予後良好である。

第18回52問目。MIBGは投与15分後に早期像、4時間後に後期像を撮像する。MIBGは三環系抗



うつ薬に影響を受け、心臓への集積が抑制される。H/M比(心/縦隔比)、洗い出し率の正常範囲は施設や撮像機器により異なるが、それぞれ大凡2.0以上、30%未満である。症例は下後壁から心尖部にかけて集積低下を認める。また、前壁、側壁の集積は早期像で保たれているが、後期像で集積低下を示しており、同部位の洗い出し率が亢進している。解答はc。

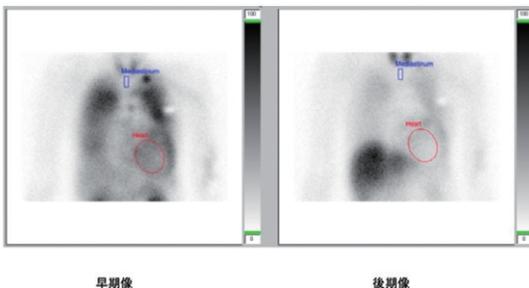
《ピロリン酸シンチグラフィ：^{99m}Tc-PYP》

^{99m}Tc-PYPシンチグラフィは骨シンチグラフィのトレーサーとして知られているが、ATTR心アミロイドーシスの検出に極めて有効であることが示されている。投与3時間後のプランナー像を用いた視覚評価では、心筋への取り込みを骨と比較しgradingする。grade2以上でATTR心アミロイドーシスの可能性が高いとされるが、プランナー像では心プールの影響も除外できないため、可能な施設であればSPECT imageも撮像し併せて評価を行う。

心臓に相当する部位に関心領域を置き、その対側に置いた関心領域でのカウントの比であるH/CL比も診断に有用であることが示されている。^{99m}Tc-PYPでのAL、ATTRの鑑別能を検討した過去の研究では、心筋への集積はATTRで有意に高く、特にH/CL比が1.5をcutoff値とするとATTRにおいて感度97%、特異度100%となり、鑑別に非常に有用であることが示されている。

問題 心アミロイドーシスならびに関連する核医学検査について、誤っているものはどれか。1つ選べ。

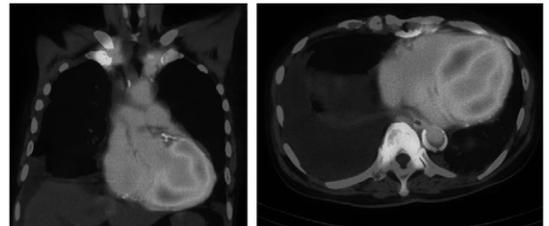
- a. 心アミロイドーシスにはATTRとALがある。
- b. ^{99m}Tcピロリン酸シンチグラフィはATTR心アミロイドーシスによく集積する。
- c. ^{99m}Tcピロリン酸シンチグラフィでは血液プールと心筋への集積との鑑別にSPECTが役立つ。
- d. ^{99m}Tcピロリン酸シンチグラフィで心筋集積の有無の判定が難しい場合、24時間後の後期像の撮像が役立つ。
- e. 手根管症候群にしばしば合併する。



第18回27問目。上述の通り、^{99m}Tc-PYPはATTR心アミロイドーシスに特異的に集積を認める。planar像で評価を行うが、心プールの影響が除外できない際は、SPECT imageによる評価も行う。心アミロイドーシスは大きくATTR、ALに分類される。全身性疾患のため、手根管症候群や腎機能障害など、複数の診療科にまたがった症状を呈するため、関連診療科への啓発が重要である。投与3時間後に撮像する。解答はd。

問題 84歳男性。2ヶ月前から徐々に労作時息切れが出現し、全身浮腫を認めるようになり、入院となった。^{99m}Tc-PYPシンチグラフィをSPECT-CTにて施行した。図(別紙11ページNo.52)にSPECT-CT像(左:冠状断面、右:水平断面)を示す。本症例について正しいものはどれか。1つ選べ。

- a. 国内では東北地方での罹患率が特に高い。
- b. ^{99m}Tc-PYP静注後、24時間後に撮像する。
- c. 脊椎への^{99m}Tc-PYP集積は異常所見である。
- d. 左室への^{99m}Tc-PYP集積は検査前に糖質制限がされていないためである。
- e. 治療薬はタファミジス(ピンダケル)である。



第17回52問目。左室心筋にびまん性の^{99m}Tc-PYP集積を認めており、ATTR心アミロイドーシスが強く疑われる。上述の通り、^{99m}Tc-PYPは骨シンチグラフィのトレーサーのため、骨へ生理的に集積を認める。撮像は投与3時間後である。本症例は高齢男性であり、野生型のATTR心アミロイドーシスが疑われるが、遺伝型では長野県、熊本県、石川県に多く見られる。現在、ATTR心アミロイドーシスに対する最新の治療薬として、タファミジス(ピンダケル)が開発され、使用されている。解答はe。

問題 80歳代、男性。大動脈弁狭窄症および心機能低下で経カテーテル的大動脈弁治療を受けた。治療後も心機能低下が改善せず、虚血性心疾患評価のため負荷心筋血流SPECTが行われたが陰性のため、精査目的にピロリン酸シンチグラフィが行われた(別紙No.53)。画像及び疑われる対象疾患について、以下の選択肢で正しいものはどれか。1つ選べ。

- a. 高齢の大動脈弁狭窄症患者では極めて稀である。
- b. 疾患タイプと心筋集積との関連性は低い。
- c. 保険診療として実施できる。
- d. 左室肥大を呈することは少ない。
- e. 現時点では治療薬はない。

第18回53問目。左室心筋にびまん性の^{99m}Tc-PYP集積を認めており、ATTR心アミロイドー

シスが強く疑われる。高齢の重度大動脈弁狭窄症患者において、一定の割合で存在すると報告されており、びまん性の心肥大を示すため、大動脈弁狭窄症や肥大型心筋症などその他心肥大を示す心疾患との鑑別が重要である。上述の通り、 ^{99m}Tc -PYPシンチグラフィは肥大心呈する他疾患との鑑別に極めて有効であり、保健適応である。現在、ATTR心アミロイドーシスに対する最新の治療薬として、タファミジス(ビンダケル)が開発され、使用されている。解答はc。



《糖代謝PET： ^{18}F FDG-PET》

以前は虚血性心疾患における、viability評価として使用されていたが、現在では心サルコイドーシスの活動性炎症評価に使用されており、心サルコイドーシスにおけるFDG-PETについて説明する。サルコイドーシスとは全身の非乾酪性類上皮肉芽腫形成を特徴とする疾患である。心サルコイドーシスは心筋に活動性炎症を呈し心筋細胞を障害する疾患で、完全房室ブロックなどの伝導障害や重症心不全を引き起こし、予後不良であることが知られている。FDG-PETは活動性炎症の病変に集積することから、心サルコイドーシスの診断、活動性炎症の評価に有用であり、診断基準の主徴候の一つとなっている。活動性炎症の評価として、FDG集積の半定量的な指標であるstandardized uptake value (SUV)値が用いられている。通常、心筋は糖代謝を行っており、通常のプロトコルでは心筋への生理的集積を認めるため、それを抑制するために、24時間の炭水化物制限と18時間の絶食を必要とする。

問題 心臓サルコイドーシスのFDG-PETによる検査をする際の絶食時間で妥当なものはどれか。1つ選べ。

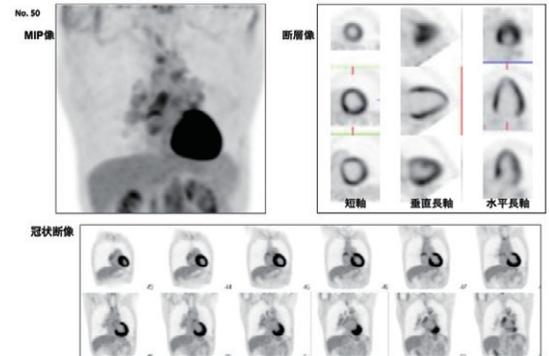
- 必要なし
- 2時間
- 5時間
- 8時間
- 18時間

第18回30問目。上述の通り、18時間の絶食と絶食前の低炭水化物食を併用することで、心筋への生理的集積を抑制することができる。解答はe。

問題 60歳代、男性。肺サルコイドーシスで経過観察中、心機能の低下・左室拡大・完全房

室ブロックを呈した患者のFDG-PETを別紙No.50に示す。FDG-PET画像の評価として誤っている選択肢はどれか。1つ選べ。

- 心筋集積の分布パターンからは心筋病変の評価は困難である。
- 本症例の場合、半定量指標：SUVの値によって診断が左右される。
- 絶食などの前処置が不十分であった可能性が考えられる。
- 縦隔および肺門リンパ節の異常集積が見られる。
- 診断ガイドラインではFDGの心筋異常集積は主徴候の一項目になっている。



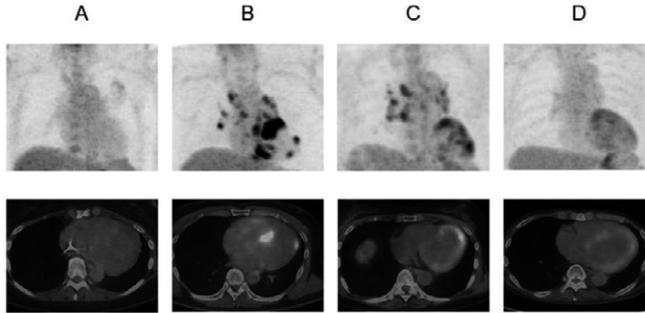
第18回50問目。肺サルコイドーシスを伴う60歳男性が心機能の低下と、完全房室ブロックを認めたため、心サルコイドーシスの合併を疑い、FDG-PETを試行したと考えられる。縦隔、肺門リンパ節に集積を認めており、リンパ節サルコイドーシスの合併が考えられる。心臓に関しては、びまん性に強い集積を認めることから、炭水化物制限が不十分だったことによる、生理的集積が疑われる。そのため、この検査所見やSUV値からは心筋の活動性炎症の有無は評価困難である。上述の通り、FDG集積は診断基準の主徴候の一つとなっている。解答はb。

問題 心臓サルコイドーシスと診断された4名の患者A～Dの ^{18}F -FDGPET/CT画像を図(別紙12ページNo.54)に示す。いずれも検査前日の夕食は、午後6時に5g未満の低炭水化物食を摂取し、その後18時間以上の長期絶食後に検査を施行した。以下の記述のうち、正しいものはどれか。1つ選べ。

- B, C, Dの3名の患者を陽性(活動性炎症あり)と判定した。
- 心臓サルコイドーシスにおける心筋生検の陽性率は60%を超えるので積極的に施行すべきである。
- 前処置を十分に行えば、 ^{18}F -FDGPET検査の陽性率は十分に高いので、 ^{67}Ga -citrateシンチグラフィは診断基準から除外された。
- 患者Bが、心電図にて完全房室ブロックを認めたのでステロイド治療を開始した。
- ガドリニウム造影MRIにおける心筋の遅延造影所見は、非特異的な所見なので心臓サルコイドーシスの診断には役立たない。

第17回54問目。心サルコイドーシスにおける心筋生検の陽性率は約20%と低い。⁶⁷Ga シンチグラフィはFDG-PETと比較すると診断率が低いが、FDG-PETの異常集積と同様、診断基準の主徴候となっている。心臓造影MRIにおける遅延造影所見も診断基準の主徴候の一つとなっており診断

に有用である。Bの症例は心筋中隔に強い活動性炎症を認めており、房室ブロックを呈する可能性がありステロイド治療の適応と考えられる。Dの症例に関しては、淡いびまん性の心筋集積であることから、積極的に活動性炎症とは指摘できない。解答はd。



上段：¹⁸F-FDG PETの胸部MIP画像 (Maximum intensity projection image)
下段：¹⁸F-FDG PET/CTの左心室レベルの融合画像 (PET/CT fusion image)





Biograph Horizon

More within reach.

www.siemens.co.jp/healthineers

X線CT組合わせ型ボットロンCT装置 バイオグラフ ホライズン 認証番号:227ADBZX00164000