

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 4 月 24 日現在

機関番号：16301

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2022

課題番号：21K15767

研究課題名(和文) 逐次近似再構成を用いた低侵襲Dynamic心筋CT perfusion検査の開発

研究課題名(英文) Development of low-dose dynamic myocardial CT perfusion protocol using iterative reconstruction

研究代表者

桑原 奈都美 (Kawahara, Natsumi)

愛媛大学・医学部附属病院・助教

研究者番号：30895941

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、低被ばく心筋dynamic CT perfusion (CTP)と逐次近似再構成法(IR)を併用した撮影法に関して、心筋血流量(MBF: myocardial blood flow)を算出して心筋虚血評価における有用性を検討した。Full IR (FIR)で再構成したCTPから算出したMBFは、13N-アンモニアPET画像から算出したMBFと良好な相関を示した。また、13N-アンモニアPETによる虚血評価をgold standardとした場合、FIR再構成画像から算出したMBFは、filtered back projection法など従来の再構成法に比べて良好な虚血診断能を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、被ばく低減を目的に低線量心筋dynamic CT perfusion (CTP)撮影を施行した。低被ばく心筋CTP画像を逐次近似再構成法(IR)を併用し処理した場合と従来の画像再構成法を併用し処理した場合を比較した結果、IRを併用した場合は従来法に比べて画質改善や虚血診断能改善が可能であると示唆された。低侵襲心筋CTP撮影とIRを併用した撮影法を活用することで、患者負担の軽減や、灌流評価法としてのCTPの普及の実現が期待できると考える。

研究成果の概要(英文)：In present study, we underwent low-dose dynamic myocardial CT perfusion (CTP) to reduce radiation dose, and compared CTP image with full iterative reconstruction (FIR) and conventional reconstruction technique. We calculated myocardial blood flow (MBF) from reconstructed CT images (CT-MBF), and compared to 13N-ammonia PET-derived MBF (PET-MBF). Additionally, we assess diagnostic performance of CT-MBF for detecting PET-significant myocardial ischemia. In result, CT-MBF derived from FIR image showed robust correlation between PET-MBF, moreover, showed better diagnostic performance to detect PET-significant ischemia compared to conventional reconstruction technique. In conclusion, the low-dose dynamic myocardial CTP imaging with FIR was feasible for assessing myocardial perfusion abnormality, which may lessen invasion to patients in CTP imaging than conventional protocol, and be one of aid to spread CTP protocol as myocardial perfusion assessment.

研究分野：放射線科

キーワード：Dynamic 心筋 CTP 被ばく低減 MBF 心筋CT perfusion Myocardial blood flow 逐次近似再構成

1. 研究開始当初の背景

虚血性心疾患は、死亡者数の多さや要する医療費の面において、広く社会問題となっている疾患である。本邦においても、心疾患の年間死者は約 21 万人であり、死亡原因の第 2 位に位置づけられている。虚血性心疾患の治療方針の決定には、冠動脈の狭窄評価だけでなく心筋の虚血評価をあわせて行うことが重要であり、本邦においても平成 30 年度の診療報酬改定で、血行再建術の適応を決める際には予め虚血評価を行うことが新たな要件として設けられた。従来用いられてきた非侵襲的虚血評価の方法としては、SPECT、MRI、PET を用いた方法があるが、施設環境、検査時間/費用などの問題から全症例に施行することが難しいという実情がある。そこで我々はこれまでに、CT を用いた心筋灌流評価として心筋 CT perfusion (CTP) を考案し、冠動脈 CT (CTA) 撮影と続けて施行することで、1 回の CT 検査で冠動脈形態 評価と心筋虚血評価を同時に行うことができる有用な手法として報告してきた (Kurata A, et al. *Circ J.* 2005)。

心筋 CTP 検査は、心筋の虚血を造影効果の低下として検出できるモダリティである。虚血状態にある心筋は周囲正常心筋に比べて相対的に造影効果が乏しいため、画像上はコントラスト (濃度差) として描出される。さらに dynamic 心筋 CTP は、複数心拍分のデータを連続的に収集することで心筋の時間濃度曲線を描き、心筋における血流量 (Myocardial blood flow, MBF) を定量的に評価することができる。我々はこれまでに、CT から得た MBF (CT-MBF) が、SPECT や MRI から得られる結果と良好な相関があることを既に報告してきた (Tanabe Y, et al. *Eur Radiol.* 2016)。

一方で、dynamic CTP は被ばく量が多い (9.1-12.5 mSv: Seitun S, et al. *Biomed Res Int.* 2018) ことが臨床応用における大きな課題である。被ばく低減には低管電圧撮影を行う方法があるが、管電圧を下げると画質が劣化することが問題となっていた。しかし近年、新たな画像再構成法として逐次近似画像再構成法 (IR 法) が開発され、ノイズ除去やアーチファクト低減が可能となった。申請者は、この IR 法を併用することにより、画質を保持したまま従来に比べ低線量で dynamic CTP が可能になるのではないかと考えた。また、低管電圧撮影と IR 法により画像コントラストが改善し、正常心筋と虚血心筋との間の差がより明瞭になることで、心筋虚血の診断能の改善にも期待できると考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、full IR 法 (FIR) を併用した低侵襲 dynamic 心筋 CTP 撮影プロトコルを開発することである。結果の比較対象としては、従来の再構成法である filtered back projection 法 (FBP) と hybrid IR 法 (HIR) を用いた。

心筋 CTP は、冠動脈の CTA と続けて施行することで、虚血性心疾患の診断に必要な冠動脈の形態評価と心筋の灌流評価を一度の CT 検査で行うことができる。我々は、過去に心筋 CTP の有用性に関する報告を継続して行い、dynamic CTP のプロトコルや、心筋灌流量の定量的評価の手法を確立してきた (Tanabe Y, et al. *Eur Radiol.* 2016)。そのため、これまでの知見に加え、本研究で逐次近似再構成法を併用した手法について検証することで、より広く臨床応用が可

能な dynamic CTP の撮影プロトコルを開発、提案することができると考えた。本研究により新たなプロトコルを開発し、従来に比べて更に低侵襲な CTP を施行することができるようになれば、灌流評価法としての CTP の普及や、患者負担の軽減が期待できる。

3. 研究の方法

対象として32例をリクルートし、全例に対して低線量 dynamic 心筋 CTP (図 1)と ¹³N-アンモニア PET を施行した。

撮影した dynamic CTP データに FBP、HIR、FIR の3種類の再構成を行い、それぞれの画像から deconvolution 法を用いて心筋血流量(MBF: myocardial blood flow)を冠動脈3枝レベルで算出した。

また、定量的画質評価を目的として、各再構成法の画像から signal to noise ratio (SNR)と contrast to noise ratio (CNR)を算出した(図 2)。

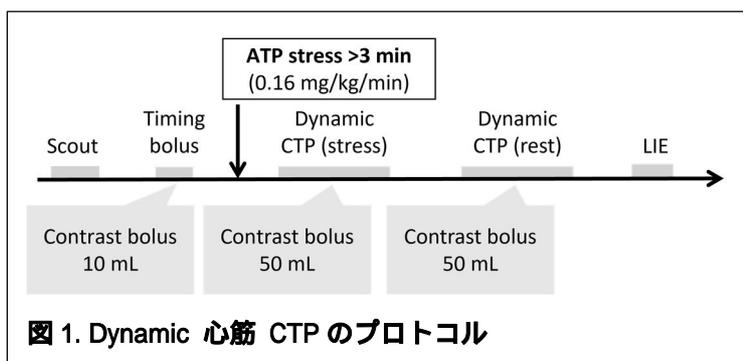


図 1. Dynamic 心筋 CTP のプロトコル

$$SNR = \frac{CT \text{ attenuation}_{(myocardial)}}{SD_{(blood \text{ pool})}}$$

$$CNR = \frac{CT \text{ attenuation}_{(myocardial)} - CT \text{ attenuation}_{(reference)}}{SD_{(blood \text{ pool})}}$$

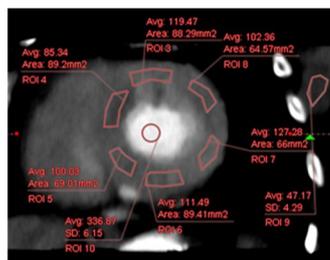


図 2. SNR, CNR の算出方法

(SNR: signal to noise ratio, CNR: contrast to noise ratio, SD: standard deviation)

CTP から算出した MBF (CT-MBF)を評価する際には、¹³N-アンモニア PET から算出した MBF (PET-MBF)による心筋血流量評価を gold standard として用いた。

評価項目として、SNR と CNR を用いた定量的画質指標、CT-MBF と PET-MBF の相関、PET での虚血を gold standard とした CT-MBF の虚血診断能の評価を行った。

4. 研究成果

対象患者の平均年齢は 71.2 ± 7.61 歳で、負荷 dynamic CTP 施行時の被ばく量は中央値で 4.0 (3.02-4.93) mSv であった。

定量的画質評価において、SNR と CNR は FBP で中央値 6.13 (range, 1.89-13.06)及び 3.44 (range, 0.53-8.96)、HIR で 8.38 (range, 2.84-16.93)及び 4.76(range, 0.9-12.07)、FIR で 16.11 (range, 8.43-41.5)及び 9.0 (range, 1.76-30.14)であった(図 4)。SNR と CNR のいずれにおいても FIR を併用した場合において有意に高値であり、従来の FBP や HIR を併用した場合に比べて画質が改善した結果となった。

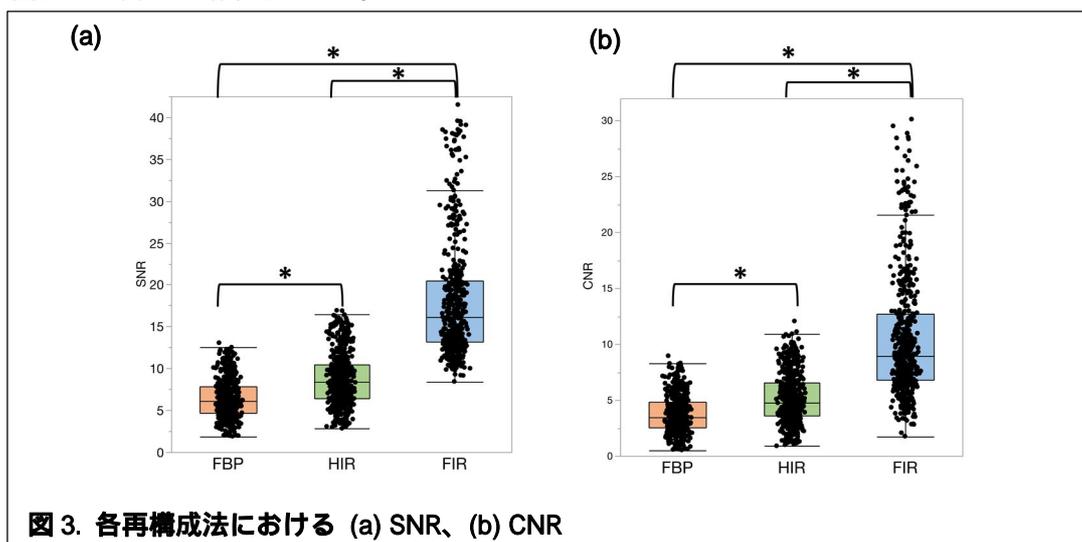


図 3. 各再構成法における (a) SNR、(b) CNR

次に、CT-MBF と PET-MBF の相関は図 4 の通りとなった。相関係数は FBP で $r=0.50$ 、HIR で $r=0.41$ 、FIR で $r=0.89$ (いずれも $p<0.05$)で、FIR 画像から算出した CT-MBF が最も良好な相関を示した。

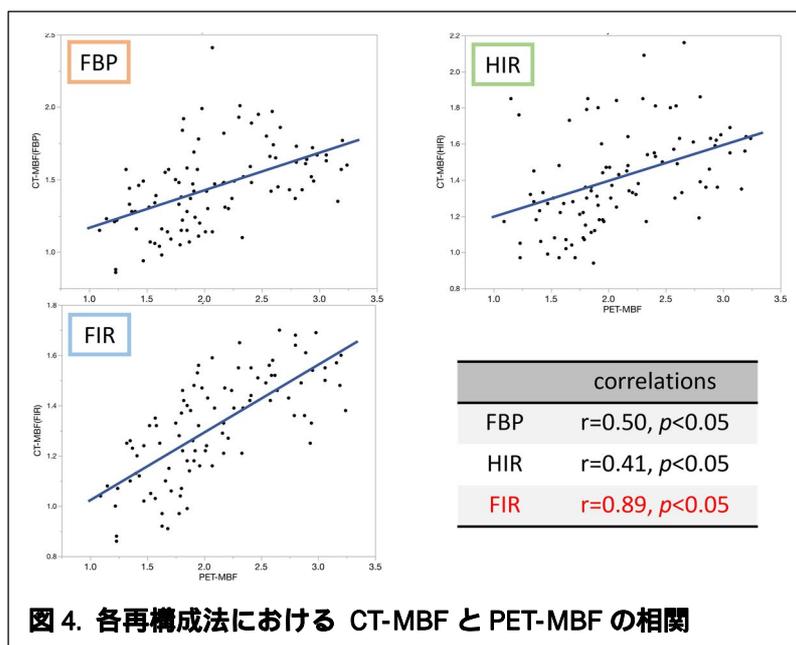
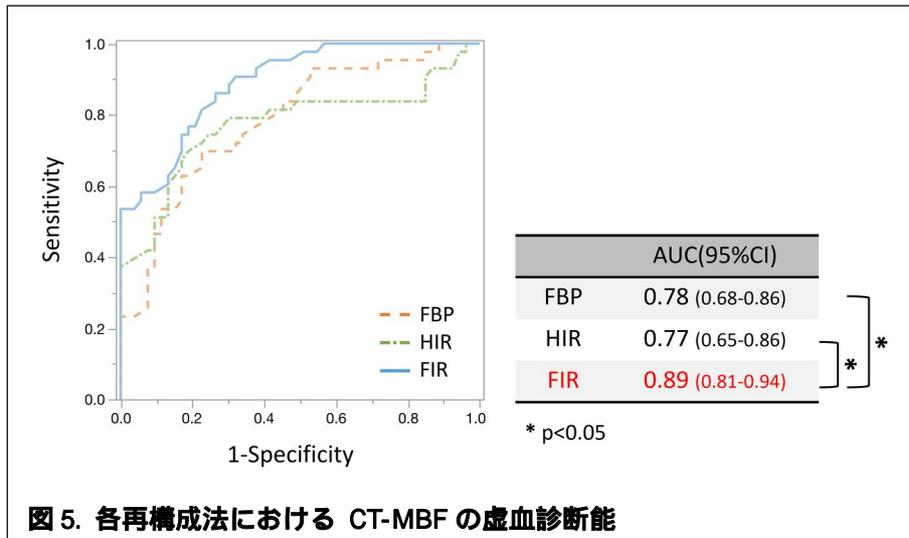


図 4. 各再構成法における CT-MBF と PET-MBF の相関

更に、 ^{13}N -アンモニア PET での虚血評価を gold standard とした場合における CT-MBF の診断能は図 5 の通りとなった。各再構成法の area under curve (AUC) は FBP で 0.78 (95%CI, 0.68-86)、HIR で 0.77 (95%CI, 0.65-0.86)、FIR で 0.89 (95%CI, 0.81-0.94)となり、FIR が他の再構

成法に比べて有意に AUC が大きい結果を示した。



本研究では被ばくの低減を目的として低線量 CTP 撮影を施行したが、FBP や HIR といった従来の再構成法を用いた画像は FIR を併用した画像に比べて画質が低く、CT-MBF と PET-MBF との相関も劣る結果となった。一方で、FIR 併用画像は画質や MBF の相関、虚血診断能のいずれにおいても良好な成績を示しており、低線量 CTP 撮影を施行した場合においても良好な虚血評価能を担保できた。

以上より、低侵襲 CTP 撮影と FIR を併用する方法を活用することで、CTP の被ばくを低減しつつ精度の高い心筋虚血診断が可能になることが示唆された。これにより、患者負担のさらなる軽減や、灌流評価法としての CTP の普及の実現が期待できると考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 桑原奈都美
2. 発表標題 Feasibility of Low-dose Dynamic Myocardial CT Perfusion Imaging with Full Iterative Reconstruction for Assessing Myocardial Perfusion.
3. 学会等名 第82回日本医学放射線学会総会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------