

第50回 ニュータウンカンファレンス

The 50th New Town Conference

Cardiovascular Nuclear Medicine

記録集

2025年2月22日(土) オンラインライブ配信



Contents



第50回記念講演 ————— 3

座長：汲田 伸一郎先生(日本医科大学)

循環器診療における心臓核医学検査の温故知新： 診断から予後を見据えて ————— 3

中田 智明先生(函館五稜郭病院)

指定講演 I ————— 6

これからの心臓核医学～定量評価とAI～

座長：松本 直也先生(日本大学)、福島 賢慈先生(福島県立医科大学)

1.冠動脈の包括的機能評価～心筋血流定量の現状～ ————— 6

立石 恵実先生(国立循環器病研究センター)

2.AIによる心筋SPECT診断の進化と定量評価の可能性 ————— 8

鈴木 康之先生(日本大学)

指定講演 II ————— 10

循環器内科医のための心筋SPECT活用講座

座長：沖崎 貴琢先生(旭川医科大学)、石井 秀樹先生(群馬大学)

1.CCTAファースト時代の心筋SPECTの活用法 ————— 10

山田 慎一郎先生(北播磨総合医療センター)

2.フォローアップSPECTを再考する ————— 12

坂谷 知彦先生(大阪鉄道病院)

指定講演 III ————— 14

心筋SPECTのイメージングからレポートニングまで ～適切な診断・治療のために～

座長：工藤 崇先生(長崎大学)、皿井 正義先生(藤田医科大学)

1.心筋SPECTの適正画像を作るために ————— 14

森 一晃先生(虎の門病院)

2.読影&レポートニングの極意 ————— 16

仁科 秀崇先生(筑波メディカルセンター病院)

循環器診療における心臓核医学検査の温故知新: 診断から予後を見据えて



座長
日本医科大学
汲田 伸一郎 先生



函館五稜郭病院
中田 智明 先生

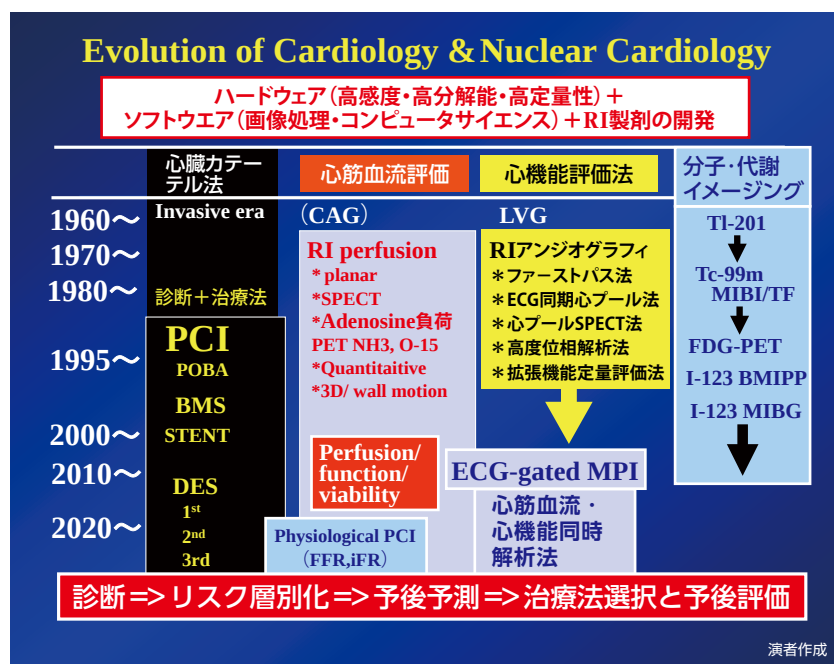
心臓核医学の進化による 循環器診療の発展

図1は心臓病学と心臓核医学の進化についてまとめたものである。心臓核医学の分野では、画像診断機器のハードウェアが高感度・高分解能・高定量性といった点で大きく進歩してきた。これに加えて、特に過去10～20年でソフトウェア、画像処理、コンピューターサイエンスの分野も飛躍的に発展し、RI製剤も次々と開発されている。また、私が医師になった頃は侵襲的な検査しか行えなかった循環器領域において、現在では心エコーを含む非侵襲的な検査法や核医学的手法が確立され、定量的な指標を用いた評価が可能となった。これらの技術革新は、低侵襲のPCIや低侵襲冠動脈バイパス手術（MIDCAB: minimally invasive direct coronary artery bypass）にも大きく貢献し、患者の身体に負担の少ない診断・治療法の発展に寄与している。現在では、単に診断を行うだけでなく、疾患の重症度やリスクの定量的評価、適切な予後予測と治療選択、さらには治療効果の評価を目的とした心臓核医学検査が日常的に行われている。

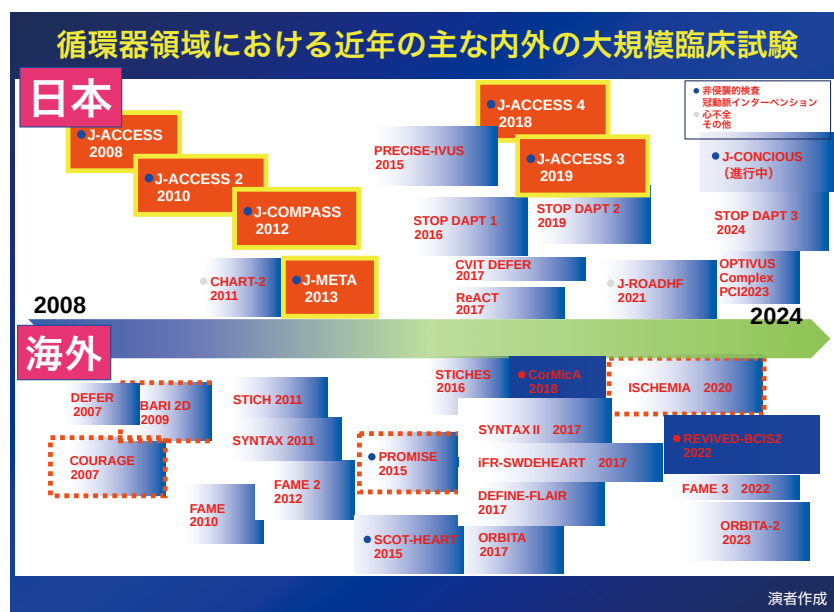
心筋虚血に対する 定量評価の重要性

心筋虚血を定量的に評価することは、視覚的評価に伴うバラツキとバイアスを軽減できるため、サイエンスの分野では重要な捉え方となる。臨床医は、患者の病歴や他の合併症とともに、局所の心筋虚血の範囲と深さを定量的に評価し、それが予後にどの程度影響を及ぼすのかを把握することが重要である。実際に、COURAGE試験のnuclearサブ解析、BARI-2D試験、PROMISE試験、ISCHEMIA試験およびそのサブ解析など、多くの大規模介入試験から得られた豊富なエビデンスがその重要性を支持している。

こうした国際的な研究の進展とともに、本邦においてもインターベンションの専門家を中心に非侵襲的な検査・診断と治療を結びつける様々なエビデンスが生み出されてきた。特に、国内の117施設、4,629症例の登録から始まったJ-ACCESS試験のデータが、本邦では最大かつ最良のエビデンスとして位置付けられている（図2）。



【図1】



【図2】

¹²³I-BMIPP心筋SPECTの登場による 心臓核医学への貢献

心筋虚血状態になると、心筋は大量のATPを産生する能力が低下する。心臓は膨大なエネルギーを必要とするため、通常は長鎖脂肪酸を用いて多くのATP（長鎖脂肪酸1molから130ATP）を産生するが、これには酸素を多く必要とするため虚血に非常に弱い。一方、心筋虚血下では酸素供給不足により嫌氣的糖代謝（1molグルコースから3ATP）にシフトする。再灌流が成功すると、好氣的糖代謝（1molグルコースから37ATP）に戻るが、糖代謝だけでは必要なエネルギーが賄えず、延命を図るため少しでもエネルギーを節約する方向にシフトし、いわゆる冬眠心筋、あるいは気絶心筋の状態が続く。そこで、¹²³I-BMIPPトレーサが開発された。¹²³I-BMIPPはベータ位にメチル基を導入することで、 β 酸化を遅延させ、虚血時の心筋エネルギー代謝状態を可視化できる手法となった。

¹²³I-BMIPP心筋SPECTを活用した自験例について述べる。心筋梗塞後に保存的治療を受けた40代の男性症例では、²⁰¹Tl心筋SPECTで前壁中隔に高度な再分布を示す虚血所見が認められたが、安静時¹²³I-BMIPP心筋SPECTでは、安静時血流と大きなミスマッチが確認された（図3）。つまり、血流は回復しているにもかかわらず、虚血心筋が残存していることを示唆する結果であった。その後、心電図同期心プールSPECTによる位相解析で局所壁運動を評価したところ、¹²³I-BMIPPの欠損領域と一致して、前壁中隔の壁運動低下が明瞭に描出された。このことは、虚血心筋による壁運動異常、すなわち冬眠心筋状態であることを明瞭に示しており、その後待機的PCIを実施したところ、心筋虚血および壁運動は改善された。

また、急性心筋梗塞発症後にPCIを実施した症例におい

て、発症から8日後では²⁰¹Tl心筋SPECTと¹²³I-BMIPP心筋SPECTのミスマッチが大きく、左室造影検査（LVG:left ventriculography）での壁運動異常は顕著であったものの、発症から6カ月後にはミスマッチが軽減し、¹²³I-BMIPPの集積や壁運動が改善したことも報告されている¹⁾。

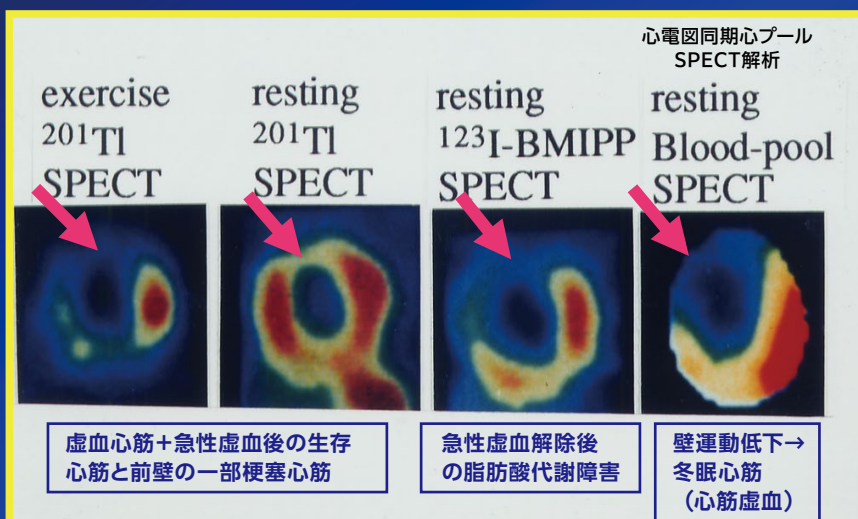
急性心筋梗塞発症後症例では、心筋血流（²⁰¹Tl心筋SPECT画像）と心筋脂肪酸代謝（¹²³I-BMIPP心筋SPECT画像）の観点から3つのパターンが知られており、心筋がサルベージされていない「両者欠損型」、集積の程度に中等度の乖離がある「集積乖離型」、再灌流後の脂肪酸代謝集積も全く正常な「両者正常型」に分類できる²⁾。このように、¹²³I-BMIPP心筋SPECTを活用することで心筋のサルベージされている程度を定量的に評価することができる。

¹²³I-BMIPP心筋SPECTを用いた急性心筋梗塞後患者の心事故回避率をBMIPPスコアとミスマッチスコアで評価した研究では、BMIPPの欠損の大きな群や、大きなミスマッチがある群では予後が悪いことが報告されている³⁾。こうした研究結果は、早期介入や再発予防に向けた治療戦略の立案、さらには予後改善につながる重要なエビデンスとして臨床に役立っている。

本邦の大規模臨床研究「J-ACCESS試験」が もたらした成果

全国117施設（4,629症例）の登録から始まった本邦のJ-ACCESS試験は、現在ではJ-ACCESS4試験まで進展している。これらは非介入研究であるが、心臓核医学領域における本邦最大規模の前向き大規模観察研究である。本邦でもエビデンスに基づく信頼性の高いデータが得られる時代に入ったと言える。

症例：40代/M 急性前壁梗塞薬物治療後回復期 各種イメージング短軸断層像



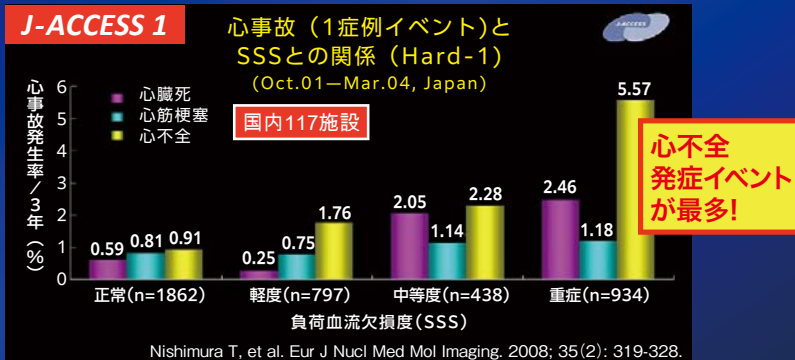
自験例

【図3】

J-ACCESS 1 -本邦117施設前向き多施設研究

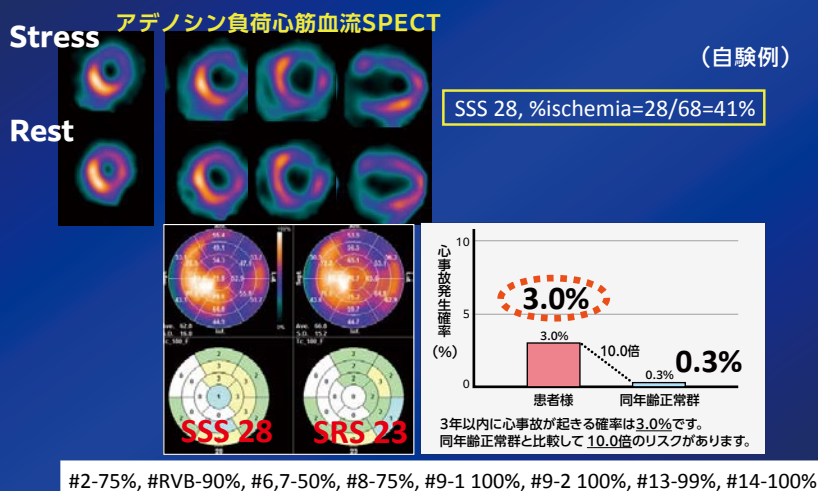
Japanese Assessment of Cardiac Events and Survival Study by Quantitative Gated SPECT : QGSで定量解析

ECG同期負荷心筋血流SPECTによる心イベント・予後調査研究：
～N=4031症例・3年間の多施設前向き観察研究



【図4】 Prognostic study of risk stratification among Japanese patients with ischemic heart disease using gated myocardial perfusion SPECT: J-ACCESS study
Nishimura T, et al. Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2008; 35(2): 319-328.
・主要評価項目: 3年間の主要な心イベント(心臓死、非致死性心筋梗塞、重症心不全の複合)
・登録患者数(施設数): 4,629人(117施設)
・登録基準: 20歳以上で虚血性心疾患またはその疑いがあり、負荷/安静心電図同期心筋血流SPECT検査を受けた患者
・除外基準: 3ヵ月以内の心筋梗塞または不安定狭心症、弁膜症、特発性心筋症、重症不整脈、NYHAクラス III以上の心不全、重症肝機能障害、重症腎機能障害

冠動脈疾患患者の予後予測プログラム "Heart Risk View"開発: J-ACCESSデータベースの利用



【図5】

J-ACCESS試験では、海外研究のHachamovitchらの報告⁴⁾と同様に、視覚的判定による心筋虚血の重症化が、心血管イベントの発生率の上昇と明確に関連していることが示された(図4)⁵⁾。この結果を踏まえ、私は日本人の心イベントとして最も多い心不全に着目し、新規発症心不全をエンドポイントとしたサブ解析を実施した。その目的は、新規発症心不全に影響を与える因子を多変量解析により明らかにすることである。解析の結果、慢性的な腎機能低下(CKDステージ4以上)、負荷時合計欠損スコア(SSS:summed stress score)の高値、収縮末期容積係数(ESVI:end-systolic volume index)の高値が、そ

れぞれ新規発症心不全のリスク上昇と関連することが示された。さらに、これらの因子が単独でもリスクとなるだけでなく、複数有する場合には予後がより悪化するという傾向も認められた⁶⁾。

こうしたJ-ACCESS試験の成果によるデータベースを基に、冠動脈疾患患者の予後を定量的に評価することを可能とする「Heart Risk View(現在のHeart Risk View-S)」というソフトウェアが開発され(図5)、本邦における心臓核医学の大きな進展につながった。

B-SAFE試験による透析患者へのエビデンス

B-SAFE試験では、透析患者に対するリスク層別化で¹²³I-BMIPP心筋SPECTの有用性を検討するために、本邦の全国48施設が協力し、データの収集・解析が行われた。同研究におけるSPECT画像の撮像は安静時のみで実施されたため、透析患者に肉体的な負荷をかけることなくリスク評価を行うことができた。エンドポイントを心臓死+突然死として3年間追跡調査したところ、安静時BMIPPの欠損程度が大きいほど、予後が悪くなることが示された⁷⁾。さらに、同研究のサブ解析による死亡リスクに関する調査では、BMIPPの欠損の程度に加え、高感度CRPの陽性や心電図におけるQ波の異常が、独立かつ相乗的に影響因子として関連していることが確認されている⁸⁾。

透析患者は全体として死亡率が非常に高く、その多くが心臓由来のイベントによるものである。B-SAFE試験から得られた知見を活用することで、ハイリスク症例の早期発見と適切な介入が可能となり、最終的には患者の予後改善につながる事が期待できる。

- 1) Hashimoto A, et al. Am J Cardiol. 1996; 77(1): 25-30.
- 2) Nakata T, et al. Int J Card Imaging. 1999; 15(1): 21-26.
- 3) Nakata T, et al. Nucl Med Commun. 2000; 21(10): 897-906.
- 4) Hachamovitch R, et al. Circulation. 2003; 107(23): 2900-2907.
- 5) Nishimura T, et al. Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2008; 35(2): 319-328.
- 6) Nakata T, et al. JACC Cardiovasc Imaging. 2009; 2(12): 1393-1400.
- 7) Moroi M, et al. Am J Kidney Dis. 2013; 61(3): 466-475.
- 8) Nakata T, et al. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2016; 17(12): 1394-1404.

これからの心臓核医学～定量評価とAI～

1. 冠動脈の包括的機能評価 ～心筋血流定量の現状～



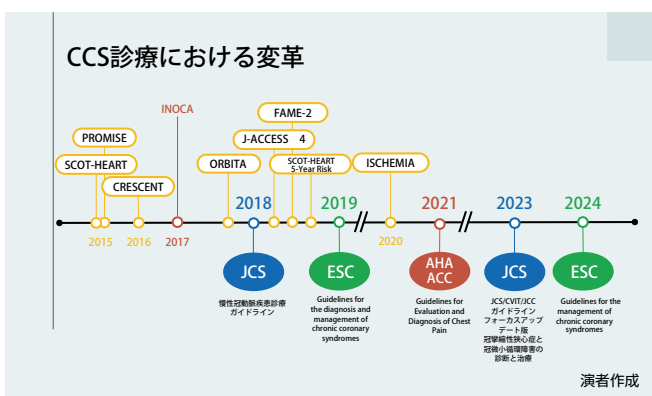
国立循環器病研究センター
立石 恵実 先生

冠動脈疾患診療の変遷 包括的機能評価の意義

冠動脈疾患 (CAD: coronary artery disease) 診療の歴史を振り返ると、長らく心外膜冠動脈の狭窄や閉塞が主要なターゲットであった。心外膜冠動脈病変に対する血行再建が治療の中心であり、1977年に世界で初めてPCIが施行されて以降、冠動脈バイパス術 (CABG) と比べて低侵襲かつ即時介入が可能なPCIは急速に普及し、CADの予後改善に大きく寄与してきた。

2010年代後半からは、狭窄や閉塞といった心外膜冠動脈の形態異常だけでなく、実際に心筋虚血が生じているか否かが予後に大きく関与することが議論され、血行再建前の機能的虚血評価の重要性が高まった (図1)。2018年に日本循環器学会 (JCS) が発表した「慢性冠動脈疾患診断ガイドライン (2018年改訂版)」¹⁾ では冠動脈造影 (CAG: coronary angiography) に先立つリスク評価と心筋虚血評価の実施が推奨され、2019年の欧州心臓病学会 (ESC) のガイドライン²⁾ においても血行再建前の機能的虚血評価の必要性が明記されている。

近年では、心外膜冠動脈に有意狭窄を認めないにもかかわらず、胸痛や心筋虚血所見を呈し予後不良となる患者群が注目されている。従来の心外膜冠動脈病変を有する閉塞性CAD (Obstructive CAD) に対して、この群はANOCA (angina with non-obstructive coronary arteries) またはINOCA (ischemia with non-obstructive coronary arteries) と呼ばれ、CAD診療における新たなターゲットとして国際的にも位置づけられている。2024年にESCが発表した慢性冠症候群 (CCS: chronic coronary syndrome) のガイドライン³⁾ では、CCSを疑いCAGを施行した胸痛患者の約7割がANOCAであり、閉塞性CADは約3割にとどまることが示された。すなわち、閉塞性CADはCCS診療にお



【図1】



座長
日本大学
松本 直也 先生



座長
福島県立医科大学
福島 賢慈 先生

る氷山の一角であり、残る多数のANOCA症例に対する診断戦略・治療方針・予後評価法の確立は急務である。こうした背景のもと、カテーテルを用いた侵襲的機能評価のみならず、非侵襲的モダリティによる機能的虚血評価の活用も拡大しており、CCS診療は従来の解剖学的評価単独から包括的機能評価を重視するアプローチへと進化しつつある。

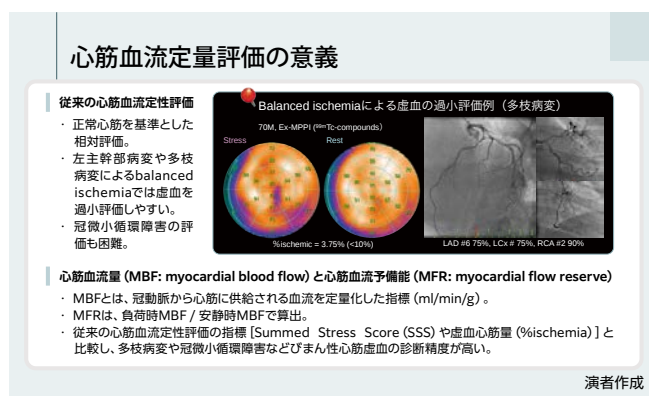
非侵襲的な機能的虚血評価

ANOCAの病態には、冠微小循環障害 (CMD: coronary microvascular dysfunction) や冠攣縮、内皮機能不全などが関与しており、特にCMDはANOCAの約半数を占めると考えられている。

非侵襲的な機能的虚血評価の代表的モダリティである負荷心筋SPECTは、負荷時と安静時の心筋への核種取り込みを視覚的に比較することで虚血評価を行う。正常心筋と比較して相対的に核種取り込みが低下している領域を定性評価するのが主流のため、左主幹部 (LMT) 病変や多枝病変など、虚血がびまん性に生じる病態では検出感度が低下するという限界がある。

図2に、CAGで左前下行枝 (LAD)、左回旋枝 (LCx)、右冠動脈 (RCA) に有意狭窄を認めた患者の運動負荷心筋SPECT (Ex-MPI) を示す。CAG前のEx-MPIでは心尖部、下側壁、下壁中隔に軽度の虚血が疑われたが、虚血心筋量 (%ischemia) は3.75%であり、CAGによる追加評価の目安とされる10%を下回っていた。びまん性に生じる虚血はbalanced ischemiaとも呼ばれ、定性評価では虚血を過小評価し得ることを改めて経験した症例である。

CMDによる虚血も、負荷心筋SPECTの定性評価では診断が困難とされる。このため、心筋血流量 (MBF: myocardial blood flow) を定量評価し、負荷時MBFと安静時MBFの比から算出される心筋血流予備能 (MFR: myocardial flow



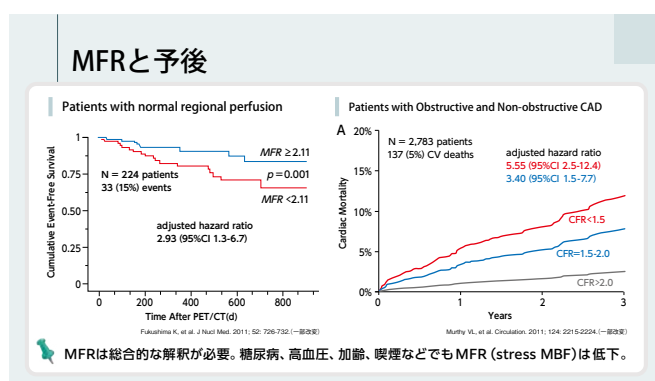
【図2】

reserve) が、非侵襲的な診断指標として用いられている (図2)。MFRは心筋血流PETで算出可能であり (一部のSPECT装置でも測定可能)、従来の心筋血流定性評価指標である負荷時合計欠損スコア (SSS: summed stress score) や%ischemiaと比較して、びまん性虚血の検出に優れ、多枝病変やCMDの診断にも有用である⁴⁾。

なお、CMDの診断指標の1つに冠血流予備能 (CFR: coronary flow reserve) があり、こちらもMFRと同様に心外膜冠動脈病変と冠微小循環を反映する。MFRとCFRはしばしば同義語として扱われ、いずれも2.0未満が心筋虚血の診断基準の1つとして提案されている²⁾。厳密には、CFRはカテーテル検査で侵襲的に測定した冠動脈レベルでの血流予備能を、MFRは心筋血流PETで非侵襲的に測定した心筋全体への血流供給能力を反映するため、両者が乖離する場合もある。乖離の背景や臨床的意義の解明は今後の課題であるが、MFRおよびCFRは閉塞性CADやCMDの診療における重要な評価指標となりつつあり、治療効果判定や長期予後予測の指標としても活用が広がっている。

心筋血流予備能 (MFR) と予後

ANOCAという疾患概念が提唱される以前から、心外膜冠動脈病変や心筋虚血が検出されないにもかかわらず、長期予後が不良となる患者が存在することは指摘されてきた。MFRはANOCAにおける心血管イベントの重要な予後因子の一つであり、MFR<2.11の場合に予後不良であることが報告されている (図3左)⁵⁾。また、閉塞性・非閉塞性CADを問わず、CFR<2.0は予後不良と関連し、1.5~2.0は中等度リスク群として患者背景を踏まえた評価が必要である。さらにCFR<1.5では高リスク群となり、心血管イベント発症リスクが著しく増加することが示されている (図3右)⁶⁾。



【図3】 (左) Prediction of Short-Term Cardiovascular Events Using Quantification of Global Myocardial Flow Reserve in Patients Referred for Clinical ¹⁸F PET Perfusion Imaging Fukushima K, et al. J Nucl Med. 2011; 52: 726-732.

- ・ 主要評価項目: ハードイベント (心臓死、心筋梗塞) とソフトイベント (侵襲的冠動脈造影 (血行再建術の有無を問わない)、心不全による再入院) を組み込んだ複合エンドポイント
- ・ 登録患者数: 275人
- ・ 登録基準: 2007年1月から2009年3月の間に、安静時・負荷時心筋血流イメージングの臨床検査のために紹介された連続患者
- ・ 除外基準: 急性心筋梗塞、不安定狭心症、臨床的に明らかな心不全、画像撮影時のシビラモデル負荷試験の禁忌、またはダイナミックPETデータセットが入手できない場合
- ・ p値の検定方法: ログランク検定

(右) Improved Cardiac Risk Assessment With Noninvasive Measures of Coronary Flow Reserve Murthy VL, et al. Circulation. 2011; 124: 2215-2224.

- ・ 主要評価項目: 心臓死
- ・ 登録患者数: 2,783人
- ・ 登録基準: 2006年1月1日から2010年6月30日までに安静時・負荷時心筋血流PET検査を受けた患者
- ・ 除外基準: 画像が欠落しているか、画質不良のために読影不能であった患者

ただし、MFRは糖尿病、高血圧、加齢、喫煙などの背景因子によっても低下し得るため、MFRやCFRの評価はこれらの因子を考慮した上で総合的に解釈し、適切なリスク層別化と包括的治療方針の策定に結びつけることが重要である。

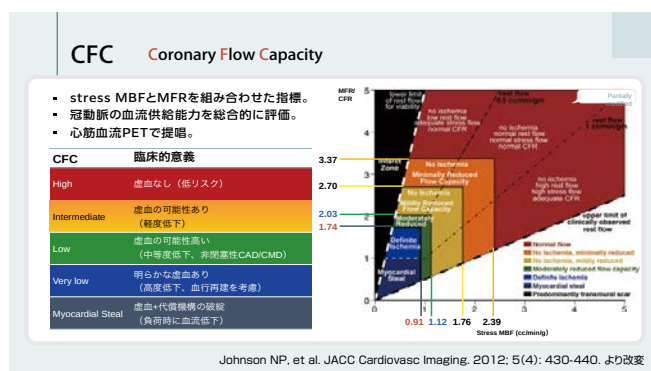
これからの治療戦略における指標 冠血流供給能 (CFC: coronary flow capacity)

一方で、定性評価で中等度以上の虚血がある場合には、MFRやCFRの付加価値は限定的であるとする報告もある⁷⁾。心外膜冠動脈の血流供給能力を反映するFFRと、心外膜冠動脈と冠微小循環の両者を反映するCFRを併用した検討では、FFR≤0.80かつCFR≥2.0の場合、CFR単独の評価では予後良好群に分類されるにもかかわらず、心血管イベント発症率は正常群の5.8%に対し11.9%と高値であった⁸⁾。

こうした背景を踏まえ、近年ではMFRに負荷時MBFを組み合わせた冠血流供給能 (CFC: coronary flow capacity) によるリスク層別化が着目されている (図4)⁹⁾。CFCは、MFRと負荷時MBFのカットオフ値を組み合わせることで、領域別に重症度とリスクを分類し、冠動脈の血流供給能力を総合的に評価する指標である。図4に示すように、MFRが高く負荷時MBFも十分に保たれているHigh CFC群 (赤色) は「虚血なし」、両者が明らかに低いVery low CFC群 (青色) は「明らかな虚血あり」で血行再建を考慮する。また、MFRが2.0以上でも負荷時MBFが低い場合はIntermediate CFC群 (橙~黄色) となり閉塞性CADやCMDの関与が疑われる中間リスク群と位置づけられる。

最近ではCFCと負荷心筋血流PETの定性画像を統合したCFC Mapも提案されている。これにより、局所の血流供給状態と虚血領域の広がりを同時に把握でき、心筋虚血の重症度評価、非侵襲的な閉塞性CADとCMDの鑑別、血行再建の適応判断、治療効果の判定、予後の予測など、多様な臨床応用が期待される。このように冠動脈の包括的機能評価法の進展は、より精緻な診断とリスク評価を可能とし、患者ごとの個別化医療の推進に寄与すると考えられる。

- 1) 日本循環器学会. 慢性冠動脈疾患診断ガイドライン (2018年改訂版). 2019年4月10日更新.
- 2) Knuuti J, et al. Eur Heart J. 2020; 41(3): 407-477.
- 3) Vrints C, et al. Eur Heart J. 2024; 45(36): 3415-3537.
- 4) Wang J, et al. Cardiovasc Diagn Ther. 2021; 11(1): 56-67.
- 5) Fukushima K, et al. J Nucl Med. 2011; 52(5): 726-732.
- 6) Murthy VL, et al. Circulation. 2011; 124(20): 2215-2224.
- 7) Ziadi MC, et al. J Am Coll Cardiol. 2011; 58: 740-748.
- 8) Lee JM, et al. JACC Cardiovasc Interv. 2018; 11(15): 1423-1433.
- 9) Johnson NP, et al. JACC Cardiovasc Imaging. 2012; 5(4): 430-440.



【図4】

2. AIによる心筋SPECT診断の進化と定量評価の可能性



日本大学
鈴木 康之 先生

本学では、2020年から負荷心筋SPECT向けAI自動診断支援システムの開発プロジェクトをスタートさせ、その歩みを進めている。開発プロジェクトの前提となる心筋SPECTの定量評価の価値を振り返るとともに、本学での検討を中心に心臓核医学分野におけるAI診断開発の現状について解説する。

心筋SPECTの情動的な価値を振り返る

心筋SPECT検査では、虚血の有無だけでなく、虚血心筋量や責任冠動脈、心機能回復の可能性など広範な情報を入手することが可能である。こうした情報を基に治療選択の判断に加え、治療後の予後予測に資する情報も得ることができる。この点については、血行再建による虚血改善度により予後の差が生じること¹⁾、さらに虚血減少5%以上の達成が予後に大きく影響することが我々の研究でも示されている¹⁾。また心筋SPECTでは、虚血心筋量の視覚的半定量スコアとしてSSS (summed stress score) などが用いられており、この指標を用いたリスク層別化能は国内外の大規模の臨床研究により証明されている^{2) 3)}。

その一方で、心筋SPECTの課題として、読影に一定程度の熟練を要することや、多枝病変や主幹部病変などの重症冠動脈疾患において偽陰性を生じやすいことが知られている。また、本邦では心筋SPECTについて高い精度と再現性を持って読影が可能な専門家が充足しているとは言えない実情もあり、この点が臨床における課題の一つとなっている。

こうした課題に対応し、視覚読影熟練者を必要とするSSSを代替する定量指標として、自動定量が可能なTPD (total perfusion deficit)⁴⁾が評価に用いられることがある。

また、心筋SPECTによる心電図同期撮影時のデータも重要である。これにより得られる左室駆出率 (LVEF: left ventricular ejection fraction) や拡張末期容積 (EDV: end diastolic volume) は、心イベント予測に重要な指標となり、負荷時と安静時のEDVの比をとるTID (transient ischemic dilatation) ratioは、SSSやTPDで見落とされやすい重症冠動脈病変や多枝冠動脈病変の検出に役立つ。さらに、心電図同期撮影データからは、心筋の各セグメントの同期性を評価する左室位相解析指標の位相バンド幅 (BW: bandwidth)、標準偏差 (SD: standard deviation)、Entropyという3種のユニークかつ有用な指標も得られ、TPDやLVEFと併せて検討することで、高い予後予測能を有することが報告されている^{5) 6)}。

AIを用いた診断支援システム開発の背景

前述のようにこれまでの研究により、心筋SPECTをベースにした様々な有用な指標が見出されてきた。しかし、これらの指標はわずかな変数間の直接的な関係を記述する伝統的な統計モデルに基づき見出されたものであり、実臨床における多様かつ複雑な臨床情報や検査結果情報の数々を統合して検討することは難しかった。

そこで現在、世界各国で進められているのがAI、機械学習・ディープラーニングの技術を用いた診断支援システムの開発である。ディープラーニングの技法は、入力した情報の特徴量の抽出と情報量圧縮を繰り返しながら、得られた特徴量を元にした分類や予測を行う方法であり、多変量のデータから学習した特徴量の関連性に基づくアウトプットを得られる特徴がある。

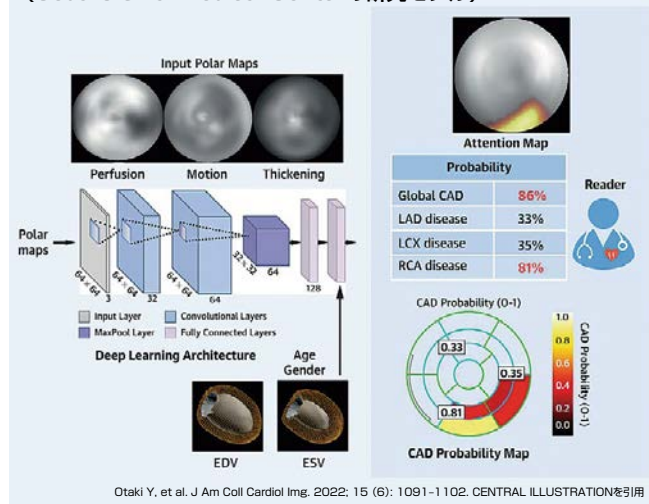
例えば冠動脈疾患領域では、AI診断開発で先行する米国Cedars-Sinai Medical Centerが図1のようなディープラーニングモデル診断システムを設計している。血流、壁運動、収縮時壁肥厚率のPolar Map情報と年齢、性別、そしてEDV、収縮末期容積 (ESV: end systolic volume) の情報を加えたモデルである⁷⁾。冠動脈疾患の診断能はAUC (area under the curve) 0.83であり、人間による診断能 (TPDを用いた虚血心筋量による評価 同0.78、専門医の診断 同0.71) より有意に診断能を改善したと報告されている (Wilcoxonの順位和検定、 $p < 0.0001$)⁷⁾。

本学のAI自動診断支援システム開発の現状

ここからは本学における実践を紹介する。

本学独自のAIモデル開発の課題解決目標は以下の3つである。

冠動脈疾患のAI診断におけるディープラーニングモデルの構造 (Cedars-Sinai Medical Centerの研究モデル)



【図1】

- ・心筋SPECTにおける専門医レベルのAI診断
- ・専門医を介しない診断=診断の自動化
- ・可能ならば、専門医を超える診断能を実現したい

2024年の米国心臓核医学会 (ASNC) で報告した本学で開発中のディープラーニングを用いたアルゴリズムによるAIモデルの多枝病変の診断に関する診断能の検証結果を供覧する。

AIモデルの入力情報は、本稿前半で紹介した心筋SPECTによる定量情報が主体であり、TPD、LVEF、EDV、TID ratioに加え、位相解析のパラメータであるBW、SD、Entropyなどを採用している(図2)。さらに、様々な臨床情報や心電図などの検査結果などを加えた50以上のパラメータを入力情報、学習情報として使用した。

AI活用の大きな論点として、結果が示されてもその評価の背景や判断根拠を明確に説明できないブラックボックス化の問題が指摘されている。参照した各特徴量の重要度を数値化して示すSHAP (SHapley Additive

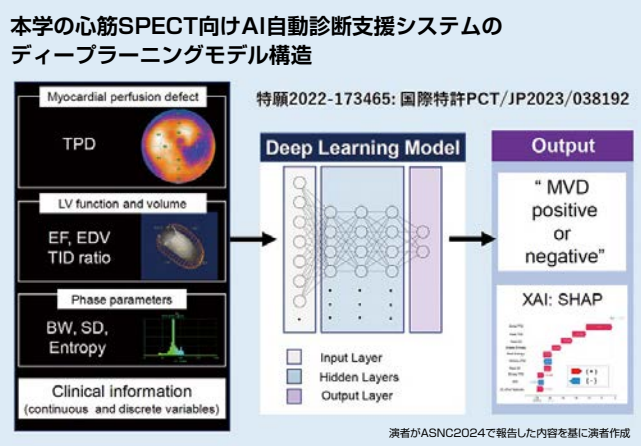
ex Planations) valueと呼ばれる指標を用いて、説明可能AI (XAI: explainable AI) の手法により結果の背景説明を一定程度可能にしている。

実際の症例約1,000件のデータを用いて訓練し、学習データとは異なる200例を用いてシステムの診断精度を検証した。本システムの多枝病変の診断能は、AUCで 0.88 ± 0.03 であり、それぞれ単独で診断した場合のStress TPD 0.82 ± 0.03 やTID ratio 0.50 ± 0.12 に対して有意な改善を認めた ($p < 0.05$)。なおSSS単独では同 0.84 ± 0.06 、SDS単独では同 0.88 ± 0.07 であった。もちろん現在の臨床でTPD単独で診断することは想定されないため、医師による心筋SPECTの読影による診断を対照とした診断能の検討も現在進めており、十分な精度を有することが示されてきている。

AIによる診断根拠については、深層学習モデルによる特徴量の重要度SHAP valueで上位10項目をみると、Ischemic TPD (Δ TPD: 負荷時と安静時のTPDの差)、LVEF、EDV、TID ratio、位相解析指標のパラメータであるEntropyやBWなどのデータが重視され、解が導き出されたことが分かっている。

今後のシステム開発では、対象症例を拡大するとともに、数値情報だけではなく、画像情報とのコンビネーションを図るマルチモーダル対応の準備を進めている。併せて、社会実装に向けた医療AI診断システムの倫理的側面への配慮や安全性、情報セキュリティの課題にも取り組み、心臓核医学のAI開発が本格化する時代の良き先例となることを目指したい。

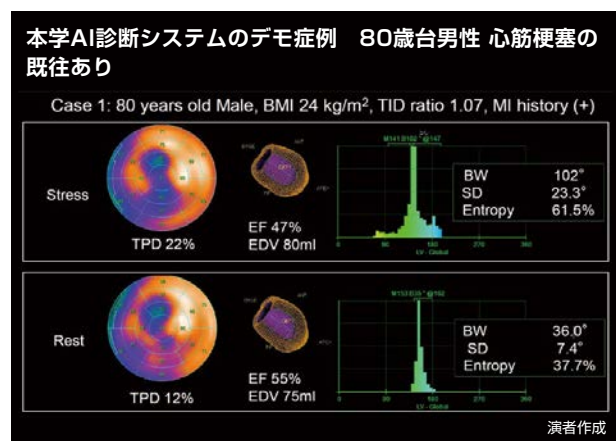
- 1) Hori Y, Suzuki Y, et al. J Cardiol. 2015; 65: 278-284.
- 2) Nishimura T, et al. Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2008; 35: 319-328.
- 3) Yoda S, Suzuki Y, et al. J Cardiol. 2014; 64: 395-400.
- 4) Slomka PJ, et al. J Nucl Cardiol. 2005; 12(1): 66-77.
- 5) Nakajima K, et al. J Nucl Cardiol. 2017; 24(2): 611-621.
- 6) Kuronuma K, et al. Circ Cardiovasc Imaging. 2021; 14(7): e012386.
- 7) Otaki Y, et al. J Am Coll Cardiol Imaging. 2022; 15(6): 1091-1102.



【図2】

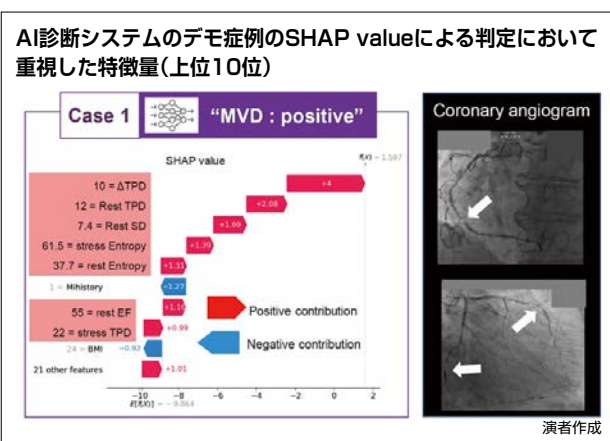
AI診断支援システムのデモ症例 80代男性 心筋梗塞の既往あり

心筋SPECTにおいてLAD領域の欠損と、下壁領域の可逆性を有する血流欠損を認める明らかな多枝病変様を呈するケースである。位相解析による負荷時のBWも102と安静時に対して拡大し、Entropyについても負荷時61.5と安静時よりも増大していた(図3)。



【図3】

AIモデルによる自動診断では、多枝病変陽性と結果が示された。SHAP valueを用いたXAIの診断根拠の提示では、図4のWater fall plot法による横棒グラフの通り、TPDやEntropy、LVEFなどを根拠に陽性としたことが示されている。



【図4】

1. CCTAファースト時代の心筋SPECTの活用法



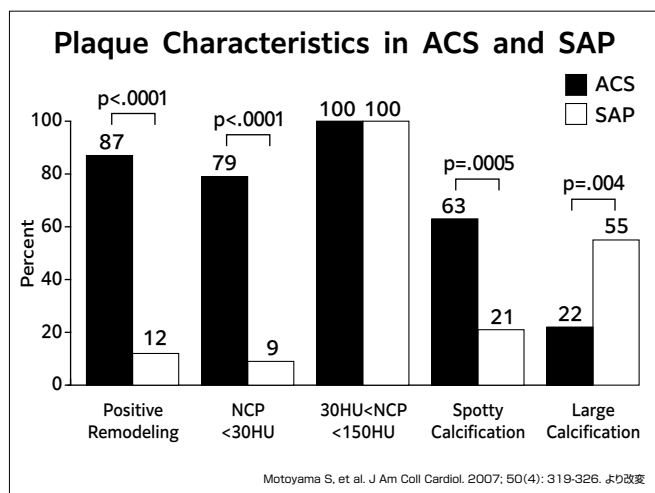
北播磨総合医療センター
山田 慎一郎 先生

冠動脈CTAの有用性の拡大

冠動脈CTAは近年稀に見るスピードで普及してきた。2008年には64列マルチスライスCTを用いたCORE64試験において、侵襲的な冠動脈造影(CAG: coronary angiography)にほぼ匹敵する精度を有することが示された¹⁾。現在は320列Area Detector CTも普及しており、非常に詳細な解剖学的情報が非侵襲的に得られるようになってきている²⁾。

冠動脈CTAにより、狭窄のみならず冠動脈プラークの性状も評価できることがわかってきた。急性冠症候群(ACS: acute coronary syndrome)と安定狭心症(SAP: stable angina pectoris)の責任病変を冠動脈CTAで比較した研究では、ACSの責任病変は陽性リモデリング、低吸収プラーク、微小石灰化が安定狭心症よりも多く認めることが報告されている(図1)³⁾。

さらにFFR_{CT}の登場により、冠動脈CTAの画像情報のみから虚血の機能的評価を行うストラテジーも提案され、血管ごとの評価において侵襲的FFRとの高い相関が確認されている⁴⁾。



【図1】 Multislice Computed Tomographic Characteristics of Coronary Lesions in Acute Coronary Syndromes
Motoyama S, et al. J Am Coll Cardiol. 2007; 50(4): 319-326.

- ・ 主要評価項目: 血管リモデリング(病変径が参照セグメントより10%以上大きい場合を陽性リモデリングと定義)およびプラーク硬度(石灰化プラークと非石灰化プラーク(NCP)に分類、NCPは ≤ 30 HUのプラークと >30 HUかつ <150 HUのプラークに分類、石灰化プラークは ≥ 220 HUと定義し、斑状と広範に分類)
- ・ 登録患者数: 441人
- ・ 登録基準: CAGで1枝病変と判定された患者(安定狭心症)待機的PCIが推奨された患者(33人)(急性冠症候群)胸痛症状があり心電図でST上昇が認められトロポニン値が上昇したST上昇型心筋梗塞で24時間を超えて入院して症状が消失したST上昇型心筋梗塞患者(10人)、胸部不快感があり心電図でST上昇が認められずトロポニンが上昇している非ST上昇型心筋梗塞患者(9人)、CCSクラス3または4で心電図のSTおよびトロポニン値に異常がない不安定狭心症患者(19人)
- ・ 除外基準: 心電図でST上昇を認め、バイオマーカーの結果を待たずに血行再建を受けた患者、非ST上昇型心筋梗塞または不安定狭心症で発症後24時間以内に来院した高リスク患者
- ・ p値の検定方法: カイ二乗検定(p<0.05を有意とした)



座長
旭川医科大学
沖崎 貴琢 先生



座長
群馬大学
石井 秀樹 先生

本邦で待機的PCIが高頻度である背景

JROAD (The Japanese Registry Of All cardiac and vascular Diseases) の2023年の循環器疾患診療実態調査報告書によると、本邦では待機的PCIの施術件数が緊急PCIの倍以上に上る。

米国では、CCS (chronic coronary syndrome: 慢性冠症候群) へのPCIに関する適応適切性基準(AUC: appropriate use criteria)が制定されている。同基準を本邦の循環器病データベースに当てはめると、待機的PCIが非適切に該当する割合はAUCの2009年版で約6分の1、AUCの2012年版で約3分の1となり、本邦のPCIの現状に疑問を投げかける結果となっている⁵⁾。

日本心血管インターベンション治療学会(CVIT)のPCI Registryの2014-2023年のデータでは、CCSを原疾患とする患者へのPCIが計12万件以上実施されていた。このうち何らかの方法で事前に虚血の評価を行っていたのは4万件に満たなかった。

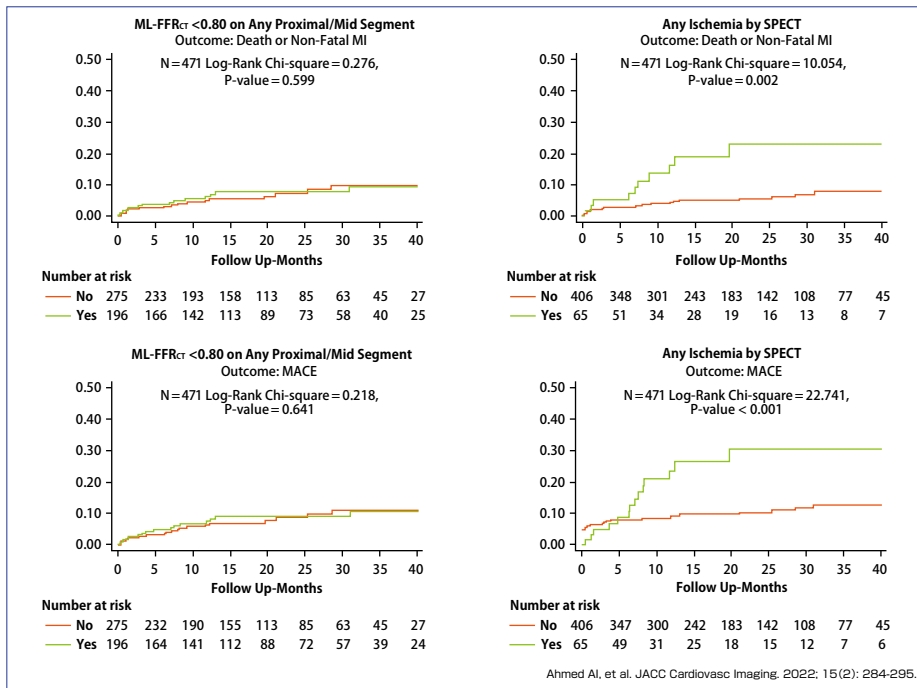
なぜ、多くのCCS例で虚血評価をせずにPCIが施行されているのか。その原因は、本邦における冠動脈CTAの施行率の伸びにあると考えられる。JROADの2023年(2024年度実施・公表)循環器疾患診療実態調査報告書によれば、現在、冠動脈CTAは年間50万件以上登録されており、CAGを上回る。おそらく冠動脈CTAで解剖学的狭窄を認めた場合、そのみを基準にPCIに進むケースも多いのではないかと推測される。

FFR_{CT}と心筋SPECTの虚血陽性率と予後予測能

「2022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、検査前確率(PTP: pre-test probability)5~85%の広い範囲を中等度とみなし、rule-out目的での冠動脈CTAの施行を推奨している⁶⁾。

それに対し2024年の欧州心臓病学会(ESC)のCCSガイドラインでは、冠動脈CTAはよりPTPが低い(5~50%)患者においてスクリーニングとして使用することが強く推奨されている⁷⁾。それよりも高確率の患者に対しては心筋SPECTなど負荷イメージングの施行が推奨されている(PTP 15~85%での使用を推奨)⁷⁾。

欧州でこのような検査選択が推奨される背景を考えてみた。心筋SPECTと機械学習ベースのFFR_{CT}による虚血評価を比較した研究では、冠動脈CTAで判定した狭窄や動脈硬化の重症度にかかわらず、一貫してFFR_{CT}が心筋SPECTよりも虚血陽性率が高かった⁸⁾。この陽性率の



【図2】 Prognostic Value of Computed Tomography-Derived Fractional Flow Reserve Comparison With Myocardial Perfusion Imaging
Ahmed Al, et al. JACC Cardiovasc Imaging. 2022; 15(2): 284-295.
・ 主要評価項目: 全ての原因による死亡または非致死性心筋梗塞
・ 登録患者数: 471人
・ 登録基準: 臨床的に冠動脈CTAおよびSPECT心筋血流イメージングを指示された患者
・ 除外基準: PCIの既往歴(258人)、CABGの既往歴(93人)、左室補助デバイス(2人)
・ p値の検定方法: ログランクカイニ乗検定(グラフ内に記載)

高さが適切な予後対策につながるならCT検査の正当性があるといえよう。同研究では両検査の予後予測能の比較も行っている。FFR_{CT}では、陽性と陰性で心臓死・非致死的心筋梗塞の発生率(図2左上)および主要有害心臓事象(MACE: major adverse cardiac event)発生率(図2左下)に差はなかった。それに対し、心筋SPECTの陽性と陰性で比較した結果では、心臓死・非致死的心筋梗塞(図2右上)、MACE(図2右下)共に早期からイベント曲線に分離がみられ、陽性群(緑の線)の予後が明らかに悪かった。

この結果を踏まえてか、ESCの最新(2024年)のCCSガイドラインでは、FFR_{CT}は虚血の過大評価もありうることから推奨クラスIIbとされている⁷⁾。

安定冠動脈疾患の予後改善のストラテジー

前述のように、ESCでPTP5~50%のCCS患者への冠動脈CTAが強く推奨されるようになった根拠の一つにSCOT-HEART試験がある⁹⁾。同試験では、安定冠動脈



【図3】

疾患が疑われる患者に対し、標準的な検査に冠動脈CTAを追加することで、より積極的な至適薬物治療(OMT: optimal medical therapy)が行われたと報告されており、これが予後改善に寄与したと考えられている。こうした知見を踏まえれば、低~中等度リスクの患者にはまず冠動脈CTAを施行し、有意狭窄はないがプラーク等が検出された場合には速やかにOMTを開始し、狭窄病変があれば機能的虚血の有無を確認するというストラテジーは理にかなうと思われる。

では、実際に冠動脈CTAで狭窄を認めた場合、どのように虚血を評価すべきか。FFR_{CT}も選択肢であるが、前述の報告⁸⁾が示すように、予後悪化に関連する虚血を確実に検出するためには心筋SPECTが望ましい。

自験例を示す(図3)。冠動脈CTAでLAD(左前下行枝)と対角枝に高度狭窄を認め、虚血の有無を確認するために心筋SPECTを施行した。LAD領域および対角枝領域に明らかな虚血所見が存在する(図3左 緑の領域)。このように冠動脈CTAで狭窄を検出し、心筋SPECTで虚血が確認されれば躊躇なく血行再建を行うことができる。

本講演のTake home messageを示す(図4)。冠動脈CTAをゲートキーパーとして施行することは今の時代において正しい考えといえよう。冠動脈CTAによる解剖学的評価に続いて行う虚血評価には、心筋SPECTが優れたモダリティであると考ええる。

- 1) Miller JM, et al. N Engl J Med. 2008; 359(22): 2324-2336.
- 2) Rochitte CE, et al. Eur Heart J. 2014; 35(17): 1120-1130.
- 3) Motoyama S, et al. J Am Coll Cardiol. 2007; 50(4): 319-326.
- 4) Norgaard BL, et al. J Am Coll Cardiol. 2014; 63(12): 1145-1155.
- 5) Inohara T, et al. JACC Cardiovasc Interv. 2014; 7(9): 1000-1009.
- 6) 日本循環器学会. 2022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. 2022年3月11日発行.
- 7) Vrints C, et al. Eur Heart J. 2024; 45(36): 3415-3537.
- 8) Ahmed Al, et al. JACC Cardiovasc Imaging. 2022; 15(2): 284-295.
- 9) Newby DE, et al. N Engl J Med. 2018; 379: 924-933.

Take Home Message

- ✓ Coronary CT angiography (CCTA)の登場により、侵襲的CAGにより冠動脈疾患を除外する必要がなくなった
- ✓ CCTAは狭窄のみならず危険性の高い冠動脈プラークを評価することにより安定冠動脈疾患血行再建に依存せずに改善することが証明された
- ✓ 一方でCCTAのみを基準にして血行再建を行うケースが多く存在し、またその方法では予後を改善する可能性は乏しい
- ✓ CCTAを冠動脈疾患のゲートキーパーとして施行した上で十分な虚血評価を行えば安定冠動脈疾患の生命予後を改善しうる可能性がある

演者作成

【図4】

2. フォローアップSPECTを再考する



大阪鉄道病院
坂谷 知彦 先生

血行再建後の虚血評価が 特に重要となるケース

本講演では、フォローアップSPECTを「PCI、CABGなど血行再建術後、おおよそ1年以内に実施される心筋SPECT」と定義する。

現時点における本邦での心筋SPECTの位置づけとして、「慢性冠動脈疾患診断ガイドライン（2018年改訂版）」では「冠動脈血行再建術の適応を決定する場合」や「心筋梗塞の部位診断を行う場合」のエビデンスレベルは推奨クラスIとされている¹⁾。一方で「PCI後2年以内のルーチン検査」に関してはクラスIIIであり、推奨されていない。その根拠の一つとして、高リスクPCIを受けた患者1,706例を1年後にルーチンの負荷検査を受ける群と通常のケアを行う群で無作為に割り付けて比較した研究結果がある。同研究では、両群において2年後の臨床転帰に有意差はなかったと報告されている²⁾。

一方、COURAGE試験のサブ解析では、治療により5%以上の虚血改善が得られた群は予後良好であったとされている³⁾。

同様に本邦のJ-ACCESS4試験においても、虚血改善が5%未満にとどまった群では5%以上の改善群に比べ予後が悪いことや、残存虚血が認められた群では予後不良であることを示すデータが得られている⁴⁾。これらの知見から、血行再建後の予後不良リスクが高い患者を適切に抽出するために心筋SPECTは有用といえる。

フォローアップSPECT実施の意義について私見をまとめると以下ようになる。

1. 虚血の改善が得られているかどうか
(特に多枝病変で過小評価が疑われる場合)
2. 高リスク患者の予後が改善できたかどうか
(特にISCHEMIA試験の除外例)

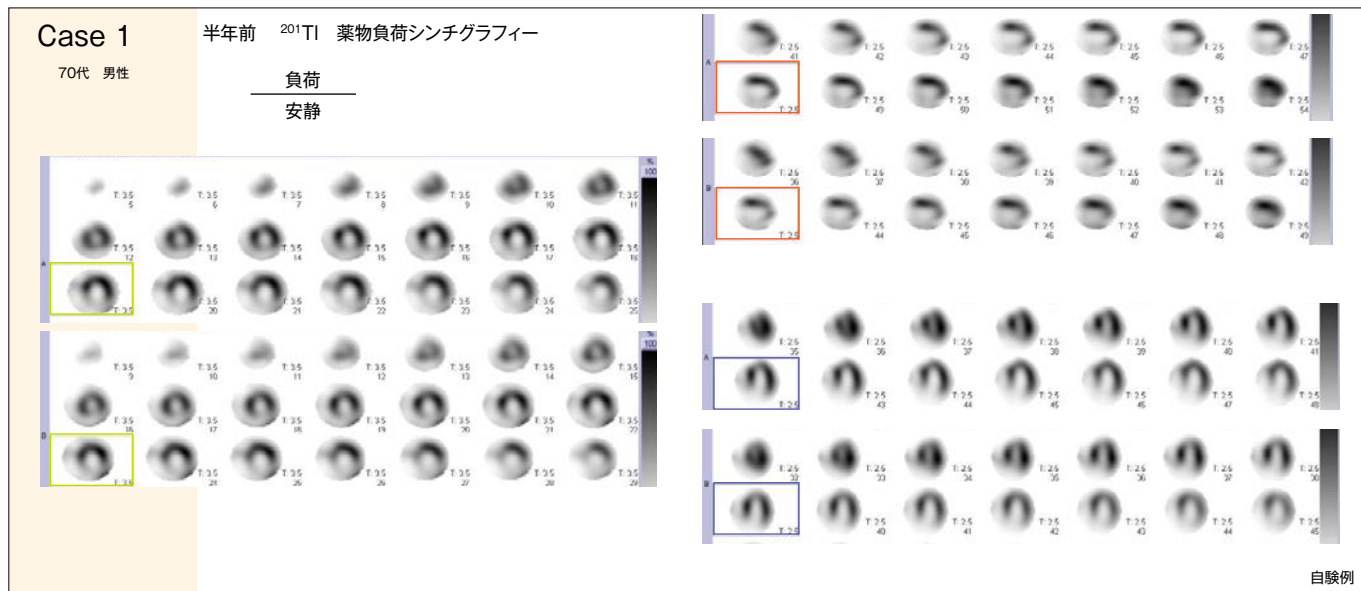
心筋SPECTは基本的に相対的表示であるため、特に多枝病変では病変枝が偽陰性となる可能性がある。そのため、虚血の過小評価が疑われる症例に対しては、血行再建後に残存虚血を評価することが必要な場合がある。

ISCHEMIA試験では、負荷により中等度以上の虚血が誘発された患者であっても、保存的治療戦略に対する血行再建の有用性は示されなかった⁵⁾。しかし、同試験では腎機能障害や重度の狭心症、急性冠症候群(ACS: acute coronary syndrome)、左室機能不全、心不全などの疾患群が除外されている。この除外基準に合致する患者の予後は悪いことが確認されており⁶⁾、高リスク患者では血行再建後も慎重な管理が求められる。

多枝病変患者へのフォローアップ SPECTの自験例

■症例 70代男性 労作性狭心症
約30年前に左前下行枝(LAD)にペアメタルステント留置

長らく経過良好であり、10年前の心筋SPECTでは集積低下を認めなかった。薬物治療を継続していたが、心エコー図で左室下壁の壁運動異常を認めたため、半年前に心筋SPECTの再検査を実施した。負荷時像、安静時像共に壁運動異常の領域に一致して高度集積低下を認め、左室下壁の心筋障害が示唆された。また、左室前壁中隔にも軽度の集積低下がみられた(図1)。



【図1】

こうした新たな所見を踏まえ、10年ぶりに冠動脈造影（CAG: coronary angiography）を施行した。すると、右冠動脈（RCA）は右室枝（RV branch）の分岐部で完全閉塞しており、順行性の血流はほとんど認められなかった（図2上）。左冠動脈（LCA）に関しては、左回旋枝（LCx）末梢に狭窄があり、左前下行枝（LAD）にもびまん性に狭窄を認めた（図2下）。LADからRCAへgrade1程度の側副血行路を認めた。RCAの完全閉塞を含む3枝病変であり冠動脈バイパス術（CABG）も考慮されたが、併存疾患により日常生活動作（ADL）も低下していることから、患者・家族との共同意思決定（SDM: shared decision making）によりPCIが選択された。標準的にはRCAにPCIを行うが、RCAの完全閉塞距離が長い場合、LCxとLADに対し血行再建を行った。

PCI施行後、RCAの閉塞による影響を判定するためフォローアップSPECTを実施した。負荷時像では、下壁で若干の集積低下を認めたが、高度虚血ではないと判断した。また、LAD・LCx領域でも虚血の誘発は認められなかった（図3）。

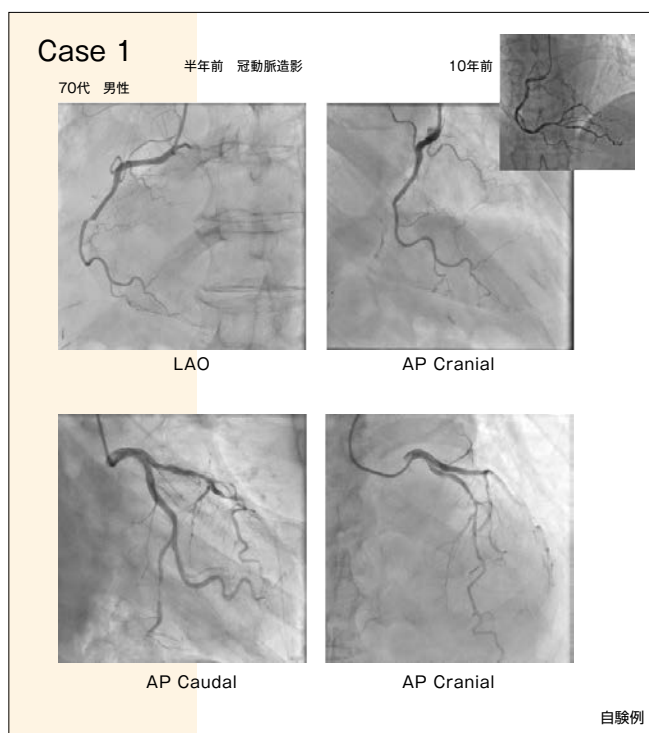
Heart Risk View-S（HRV-S）を用いた解析（図3右）では、虚血心筋量は約3%、リスクスコアは3.2%で同年代正常人と比較して1.2倍と低値であった。さらに、LVEFは66%とglobal functionも保たれていることから、本症例は薬物療法継続とした。

HRV-Sを用いた治療方針の決定方法

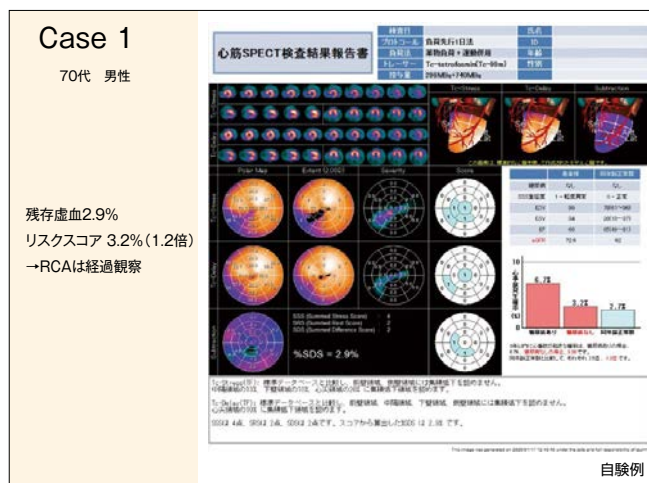
Heart Risk View-S（HRV-S）は、心筋SPECTから得られる情報を基に、糖尿病の有無等のリスク因子を加味して心事故発生確率を自動算出するソフトウェアである。一般的に、心筋SPECTが正常であれば予後は良いと考えられている。ただし、我々が心筋SPECT正常[SSS（summed stress score） ≤ 3]の698例を追跡調査したところ、3.8年 $\pm$ 2.4年の観察期間中に21例（3.0%）の心事故を確認している⁷⁾。HRV-Sで算出した心事故発生確率は、心事故群が非心事故群に比べて有意に高かった（5.5 $\pm$ 2.6 vs 2.9 $\pm$ 2.6%、カイ二乗検定 $p < 0.001$ ）。心事故発生確率のカットオフ値を3.4%に設定すると、2群間で有意差が認められた（感度 76%、特異度 72%、AUC 0.85）。

以上の知見を基に、虚血性心疾患の治療方針について提唱した内容⁸⁾を図4に示す。心筋SPECTで5%以上の虚血心筋量を認める場合は血行再建が推奨される。また、虚血心筋量が5%未満で、SSSが低値であっても、HRV-Sによる心事故発生確率が3.4%以上であれば、心筋SPECT偽陰性の除外のためにCAGを検討すべきと考える。

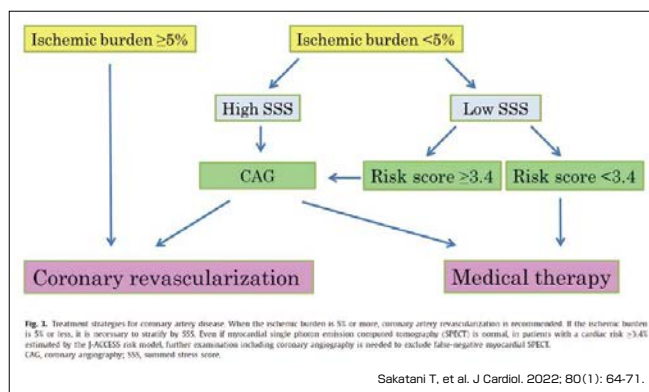
高リスク患者におけるルーチンのフォローアップSPECTには否定的な報告もあるが、SPECT陰性例では心事故発生率は1%/年未満とされており⁹⁾、HRV-Sと組み合わせることで、より詳細なリスク判定が可能となるだろう。



【図2】



【図3】



【図4】

1) 日本循環器学会. 慢性冠動脈疾患診断ガイドライン(2018年改訂版). 2019年4月10日更新.
2) Park DW, et al. N Engl J Med. 2022; 387(10): 905-915.
3) Shaw LJ, et al. Circulation. 2008; 117(10): 1283-1291.
4) Nanasato M, et al. Int J Cardiol. 2018; 267: 202-207.
5) Maron DJ, et al. N Engl J Med. 2020; 382(15): 1395-1407.

6) Al-Mallah MH, et al. J Nucl Cardiol. 2022; 29(3): 1100-1105.
7) Sakatani T, et al. Ann Nucl Med. 2016; 30(10): 716-721.
8) Sakatani T, et al. J Cardiol. 2022; 80(1): 64-71.
9) Iskander S, et al. J Am Coll Cardiol. 1998; 32(1): 57-62.

心筋SPECTのイメージングからレポートニングまで
～適切な診断・治療のために～

1. 心筋SPECTの 適正画像を作るために



虎の門病院
森 一晃 先生

心筋SPECT画像の 作成プロセスと課題

心筋SPECT画像の作成は、投影データ収集、画像再構成、心筋血流および心機能解析の流れで行われる(図1)。一律な収集条件、解析処理による標準化が望まれるところであるが、SPECT装置の多様化や各プロセスの条件は多岐にわたることから標準化は難しいのが現状である。また、画像処理は自動化が進んでいるが、画像再構成やデータ解析では操作者が介入するため、個人差が生じるという課題もある。本講演では、適切な心筋SPECT画像を作成するために注意すべきポイントについて解説する。

収集カウントを整える

逐次近似画像再構成法 (Ordered subset expectation maximization method: OS-EM法) を用いた再構成の普及により、収集カウントを強く意識しなくても良好な画像が作成できるようになったが、解析に適した精度の高い画像を得るためには、十分な収集カウントが求められる。当院の検査では、²⁰¹TlCl、低エネルギー汎用型コリメータを用い、L型近接配置で180度、36方向の投影データを収集している。収集時間は45～60秒/view、総撮像時間は18分程度である。

放射性医薬品の心筋集積には個人差があり、一律の撮



座長
長崎大学
工藤 崇 先生



座長
藤田医科大学
皿井 正義 先生

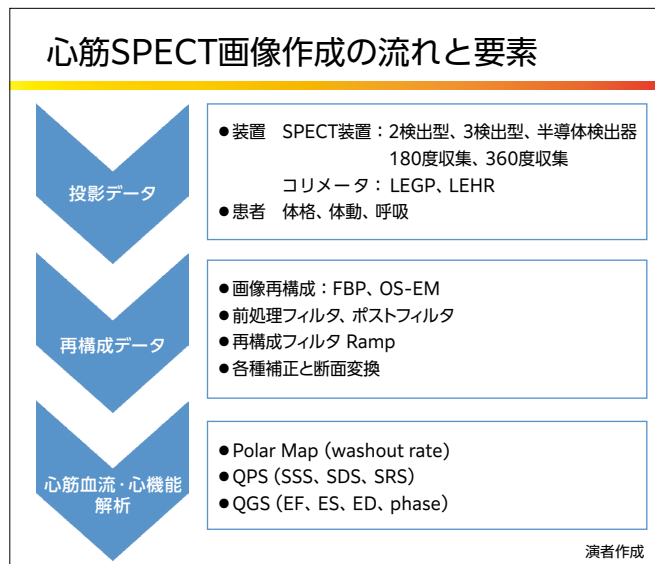
像条件では収集カウントにばらつきが生じる。ばらつきを軽減する手法として、当院では、収集時間の設定に、位置決めモニターに表示される計数率 (count rate) を活用している。モニター上で心筋部および心筋外の集積状況、注射漏れの有無を確認して心臓への集積を予測し、表示計数率6～8kcts/sで50sec/viewを目安に収集時間を決定している。また、患者の体格と表示された心臓の大きさから収集拡大率を調整し、分解能を確保する。収集カウントに影響を及ぼす因子には放射性医薬品の投与量、患者の体格および体重、システム感度 (ピクセルサイズ、コリメータ)、負荷方法 (アデノシン負荷または運動負荷のみ) がある。SPECTデータ収集ではこれらの因子を考慮し、個別に適切な収集時間を設定することで、安定した収集カウントが見込める。

再構成画像を整える

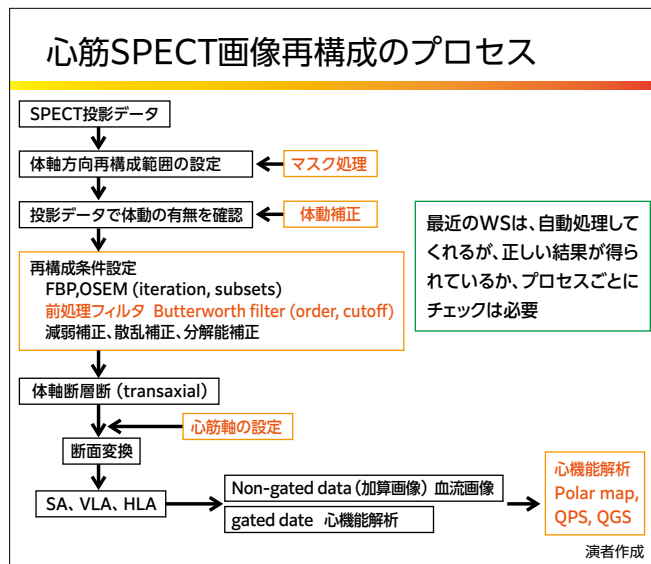
心筋SPECTの画像再構成は図2に示すプロセスで行われる。最近では全行程を自動処理により画像が作られるが、各プロセスにおいて正しく処理が行われているかを確認することが重要である。

まず体軸方向再構成範囲を設定する。この過程ではマスク処理により心筋外集積を除外し、最大カウントが心筋内にくるよう調整する。

体動の有無は、投影像をシネ表示して目視確認、



【図1】



【図2】

sinogramやlinogramの連続性で評価する。体動が認められた場合は体動補正プログラムでx、y方向の動きを補正する。体動が激しい場合には、再撮像も考慮する。また体動補正を行った場合は読影者にその旨を伝え、必要に応じて補正前後の画像を提示することも重要である。体動によるアーチファクトを見抜くには、図3に示す内容がポイントとして挙げられる。

SPECT再構成法はフィルタ補正逆投影 (FBP: filtered backprojection) 法または OS-EM法が使われる。まずは、前処理フィルタ (一般的にButterworth filterが用いられる) による投影データの統計ノイズ低減を行ったのちに再構成を行う。Butterworth filterの強度を決めるパラメータには遮断周波数 (カットオフ値) と次数 (order) があり、カットオフ値の方が画質に大きく影響する。収集カウンターの多少に沿ってカットオフ値は個別に設定するのが望ましいが、操作者間の誤差を考慮し、固定値を用いることもある。カットオフ値の影響を小さくするためには、十分な収集カウントが必要で、S/N比が確保できる値 (1ピクセルあたり100counts以上) になるような収集条件を設定することが望ましい。

体軸断層像が得られたら、心軸を設定し、垂直長軸断面、水平長軸断面、短軸断面へ断面変換を行う。断面変換では、心内腔が最も広く見えるスライスを選択し、心尖部先端と心内腔の中心を通る直線を心軸とする。その直線に直交する直線が短軸断面となる。このとき負荷時と安静時で断面位置が一致していることが重要である。広範囲に欠損がある場合には、画像表示のupperスケールを極端に下げ、心内腔部を線状に描出させる等の工夫をして再現性良く心軸を設定する。

解析データを整える

心電図同期SPECT解析ソフトウェア (QGS)、心筋血流SPECT解析ソフトウェア (QPS) を用いて心機能や心筋血

流分布を解析する。

QGSは、自動輪郭抽出された心筋壁の動きから左室機能指標を算出する。QGSの解析に影響を及ぼす因子として、不整脈、R-R分割数、小心臓、心筋外高集積、広範囲の欠損、左室肥大等があげられる。不整脈症例で収集心拍数の許容範囲の設定がポイントとなる。小心臓では収縮時の内膜の輪郭が正しく抽出されず収縮末期容積が過小評価される傾向があるため、収集マトリクスサイズの調整や拡大率をあげるなどの、空間分解能が高くなるような工夫が求められる。心筋外高集積例では、輪郭が適切に抽出されているか確認し、必要に応じて手動処理を行う。このとき心尖部や心基部の位置も変化して、容積が変動することに注意を払う必要がある。

QPSでは視覚的スコアリングのほかに日本核医学会の標準データベースに基づく自動スコアリングを使用することもできるが、視覚的スコアリングと一致しないケースもある。自動スコアリングは心尖部、心基部の設定によって、大きくスコアが変動することもあるので、自動輪郭設定を過信せず、心尖部、心基部位置が正しいかを確認することが重要である。負荷時合計欠損スコア (SSS: summed stress score) 5~13の症例では、スコアの変動によって冠動脈疾患の重症度カテゴリーが変わってしまうため特に注意する。

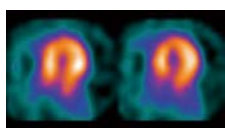
適切な心筋SPECT画像作成を目指して

画像作成プロセスの自動化が進んでいるが、まずは投影データ収集では十分な収集カウントが得られる設定にし、画像再構成やデータ解析では自動処理を過信せず、設定条件、処理結果が適切であるかを常に確認することが重要である。データ処理はときに主観的であるため、手動処理は慎重に行うべきである。解析値の信頼性を担保するためには、解析原理・適用条件・解析方法・誤差要因等を十分に理解したうえで結果を評価する必要がある (図4)。

体動によるアーチファクトを見抜く

体動によるアーチファクトを見抜くために再構成画像のどこに注目するか

- ・ 左室の形が丸くなく、いびつである
- ・ 血管支配領域に関係のない欠損がある
- ・ Distal AnteriorのHotspotがある
- ・ 肝臓の集積は心臓には近くない



演者作成

【図3】

まとめ

- ・ 収集から解析まで適正画像を作成するための注意すべき点を解説した。
- ・ SPECT収集カウントは、十分に得られるような設定が必要。
- ・ 画像再構成や心機能・血流解析は、自動処理を過信せず、処理結果が正しいかを常に確認することが重要。
- ・ データ処理は時には主観的であり、手動処理は無理やり処理する面もあるので、慎重に行う。
- ・ 解析値の信頼性を担保するには、解析原理・適用条件・解析方法・誤差要因などを理解したうえで、得られた結果が正しいかを評価することが必要。

演者作成

【図4】

2. 読影&レポーターティングの極意



筑波メディカルセンター病院
仁科 秀崇 先生

心筋SPECTを用いた 治療戦略とその課題

「2022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、負荷イメージングである心筋SPECTは、冠動脈CTAに比べ検査前確率の高い患者に対してrule-in目的で使うことが推奨されている¹⁾。しかし、心筋SPECTが正常所見の場合の予後は、非常に低リスクであることが知られており(図1)、心筋SPECTで心筋虚血を認めない症例では、内科的治療による安全な管理が可能であることが示唆されている。

一方で、心筋SPECTで中等度または重度の虚血を示した患者を対象としたISCHEMIA試験の結果では、初期からの侵襲的治療戦略が、保存的治療戦略と比較して必ずしも患者の予後改善に結びつかないことが報告されている(図2)²⁾。したがって、心筋虚血の存在やその程度は確かにリスクファクターであるものの、それだけでは侵襲的治療の対象とするには不十分であるというのが、現時点のエビデンスに基づく結論と言える。

アーチファクトを知り、見抜き、(可能であれば)修正する

心筋SPECTを白黒画像で読影する際、どこが欠損しているかを判断しづらい面があるため、状況に応じてカラー画像と切り替えながら評価を行うことが肝要である。ただし、あまりにもカラー表示に依存すると、全体的に異常に

見えてしまう可能性もあるため注意しなければならない。

心筋SPECT画像の読影は「まずはありのままの姿を見る」ことが基本である。正常か異常かという判断に進む前に、画像全体の状態を確認することが重要である。例えば、画像の歪みが強調されている場合、その背景には体動などによるアーチファクトが潜んでいる可能性がある。

自験例においても、肩の痛みのために腕を上げることが困難であった症例にアーチファクトを認めたことがある。本症例には、腕を下げた状態で心筋SPECTの再撮像を実施した結果、再撮像前に気になっていた画像の歪みや欠損が解消され、自信を持って正常と判断することができた。

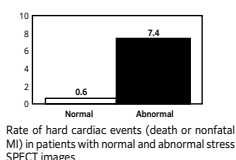
BMIで30を超えるような肥満患者に対してもアーチファクトに注意が必要である。このような患者の心筋SPECT画像では、梗塞であるかアーチファクトであるかの判断に悩む場面も少なくない。そこで役立つのが、心電図同期心筋SPECTを用いた評価である。心電図同期心筋SPECTにより心臓の動きなどの心機能を評価に加えることで、診断がより明確になる可能性がある。実際に、心筋血流と心機能を同時に評価することで、「おそらく正常」や「おそらく異常」といった曖昧な判定が減少し、より明確な診断につながる事が報告されている³⁾。前述のような肥満患者に対しては、Prone Imaging(うつぶせ撮像)による評価も有用である。うつぶせの状態では撮像することで、下壁の集積低下が正常であるかアーチファクトであるかを判断

心筋血流SPECTが正常所見の場合の予後

^{99m}Tc心筋血流SPECT製剤を用いた心筋SPECTのリスク層別化に関するメタ解析。
安定狭心症の患者12,000名以上(14論文)を対象。

^{99m}Tc心筋血流SPECTが正常所見の場合の
1年間のハードイベント(死亡または心筋梗塞)のリスクは0.6%であった。

心筋SPECTが異常所見の場合のハードイベントのリスクは7.4%/年。



Study (ref no.)	Year	No. of Pts	Mean Age (yr)	Hx of			Type of Stress	Tracer	F/U (mo)	Hard Events*		
				MI	HTN	DM				NL SPECT	AB SPECT	
Hachamovich et al. (16)	1997	1,159	72	50%	18%	55%	66%	AD	Dual†	275	1.6	7
Boyer et al. (17)	1997	229	58	50%	27%	—	—	Ex	Mibi	19	0.8	5.4
Nallamothu et al. (18)	1996	412	57	65%	6%	43%	11%	Ex	Mibi	17	0.2	7.8
Hachamovich et al. (19)	1996	2,113	61	60%	0	39%	9%	Ex	Dual†	19	0.2	4.7
Hachamovich et al. (20)	1996	4,136	63	0	21%	—	—	Ex	Dual	20	0.4	6
Gelzsose et al. (21)	1996	80	61	0	13%	53%	13%	Dob	Mibi	23	0	—
Gelzsose et al. (22)	1996	392	60	56%	48%	43%	15%	Dob	Mibi	22	0.8	9.2
Berman et al. (23)	1995	1,702	62	61%	11%	—	10%	Ex	Mibi	20	0.1	4.5
Heller et al. (24)	1995	512	67	44%	27%	58%	25%	DP	Mibi	13	1.3	7.4
Zanco et al. (25)	1995	147	53	82%	40%	—	—	Ex	Mibi	43	0	8.2
Brown et al. (26)	1994	234	55	54%	—	—	—	Ex/DP	Mibi	10	0.5	—
Stratmann et al. (27)	1994	521	60	98%	35%	48%	12%	Ex	Mibi	13	0.5	7
Stratmann et al. (28)	1994	534	65	97%	37%	59%	21%	DP	Mibi	13	1.8	13.8
Raiker et al. (29)	1994	208	59	52%	5%	—	—	Ex	Mibi	14	0.4	—
Total/average		12,360	61	55%	22%	50%	16%	—	Mibi	20	0.6	7.4

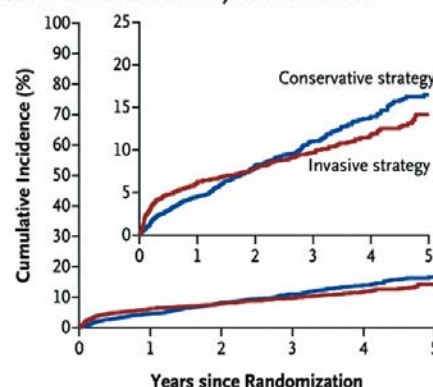
*Death or nonfatal myocardial infarction (MI). †Stress MIBI/thallium. AB = abnormal; AD = adenosine; DM = diabetes mellitus; Dob = dobutamine; DP = dipyridamole; Ex = exercise; F/U = follow-up; HTN = hypertension; Hx = history; Mibi = sestamibi; NL = normal; Pts = patients; ref = reference; SPECT = single-photon emission computed tomography; — = not available.

Iskander S, et al. J Am Coll Cardiol. 1998; 32(1): 57-62.

≥10% (≥ 5%) ischemiaでは血行再建firstはno benefit

ISCHEMIA trial

B Death from Cardiovascular Causes or Myocardial Infarction



No. at Risk	2591	2453	1933	1325	746	298
Conservative strategy	2591	2453	1933	1325	746	298
Invasive strategy	2588	2383	1933	1314	742	282

Maron DJ, et al. N Engl J Med. 2020; 382(15): 1395-1407.

【図2】 Initial Invasive or Conservative Strategy for Stable Coronary Disease
Maron DJ, et al. N Engl J Med. 2020; 382(15): 1395-1407.

- ・ 主要評価項目: 心血管死、心筋梗塞、心不全による入院、不安定狭心症による入院および蘇生できた心停止の複合
- ・ 登録患者数: 8,518人(38カ国341施設)
- ・ 登録基準: ①負荷検査で少なくとも中等度以上の虚血がある、②参加者がインフォームドコンセントを提供することを拒否しない、③21歳以上
- ・ 除外基準: LVEF ≤ 35%、過去のCCTAまたはCAGで左主幹部に50%以上の狭窄、12ヵ月以内のCCTAまたはCAGで閉塞性冠動脈疾患(狭窄率50%以上)がない、冠動脈の解剖がPCIまたはCABGに適さない、至適薬物治療にもかかわらず許容できないレベルの狭心症、過去2ヵ月以内の急性冠症候群、過去12ヵ月以内のPCI歴、過去6ヵ月以内の慢性心不全の増悪による入院または入院時のNYHAクラスIII-IVの心不全、透析を必要とする末期腎障害またはeGFR < 30ml/minの慢性腎臓病、他

しやすくなる。Supine Imaging (仰向け撮像) とProne Imagingの両方を活用することで、感度を落とさずに特異度を向上させることも知られている⁴⁾。

女性患者では、Shifting breast artifactにも留意が必要である。安静時のSupine Imagingでは乳房が心臓上に比較的均一にかぶさるが、負荷時では乳房が心臓の上半分を隠してしまうことがある。そのため、安静時と負荷時の乳房の位置の差が評価に影響を及ぼす可能性がある。このような場合にも、Prone Imagingが有用である。Prone Imagingでは、枕を置いて乳房がより均一な減弱体になることで、負荷時と安静時との乳房の位置の差による影響を抑えることが期待できる。女性患者におけるSupine Imagingでは、ブラジャーのカップサイズが大きくなるにつれて特異度が低下する傾向にあるが、Prone Imagingと組み合わせることで、特異度を向上させることが報告されている⁵⁾。

Bad diseaseを見逃さない

心筋SPECTによる診断で最も避けるべきは、最初の読影で「正常」または「軽度の異常」と判断した後に3枝病変などの高リスク所見が後日判明するようなパターンである。こうした展開を回避するためには、臨床背景を踏まえた上での閾値調整、すなわち検査前確率や臨床的尤度などのバイアスを考慮した工夫が求められる。

しかしながら、前述のとおり心筋SPECTでは「まずはありのままの姿を見る」ことが重要である。初見では「何となくぱっと見てもよく分からない」、「少し怪しいかな」といった印象に留まることもあるかもしれないが、ひとまず適当にスコアを付けた上で次のステップへ進むとよい。

一見すると心筋SPECT画像を正常と判断できそうな自験例を紹介する(図3)。本症例は70代男性であり、患者背景として息切れ、冠動脈の石灰化、高血圧、脂質異常症を有していた。LVEFの著明な低下は認めず、心筋SPECT画像は非常に均一な結果であった。そこで、まずは本症例が心筋SPECTを受けた原因について着目した。その結果、ドプタミン負荷エコー時の有意なST低下と、左前下行枝(LAD)領域における駆出期以降に生じる心筋の収縮(PSS: post-systolic shortening)があること

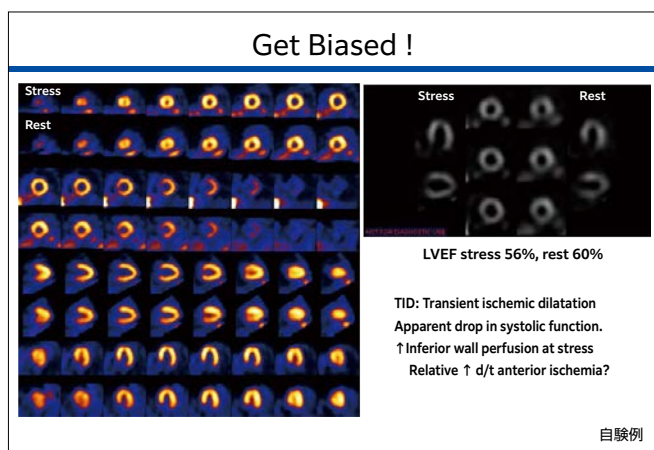
が判明した。こうした臨床的バイアスを考慮し、次に心筋SPECTで得られたデータの深読みを行った。安静時と負荷時のLVEFに大きな変化はなかったものの、一過性左室内腔拡大(TID)が認められた。また、安静時には下壁の集積がやや低下しているのに対し、負荷後には完全に正常な状態に改善している点も確認された。これは、前壁の集積低下が原因で相対的に下壁が均一な灌流として写っている可能性が考えられ、LAD領域の虚血が示唆された。ドプタミン負荷エコーの結果も考慮し、本症例では冠動脈造影(CAG)をはじめとした精査、治療が必要であることをレポートとしてフィードバックした。その後、本症例に対しCAGが実施され、LADの近位部に非常に高度な狭窄(FFRが0.59)が確認されている。

心筋バイアビリティ評価の留意点

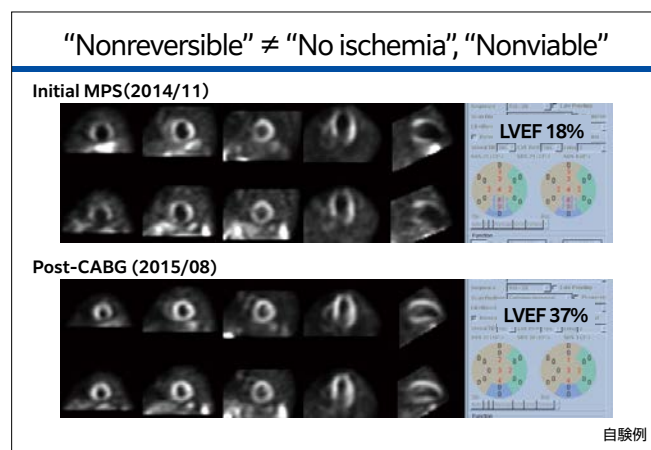
心筋バイアビリティの評価では冠動脈の解剖を評価することも重要である。

自験例を紹介する。本症例は60代男性の透析患者で、心電図異常とLVEFの低下を理由に、心筋SPECTのオーダーがあった患者である。負荷時と安静時のSPECT画像を比較すると、どちらもLAD領域に広範な欠損があり、ほとんどがnon-reversibleのように見えた。ここで問題となるのが「虚血の有無」、「バイアビリティの有無」、「血行再建の必要性」である。こうした症例では、一見するとバイアビリティは期待できず、血行再建の必要はないと判断されるかもしれない。しかし、冠動脈の解剖を評価せずにバイアビリティを判定してはいけない。本症例の場合、実際にCAGを実施したところ、LADの近位部に石灰化を伴う非常に高度な狭窄と、右冠動脈にびまん性病変が認められた。したがって、最初にnon-reversibleのように見えたのは、安静時からの高度な虚血が影響していると考えられる。それならば、バイアビリティがないとは断定できない。本症例は、その後冠動脈バイパス手術(CABG)を受け、虚血およびLVEFが改善している(図4)。

- 1) 日本循環器学会. 2022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. 2022年3月11日発行.
- 2) Maron DJ, et al. N Engl J Med. 2020; 382(15): 1395-1407.
- 3) Smanio PE, et al. J Am Coll Cardiol. 1997; 30(7): 1687-1692.
- 4) Nishina H, et al. J Nucl Med. 2006; 47(1): 51-58.
- 5) Slomka PJ, et al. J Nucl Cardiol. 2007; 14(1): 44-52.



【図3】



【図4】

*2023年10月改訂(第2版) 2022年3月改訂(第1版)			放射性医薬品・心臓疾患診断薬、心機能診断薬 放射性医薬品基準テトロホスミンテクネチウム(^{99m} Tc)注射液			薬価基準収載																															
マイオビュー® 注シリンジ MYOVIEW® Injection						処方箋医薬品 注意 ― 医師等の処方箋により使用すること																															
						®:登録商標																															
日本標準商品分類番号			874300		販 売 開 始		296MBq,592MBq : 1997年1月 740MBq : 1998年1月																														
承 認 番 号			20800AMZ10129000				8. 重要な 基本的注意																														
貯 法			室温保存		有 効 期 間		28時間																														
*2. 禁忌			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																																		
3. 組成・性状			3.1 組成																																		
			<table><tr><td>販 売 名</td><td colspan="5">マイオビュー注シリンジ</td></tr><tr><td rowspan="2">有効成分</td><td>1シリンジ(0.5mL)中 テトロホスミンテクネチウム(^{99m}Tc)(検定日時において)296MBq テトロホスミン 70μg</td><td>1シリンジ(1mL)中 テトロホスミンテクネチウム(^{99m}Tc)(検定日時において)592MBq テトロホスミン 0.14mg</td><td>1シリンジ(1.25mL)中 テトロホスミンテクネチウム(^{99m}Tc)(検定日時において)740MBq テトロホスミン 0.175mg</td><td colspan="3"></td></tr><tr><td>1シリンジ(0.5mL)中 塩化第一スズ 9μg,スルホサリチル酸ナトリウム 96μg,グルコン酸ナトリウム 0.30mg,アスコルビン酸 0.68mg,日本薬局方生理食塩液,pH調整剤2成分</td><td>1シリンジ(1mL)中 塩化第一スズ 18μg,スルホサリチル酸ナトリウム 0.192mg,グルコン酸ナトリウム 0.60mg,アスコルビン酸 1.36mg,日本薬局方生理食塩液,pH調整剤2成分</td><td>1シリンジ(1.25mL)中 塩化第一スズ 22.5μg,スルホサリチル酸ナトリウム 0.240mg,グルコン酸ナトリウム 0.75mg,アスコルビン酸 1.70mg,日本薬局方生理食塩液,pH調整剤2成分</td><td colspan="3"></td></tr></table>						販 売 名	マイオビュー注シリンジ					有効成分	1シリンジ(0.5mL)中 テトロホスミンテクネチウム(^{99m} Tc)(検定日時において)296MBq テトロホスミン 70μg	1シリンジ(1mL)中 テトロホスミンテクネチウム(^{99m} Tc)(検定日時において)592MBq テトロホスミン 0.14mg	1シリンジ(1.25mL)中 テトロホスミンテクネチウム(^{99m} Tc)(検定日時において)740MBq テトロホスミン 0.175mg				1シリンジ(0.5mL)中 塩化第一スズ 9μg,スルホサリチル酸ナトリウム 96μg,グルコン酸ナトリウム 0.30mg,アスコルビン酸 0.68mg,日本薬局方生理食塩液,pH調整剤2成分	1シリンジ(1mL)中 塩化第一スズ 18μg,スルホサリチル酸ナトリウム 0.192mg,グルコン酸ナトリウム 0.60mg,アスコルビン酸 1.36mg,日本薬局方生理食塩液,pH調整剤2成分	1シリンジ(1.25mL)中 塩化第一スズ 22.5μg,スルホサリチル酸ナトリウム 0.240mg,グルコン酸ナトリウム 0.75mg,アスコルビン酸 1.70mg,日本薬局方生理食塩液,pH調整剤2成分													
			販 売 名	マイオビュー注シリンジ																																	
有効成分	1シリンジ(0.5mL)中 テトロホスミンテクネチウム(^{99m} Tc)(検定日時において)296MBq テトロホスミン 70μg	1シリンジ(1mL)中 テトロホスミンテクネチウム(^{99m} Tc)(検定日時において)592MBq テトロホスミン 0.14mg	1シリンジ(1.25mL)中 テトロホスミンテクネチウム(^{99m} Tc)(検定日時において)740MBq テトロホスミン 0.175mg																																		
	1シリンジ(0.5mL)中 塩化第一スズ 9μg,スルホサリチル酸ナトリウム 96μg,グルコン酸ナトリウム 0.30mg,アスコルビン酸 0.68mg,日本薬局方生理食塩液,pH調整剤2成分	1シリンジ(1mL)中 塩化第一スズ 18μg,スルホサリチル酸ナトリウム 0.192mg,グルコン酸ナトリウム 0.60mg,アスコルビン酸 1.36mg,日本薬局方生理食塩液,pH調整剤2成分	1シリンジ(1.25mL)中 塩化第一スズ 22.5μg,スルホサリチル酸ナトリウム 0.240mg,グルコン酸ナトリウム 0.75mg,アスコルビン酸 1.70mg,日本薬局方生理食塩液,pH調整剤2成分																																		
3.2 製剤の性状																																					
			<table><tr><td>販 売 名</td><td colspan="5">マイオビュー注シリンジ</td></tr><tr><td>外 観</td><td colspan="5">無色澄明の液</td></tr><tr><td>pH</td><td colspan="5">7.5~9.0</td></tr></table>						販 売 名	マイオビュー注シリンジ					外 観	無色澄明の液					pH	7.5~9.0															
販 売 名	マイオビュー注シリンジ																																				
外 観	無色澄明の液																																				
pH	7.5~9.0																																				
4. 効能又は効果			○心筋シンチグラフィによる心臓疾患の診断 ○初回循環時法による心機能の診断																																		
6. 用法及び用量			<心筋シンチグラフィ> 通常,成人には本剤185~740MBqを静脈内に投与し,投与後10分以降に,被検部に検出器を向け,撮像もしくはデータ収集及び処理を行い,心筋シンチグラムを得る。 なお,投与量は,年齢,体重,検査方法により,適宜増減する。 <初回循環時法> 通常,成人には本剤370~740MBqを静脈内に急速に投与し,投与直後よりデータを収集し,心RIアンジオグラムを得る。必要に応じ,収集したデータより,左室駆出分画等を算出する。 なお,投与量は,年齢,体重,検査方法により,適宜増減する。																																		
			9. 特定の背景を有する患者に関する注意																																		
			11. 副作用																																		
			<table><tr><td colspan="2"></td><td colspan="2">頻度不明</td></tr><tr><td>過 敏 症</td><td colspan="2">発疹</td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr><tr><td>消 化 器</td><td colspan="2">嘔吐</td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr><tr><td>循 環 器</td><td colspan="2">血圧低下</td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr><tr><td>そ の 他</td><td colspan="2">潮紅,熱感,口内灼熱感,金属味,動悸,口内異常感,嗅覚錯乱</td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr></table>								頻度不明		過 敏 症	発疹						消 化 器	嘔吐						循 環 器	血圧低下						そ の 他	潮紅,熱感,口内灼熱感,金属味,動悸,口内異常感,嗅覚錯乱		
		頻度不明																																			
過 敏 症	発疹																																				
消 化 器	嘔吐																																				
循 環 器	血圧低下																																				
そ の 他	潮紅,熱感,口内灼熱感,金属味,動悸,口内異常感,嗅覚錯乱																																				
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			296MBq(0.5mL) [1シリンジ], 592MBq(1mL) [1シリンジ], 740MBq(1.25mL) [1シリンジ]																																		
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																																		

最新の情報は,電子化された添付文書をご参照ください。

*2023年10月改訂(第2版) 2022年3月改訂(第1版)			放射性医薬品・心臓疾患診断薬、心機能診断薬 放射性医薬品基準テトロホスミンテクネチウム(^{99m} Tc)注射液調製用		薬価基準収載																													
マイオビュー®「注射用」 MYOVIEW® Kit					処方箋医薬品 注意 ― 医師等の処方箋により使用すること ®:登録商標																													
日本標準商品分類番号			874300																															
承認番号		20600AMY00007000		販売開始	1996年9月																													
貯法		2～8℃		有効期間	35週間																													
*2. 禁忌		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																																
3. 組成・性状		3.1 組成																																
		<table><tr><td>販売名</td><td colspan="5">マイオビュー「注射用」</td></tr><tr><td rowspan="2">有効成分</td><td>1バイアル中 テトロホスミン</td><td colspan="4">0.23mg</td></tr><tr><td>スルホサリチル酸ナトリウム</td><td colspan="4">0.32mg</td></tr><tr><td>添加剤</td><td colspan="5">1バイアル中 塩化第一スズ 0.03mg, グルコン酸ナトリウム 1.0mg, pH調整剤</td></tr></table>					販売名	マイオビュー「注射用」					有効成分	1バイアル中 テトロホスミン	0.23mg				スルホサリチル酸ナトリウム	0.32mg				添加剤	1バイアル中 塩化第一スズ 0.03mg, グルコン酸ナトリウム 1.0mg, pH調整剤									
販売名	マイオビュー「注射用」																																	
有効成分	1バイアル中 テトロホスミン	0.23mg																																
	スルホサリチル酸ナトリウム	0.32mg																																
添加剤	1バイアル中 塩化第一スズ 0.03mg, グルコン酸ナトリウム 1.0mg, pH調整剤																																	
3.2 製剤の性状		3.2 製剤の性状																																
		<table><tr><td>販売名</td><td colspan="5">マイオビュー「注射用」</td></tr><tr><td>外観 (調整前)</td><td colspan="5">白色の粉末</td></tr><tr><td colspan="6">本品により調製したテトロホスミンテクネチウム(^{99m}Tc)注射液(以下,本剤)は次のとおり</td></tr><tr><td>外観</td><td colspan="5">無色澄明の液</td></tr><tr><td>pH</td><td colspan="5">7.5～9.0</td></tr></table>					販売名	マイオビュー「注射用」					外観 (調整前)	白色の粉末					本品により調製したテトロホスミンテクネチウム(^{99m} Tc)注射液(以下,本剤)は次のとおり						外観	無色澄明の液					pH	7.5～9.0		
販売名	マイオビュー「注射用」																																	
外観 (調整前)	白色の粉末																																	
本品により調製したテトロホスミンテクネチウム(^{99m} Tc)注射液(以下,本剤)は次のとおり																																		
外観	無色澄明の液																																	
pH	7.5～9.0																																	
4. 効能又は効果		○心筋シンチグラフィによる心臓疾患の診断 ○初回循環時法による心機能の診断																																
6. 用法及び用量		<テトロホスミンテクネチウム(^{99m} Tc)注射液の調製> 本品に日局過テクネチウム酸ナトリウム(^{99m} Tc)注射液2～8mLを加え,静かに振とうした後,常温で15分間以上放置し,テトロホスミンテクネチウム(^{99m} Tc)注射液を調製する。 <心筋シンチグラフィ> 通常,成人にはテトロホスミンテクネチウム(^{99m} Tc)注射液185～740MBqを静脈内に投与し,投与後10分以降に,被検部に検出器を向け,撮像もしくはデータ収集及び処理を行い,心筋シンチグラムを得る。 なお,投与量は,年齢,体重,検査方法により,適宜増減する。 <初回循環時法> 通常,成人にはテトロホスミンテクネチウム(^{99m} Tc)注射液370～740MBqを静脈内に急速に投与し,投与直後よりデータを収集し,心RIアンジオグラムを得る。必要に応じ,収集したデータより,左室駆出分画等を算出する。 なお,投与量は,年齢,体重,検査方法により,適宜増減する。																																
		9. 特定の背景を有する患者に関する注意																																
20. 取扱い上の注意		11. 副作用																																
		<table><tr><td colspan="2">頻度不明</td></tr><tr><td>過敏症</td><td>発疹</td></tr><tr><td>消化器</td><td>嘔吐</td></tr><tr><td>循環器</td><td>血圧低下</td></tr><tr><td>その他</td><td>潮紅,熱感,口内灼熱感,金属味,動悸,口内異常感,嗅覚錯乱</td></tr></table>					頻度不明		過敏症	発疹	消化器	嘔吐	循環器	血圧低下	その他	潮紅,熱感,口内灼熱感,金属味,動悸,口内異常感,嗅覚錯乱																		
頻度不明																																		
過敏症	発疹																																	
消化器	嘔吐																																	
循環器	血圧低下																																	
その他	潮紅,熱感,口内灼熱感,金属味,動悸,口内異常感,嗅覚錯乱																																	
26. 製造販売業者等		14. 適用上の注意																																
		14.1 薬剤調製時の注意 14.1.1 本品は用時調製する。 14.1.2 調製中の術者への被曝を軽減するため,調製は注意深く,かつ迅速に行うこと。 14.1.3 調製方法 調製時の酸素不足により極めてまれに標識不良が起こることが報告されているので,調製は以下のように行うこと。 テクネチウム-99mとして555MBq/mLを超えない濃度の日局過テクネチウム酸ナトリウム(^{99m} Tc)注射液を入れた注射筒を準備する。通気針をバイアルゴム栓に刺した後,過テクネチウム酸ナトリウム(^{99m} Tc)注射液を必要量加え,そのままプランジャーを引いてバイアル内のガス2mLを抜き取ることでより通気針から無菌空気を導入する。 14.1.4 調製後は6時間以内に使用すること。 14.1.5 調製液を保存する場合は,常温で遮光すること。																																
22. 包装		2バイアル(1バイアル×2), 5バイアル(1バイアル×5)																																
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																																

最新の情報は,電子化された添付文書をご参照ください。

2022年3月改訂(第1版)				放射性医薬品・心臓疾患診断薬、副甲状腺疾患診断薬、腫瘍(脳、甲状腺、肺、骨・軟部、縦隔)診断薬 日本薬局方塩化タリウム(²⁰¹ Tl)注射液				薬価基準収載													
塩化タリウム(²⁰¹ Tl)注NMP								処方箋医薬品 注意——医師等の処方箋により使用すること													
日本標準商品分類番号		874300		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。															
承認番号		20300AMZ00282000		販売開始		1991年5月															
貯法		室温保存		有効期間		製造日から1週間															
3. 組成・性状		3.1 組成						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 患者の状態を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。													
		販売名 塩化タリウム(²⁰¹ Tl)注NMP																			
		有効成分		1シリンジ(1.5mL)中 塩化タリウム(²⁰¹ Tl) (検定日時において) 74MBq		1シリンジ(1.5mL)中 塩化タリウム(²⁰¹ Tl) (検定日時において) 111MBq				1シリンジ(2mL)中 塩化タリウム(²⁰¹ Tl) (検定日時において) 148MBq											
		添加剤 日本薬局方生理食塩液																			
		3.2 製剤の性状																			
		販売名 塩化タリウム(²⁰¹ Tl)注NMP						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。 11.2 その他の副作用													
		外 観 無色澄明の液																			
		pH 4.0～8.0																			
		浸透圧比 約1(生理食塩液に対する比)																			
4. 効能又は効果		○心筋シンチグラフィによる心臓疾患の診断 ○腫瘍シンチグラフィによる脳腫瘍、甲状腺腫瘍、肺腫瘍、骨・軟部腫瘍及び縦隔腫瘍の診断 ○副甲状腺シンチグラフィによる副甲状腺疾患の診断						11. 副作用													
6. 用法及び用量		＜心筋シンチグラフィ＞ 通常、成人には ²⁰¹ Tlとして74MBqを肘静脈より投与し、投与後5～10分よりシンチレーションカメラで正面像、左前斜位像、左側面像を含む多方向におけるシンチグラムを得る。なお、投与量は、年齢、体重及び検査方法により適宜増減する。						＜心筋シンチグラフィ＞ 14.1 薬剤投与時の注意 心臓と重なる肝臓等への集積増加を防止するため検査前の一食は絶食が望ましい。													
		＜腫瘍シンチグラフィ＞ 通常、成人には ²⁰¹ Tlとして脳腫瘍では55.5～111MBq、甲状腺腫瘍、肺腫瘍、骨・軟部腫瘍及び縦隔腫瘍では55.5～74MBqを静脈内に投与し、投与後5～10分よりシンチレーションカメラで被検部を撮像することによりシンチグラムを得る。必要に応じ、投与後約3時間に撮像を行う。なお、投与量は、年齢、体重及び検査方法により適宜増減する。																			
		＜副甲状腺シンチグラフィ＞ 通常、成人には ²⁰¹ Tlとして74MBqを静脈内に投与し、投与後5～10分よりシンチレーションカメラで被検部を撮像することによりシンチグラムを得る。必要に応じ、甲状腺シンチグラフィによるサプトラクションを行う。なお、投与量は、年齢、体重及び検査方法により適宜増減する。																			
		11.2 その他の副作用						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。													
		<table><tr><th></th><th>頻度不明</th></tr><tr><td>過 敏 症</td><td>皮膚発赤、多形滲出性紅斑、発疹、小丘疹、蕁麻疹、そう痒感、眼瞼浮腫等</td></tr><tr><td>消 化 器</td><td>嘔吐、嘔気</td></tr><tr><td>循 環 器</td><td>血圧低下、血圧上昇</td></tr><tr><td>呼 吸 器</td><td>喘息様発作</td></tr><tr><td>そ の 他</td><td>気分不良、潮紅、手足の感覚異常、薬品臭、口内苦味感</td></tr></table>									頻度不明	過 敏 症	皮膚発赤、多形滲出性紅斑、発疹、小丘疹、蕁麻疹、そう痒感、眼瞼浮腫等	消 化 器	嘔吐、嘔気	循 環 器	血圧低下、血圧上昇	呼 吸 器	喘息様発作	そ の 他	気分不良、潮紅、手足の感覚異常、薬品臭、口内苦味感
			頻度不明																		
		過 敏 症	皮膚発赤、多形滲出性紅斑、発疹、小丘疹、蕁麻疹、そう痒感、眼瞼浮腫等																		
消 化 器	嘔吐、嘔気																				
循 環 器	血圧低下、血圧上昇																				
呼 吸 器	喘息様発作																				
そ の 他	気分不良、潮紅、手足の感覚異常、薬品臭、口内苦味感																				
14. 適用上の注意		＜心筋シンチグラフィ＞ 14.1 薬剤投与時の注意 心臓と重なる肝臓等への集積増加を防止するため検査前の一食は絶食が望ましい。						22. 包装 74MBq(1mL)[1シリンジ]、111MBq(1.5mL)[1シリンジ]、148MBq(2mL)[1シリンジ]													
26. 製造販売業者等		26.1 製造販売元 日本メジフィックス株式会社 東京都江東区新砂3丁目4番10号																			

最新の情報は、電子化された添付文書をご参照ください。

2022年3月改訂(第1版)				放射性医薬品・心疾患診断薬				薬価基準収載																													
放射性医薬品基準15-(4-ヨードフェニル)-3-(R,S)-メチルペンタデカン酸(¹²³ I)注射液																																					
カルディオダイン®注								処方箋医薬品																													
CARDIODINE® Injection								注意 ― 医師等の処方箋により使用すること																													
								®:登録商標																													
日本標準商品分類番号		874300																																			
承認番号		20500AMZ00012000		販売開始		1993年3月																															
貯法		室温保存		有効期間		検定日から24時間																															
3. 組成・性状		3.1 組成																																			
		販売名		カルディオダイン注																																	
		有効成分		1シリンジ(1.5mL)中 15-(4-ヨードフェニル)-3-(R,S)-メチルペンタデカン酸(¹²³ I)(検定日時において) 111MBq 15-(4-ヨードフェニル)-3-(R,S)-メチルペンタデカン酸 0.6mg				1シリンジ(2mL)中 15-(4-ヨードフェニル)-3-(R,S)-メチルペンタデカン酸(¹²³ I)(検定日時において) 148MBq 15-(4-ヨードフェニル)-3-(R,S)-メチルペンタデカン酸 0.8mg																													
				1シリンジ(1.5mL)中 日本薬局方ウルソデオキシコール酸 10.5mg、日本薬局方リン酸水素ナトリウム、日本薬局方水酸化ナトリウム				1シリンジ(2mL)中 日本薬局方ウルソデオキシコール酸 14mg、日本薬局方リン酸水素ナトリウム、日本薬局方水酸化ナトリウム																													
		添加剤																																			
3.2 製剤の性状		3.2 製剤の性状																																			
		販売名		カルディオダイン注																																	
		外観		無色澄明の液																																	
		pH		8.2～9.2																																	
浸透圧比		約0.9(生理食塩液に対する比)																																			
4. 効能又は効果		脂肪酸代謝シンチグラフィによる心疾患の診断																																			
6. 用法及び用量		通常、成人には本剤74～148MBqを静脈内投与する。投与後15～30分より被検部に検出器を向け、撮像もしくはデータ収集を行いシンチグラムを得る。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 患者の状態を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。																																			
		11.2 その他の副作用																																			
11. 副作用		<table><tr><th></th><th>0.1～5%未満</th><th>0.1%未満</th><th>頻度不明</th></tr><tr><td>過敏症</td><td>—</td><td>—</td><td>発疹、痒感</td></tr><tr><td>呼吸器</td><td>—</td><td>—</td><td>呼吸困難</td></tr><tr><td>消化器</td><td>—</td><td>—</td><td>嘔気</td></tr><tr><td>循環器</td><td>—</td><td>—</td><td>血圧上昇、血圧低下</td></tr><tr><td>精神神経系</td><td>—</td><td>—</td><td>痙攣、失神、意識低下</td></tr><tr><td>その他</td><td>異臭、味覚異常</td><td>口内異常感、注射部疼痛</td><td>顔面蒼白、脱力感、注射部腫脹</td></tr></table> 頻度は使用成績調査を含む									0.1～5%未満	0.1%未満	頻度不明	過敏症	—	—	発疹、痒感	呼吸器	—	—	呼吸困難	消化器	—	—	嘔気	循環器	—	—	血圧上昇、血圧低下	精神神経系	—	—	痙攣、失神、意識低下	その他	異臭、味覚異常	口内異常感、注射部疼痛	顔面蒼白、脱力感、注射部腫脹
			0.1～5%未満	0.1%未満	頻度不明																																
		過敏症	—	—	発疹、痒感																																
		呼吸器	—	—	呼吸困難																																
		消化器	—	—	嘔気																																
		循環器	—	—	血圧上昇、血圧低下																																
		精神神経系	—	—	痙攣、失神、意識低下																																
		その他	異臭、味覚異常	口内異常感、注射部疼痛	顔面蒼白、脱力感、注射部腫脹																																
		14. 適用上の注意		14.1 薬剤投与時の注意 注射漏れをおこすと投与部位に痛みを生じることがあるので、投与に際しては薬液が血管外に漏出しないように注意すること。																																	
		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		111MBq(1.5mL)[1シリンジ]、148MBq(2mL)[1シリンジ]																																			
26. 製造販売業者等		26.1 製造販売元 日本メジフィックス株式会社 東京都江東区新砂3丁目4番10号																																			

最新の情報は、電子化された添付文書をご参照ください。



The 50th New Town Conference

Cardiovascular Nuclear Medicine

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
メディカルインフォメーション担当

製品お問い合わせ専用フリーダイヤル
0120-07-6941

受付時間：9:00-17:30
(土・日・祝日・弊社休日を除く)



日本メジフィジックス株式会社

〒136-0075 東京都江東区新砂3丁目4番10号
TEL 03-5634-7006(代) URL <https://www.nmp.co.jp/>