

心臓核医学による心筋虚血の検出： 予後予測から治療選択における最新の知見と FFR との比較

Detection of myocardial ischemia by nuclear cardiology: up-to-date findings of prognosis and treatment, and comparison with FFR

木曾啓祐

Keisuke Kiso, MD, PhD

国立循環器病研究センター 放射線部

Department of Radiology, National Cerebral and Cardiovascular

はじめに

心不全の原因検索においてはまず虚血の鑑別が必須である。その理由として心筋虚血に起因する心不全症例の予後はほかの原疾患と比較して悪いことや、血行再建が病態改善に最も有効な治療であることがあげられる。

そこで、本稿では心不全における虚血評価について核医学と最近注目されている FFR (Fractional Flow Reserve) について概説する。

核医学による心筋虚血の検出

負荷心筋血流 SPECT

運動負荷もしくは薬剤負荷と安静時の心筋血流分布から可逆性の血流変化は虚血、固定性の血流低下は梗塞と診断され、このような視覚的・定性的な血流評価による有意冠動脈狭窄の検出能は非常に高く、(感度 = 87%、特異度 = 73%)^[1]。さらに血流低下の程度を心筋分画モデルと 5 点評価法などを用いてスコア化することで半定量的な評価も可能となり、心血管イベントの予後予測や虚血の程度に応じた治療選択などのエビデンス構築にも利用されている。

また、負荷心筋血流 SPECT による虚血検出の有用性としては；

- ・ 負荷法が複数あり、あらゆる対象を評価可能。(腎障害・四肢機能障害・体内金属・アレルギーなどを有する症例でも評価可能)
- ・ いずれの負荷法も高い虚血診断精度を有する。
- ・ 「非侵襲的」に「生理学的」・「機能的」心筋虚血を評価可能。
- ・ 虚血の「範囲」および「程度」を加味した重症度を判定可能。
- ・ 予後予測や治療選択に有用なエビデンスを豊富に有する。

等があげられ、一方、短所としては；

- ・ 多枝病変や主幹部病変での虚血検出力が劣る。
- ・ 放射線被曝が比較的多い。
- ・ 負荷—安静 1 日法では検査拘束時間が長時間。などがあげられる。

心筋血流 PET

核医学による心筋虚血評価法として心筋血流「PET」もあげられる。

PET とは、消滅する際に 2 本のガンマ線を正反対 (180 度) の方向に放出する性質を有するポジトロン核種を利用する画像診断法で、心筋血流評価には ¹⁵O 標識水・¹³N 標識アンモニア・⁸²Rb 等の核種があげられる。また、同時計数法や吸収補正法を利用することで SPECT よりも高解像度・高感度の画像が可能となり、冠動脈病変の検出能についても SPECT と比較して特異度が有意に優れている。

さらに、PET は心筋血流量 (Myocardial Blood Flow: MBF) を「定量」できることが最大の利点である。MBF 定量は“ダイナミック収集”データから得られた左室内腔や心筋局所の時間—放射能曲線にコンパートメントモデル解析を当てはめて算出する (図 1)。なお、近年はこの MBF を精度高く自動解析できるソフトウェア (例: QPET、PMOD など) が複数あり、解析が簡便になっている。特に負荷—安静での MBF 比 (= 心筋血流予備能: Myocardial Flow Reserve: MFR) の計測により、SPECT では苦手とされる多枝病変の検出や、血流分布の定性画像よりも詳細な重症度評価が可能となっている (図 2)。また、近年では虚血診断のみならず、心筋全体の MFR が心不全の基礎心疾患にかかわらず予後予測に非常に有用である^[2] ことも判明している。ただし、心筋血流 PET 核種は 2 分～10 分の超短半減期のもののみであ

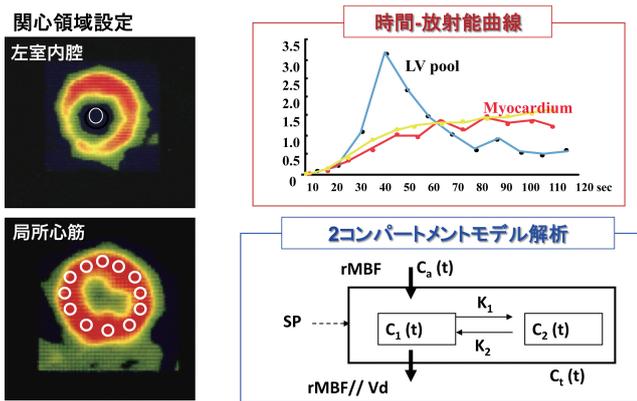


図1 PETによる心筋血流量(MBF)定量
左室内腔および心筋局所に関心領域を置き(左図)、ダイナミック収集データを元を得られた時間-放射能曲線(右上図)から2コンパートメントモデル解析(右下図)を行い、MBFを定量する。

ることから、その利用はサイクロトロンを有する数施設のみに限られており、汎用性に大きな課題を有している。

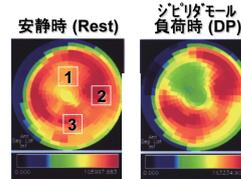
FFR

冠動脈内圧を計測できる pressure wire を用いて、最大冠拡張時の狭窄前後における圧格差を計測し、生理学的な虚血重症度を評価するモダリティーである。本評価法に基づいた血行再建の適応決定が予後や医療経済上有益であることが FAME study^[3] をはじめとする数々の報告から明らかになっている。最近では冠動脈 CT の画像データをスーパーコンピュータを用いて流体力学的に解析し、この FFR を計算する方法も実現しており、高い注目を集めている。

なお、FFR では SPECT と比較して病変そのものの重症度を判定できる利点を有するが、SPECT のように虚血範囲を加味した重症度判定は今のところ困難である。また、PET による MFR と FFR の比較では、組織障害を含む末梢循環障害の程度により両指標に乖離が生じることが分かっており、さらに、MFR は FFR よりも予後予測能に優れていることも報告されている^[4]。今後は FFR と MFR の両者を評価し、末梢循環障害等の組織性状も考慮に入れたうえでの病態評価および治療適応決定が必要になる可能性が示唆されている。

以上、虚血検出に関わる各種検査法にはそれぞれ利点・欠点があるため、これらを理解したうえで適用や

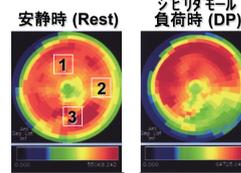
症例 1



症例1: 一枝病変例
LAD#6 100% (with collaterals)

	Rest MBF	DP MBF	MFR
ROI #1 LAD	114	178	1.56
ROI #2 LCX	128	399	3.12
ROI #3 RCA	112	379	3.38

症例 2



症例2: 三枝病変例
RCA#1 100% (with collaterals)
LCX#11 75%, LAD#6 50%

	Rest MBF	DP MBF	MFR
ROI #1 LAD	118	300	2.54
ROI #2 LCX	118	168	1.42
ROI #3 RCA	122	85	0.70*

* 盗血現象 (coronary steal phenomenon)

MBF=myocardial blood flow (ml/min/100g)

図2 PETによる虚血重症度評価における有用性
症例1: 血流分布画像からは前壁中隔の虚血と判断され、さらにこの虚血領域の MFR は 1.56 と低値を示しており、定量値からも虚血と診断される。
症例2: 画像からは後下壁~後側壁の虚血と判断され、血流低下の程度からは症例1よりも虚血としては軽度に見える。しかし、RCA 領域に関しては MFR=0.70 と負荷時において安静時よりも血流量が低下するいわゆる盗血現象が示唆されている。このように血流量定量により画像だけでは把握できなかった重症度に関してもより正確に判断することが可能である。

結果の解釈に活用していただきたい。

〈参考文献〉

- [1] Klocke FJ, Baird MG, Lorell BH, Bateman TM, Messer JV, Berman DS, et al. ACC/AHA/ASNC guidelines for the clinical use of cardiac radionuclide imaging-executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/ASNC Committee to Revise the 1995 Guidelines for the Clinical Use of Cardiac Radionuclide Imaging). *Circulation* 2003;108:1404-18.
- [2] Majumdar MD, Murthy VL, Shah RV, Kolli S, Mousavi N, Foster CR, et al. Quantification of coronary flow reserve in patients with ischaemic and non-ischaemic cardiomyopathy and its association with clinical outcomes. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2015;16(8):900-9.
- [3] Tonino PA, De Bruyne B, Pijls NH, Siebert U, Ikeno F, van't Veer M, et al. Fractional flow reserve versus angiography for guiding percutaneous coronary intervention. *N Engl J Med* 2009;360:213-24.
- [4] van de Hoef TP, van Lavieren MA, Damman P, Delewi R, Piek MA, Chamuleau SA, et al. Physiological basis and long-term clinical outcome of discordance between fractional flow reserve and coronary flow velocity reserve in coronary stenoses of intermediate severity. *Circ Cardiovasc Interv* 2014;7:301-11.