

令和 6 年 5 月 25 日現在

機関番号：13301

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K15761

研究課題名（和文）心臓専用半導体SPECTを用いた複数分子同時収集の物理因子解明と補正技術の確立

研究課題名（英文）Elucidation of physical factors and establishment of correction technology for dual-isotope simultaneous acquisition using cardiac semiconductor SPECT

研究代表者

澁谷 孝行（Shibutani, Takayuki）

金沢大学・保健学系・助教

研究者番号：80762509

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：心臓専用半導体SPECT装置の複数分子同時収集技術において、心筋位置依存性における画質劣化、クロストークの影響による定量性の低下、529keVのI-123エネルギーからの散乱線成分による画質劣化が生じ、その影響が複数分子同時収集の心筋集積比に依存していた。それらの課題を解決するために、新たな物理ファントムおよび動態システムを構築して、至適心筋集積比を明らかにし、画質劣化を改善する補正技術を確立させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、同一時相で複数分子情報を高精度に定量評価することができ、心疾患の病態解明、治療戦略および治療効果判定の精度向上に役立つだけでなく、全身用装置にもこの技術を展開でき、近い将来に開発される123I標識トレーサにも応用できる。さらに、今後、循環器学のみならず、脳科学、腫瘍学などあらゆる分野に展開でき、波及効果が期待できるため意義が高い。

研究成果の概要（英文）：In the multiple-isotope simultaneous acquisition technique of the cardiac semiconductor SPECT system, image quality deterioration in myocardial position dependence, quantitative accuracy deterioration due to crosstalk, and image quality deterioration due to scattered ray components from I-123 energy of 529 keV occurred, and their effects were dependent on the myocardial accumulation ratio of the multiple-isotope simultaneous acquisition. To solve these problems, we constructed a new physical phantom and dynamic system, clarified the optimal myocardial accumulation ratio, and established a correction technique to improve image quality.

研究分野：核医学技術

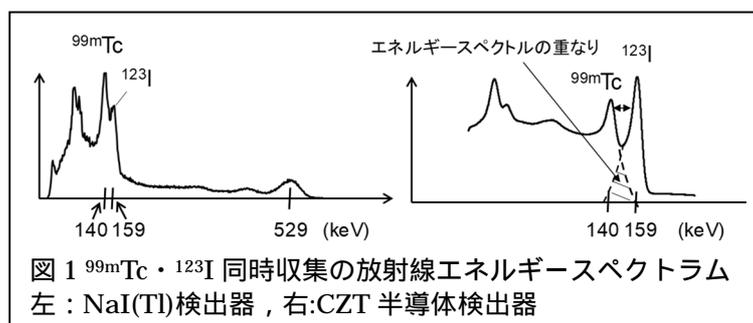
キーワード：複数分子同時収集 SPECT 心臓核医学 クロストーク

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

心疾患は、単一分子情報では正確な情報が得られず、血流、代謝および受容体の複数分子情報を複合させることで正確に評価することができる。複数分子情報を得る手法として、single photon emission computed tomography (SPECT)や positron emission tomography(PET)があり、非侵襲的に生体内挙動を可視化・定量化することができる。PET 製剤は、SPECT に比し定量性は高いが、消滅放射線のエネルギーが放射性医薬品によらず一定のために複数分子情報を同時収集することができない。一方、SPECT 製剤は、放射性核種によって放射線エネルギーが異なるために、そのエネルギー差を利用して複数分子情報を同時収集することが可能であり、同一時相の画像が得られる特徴を有する。しかし、従来の SPECT 装置は NaI(Tl)検出器を用いており、エネルギー分解能に限界があるため、 $^{99m}\text{Tc}$  と  $^{123}\text{I}$  のような放射線エネルギーが近い放射性核種では同時収集することができなかった(図 1 左)。そのため、心筋血流と代謝および神経機能情報を同時収集する場合には  $^{201}\text{Tl}$  血流製剤と  $^{123}\text{I}$  代謝および神経機能製剤の同時収集が実施されてきた<sup>1)</sup>。近年、 $^{201}\text{Tl}$  は放射線被ばくが多いとして、米国、欧州および日本のガイドラインでも心筋血流検査は  $^{99m}\text{Tc}$  製剤の利用を推奨する指針がだされた<sup>2,3)</sup>。したがって、心疾患の病態について正確な情報を得るためには、放射線エネルギーの近い核種を同時収集するシステムの構築が重要な課題となっている。

近年、検出器にテルル化亜鉛カドミウム(CZT)半導体素子を用いた心臓専用 SPECT 装置が開発され、エネルギー分解能が飛躍的に向上し、従



来に比べ放射線エネルギーが近い核種同士の同時収集が可能になった(図 1 右)。さらに、従来の NaI(Tl)検出器に比し高感度となり、放射線に指向性を持たせるコリメータも特殊形状のマルチピンホールコリメータを採用したことから飛躍的に収集時間が短縮し、従来の 1/5 で収集可能になった<sup>4)</sup>。

我々は、事前検証で、心筋血流( $^{99m}\text{Tc}$ )と脂肪酸代謝( $^{123}\text{I}$ )核種の単一および同時収集における装置の基本性能を測定し、エネルギー・スペクトラムが重なるクロストークによる定量性低下と 529keV の  $^{123}\text{I}$  エネルギーからの散乱線成分による画質劣化が生じ、その影響は心筋集積比によって異なることを確認した。さらに、マルチピンホールコリメータは焦点をもつために、呼吸性変動による心筋位置の移動が、定性および定量的に影響を及ぼす可能性が示唆された。そこで、心臓専用半導体 SPECT 装置を臨床利用していくには、 $^{99m}\text{Tc}$  と  $^{123}\text{I}$  の同時収集で画質と定量性を向上させる必要性を感じた。

## 2. 研究の目的

本研究では、心疾患の病態解明を高定量な複数分子同時収集技術で実現するために、 $^{99m}\text{Tc}$  と  $^{123}\text{I}$  製剤の同時収集について検証する。その上で、心臓専用半導体 SPECT 装置の位置依存性における画質劣化の影響を明らかにする。さらに、クロストークの影響による定量性の低下と 529keV の  $^{123}\text{I}$  エネルギーからの散乱線成分による画質劣化および複数分子同時収集の至適心筋集積比について心筋ファントムによる物理的指標を用いて最適化することを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (a) 心筋 SPECT の焦点位置依存性の検証

心臓専用半導体 SPECT はマルチピンホールコリメータが装着され、9 つの検出器が  $110^\circ$  振ることによって心臓を短時間収集するシステムであるが、焦点内の位置の違いによって心筋内分布が異なる。まず、基礎性能として、空間分解能の違いについて線線源ファントムを用いて評価した。線線源は、2.5mm 間隔で XY 方向に配列し、合計 9 本用意した。線線源に  $^{99m}\text{Tc}$  溶液を封入し、SPECT 収集後に the full width at half maximum (FWHM) 値を計測した。また、正常心筋ファントムに  $^{99m}\text{Tc}$  溶液を封入し、心筋分布の均一性について評価した。

### (b) 呼吸性移動による心筋位置依存性の検証

呼吸性同期を模擬できるデバイスを新たに開発し、天板上に心筋ファントムを配置し、頭尾方向に 0~3cm の幅でファントムを定速移動させた。心筋ファントムは正常心筋、下壁欠損心筋、側壁欠損心筋を作成し、SPECT 収集を行った。SD 法と OS 法で画像再構成を行い、頭尾方向に 0cm (静止状態) を Reference として、頭尾方向に移動させた場合の心筋分布への影響を評価した。

### (c) 心筋集積比による検証

$^{99m}\text{Tc}$  および  $^{123}\text{I}$  の複数分子同時収集の至適心筋集積比および画像再構成条件について検証した。正常心筋および梗塞心筋を模擬したファントム作成し、 $^{99m}\text{Tc}/^{123}\text{I}$  比が 1~6.5 の間で変化させて SPECT 収集を行った。さらに、Gaussian フィルタのパラメータを変化させて画像処理の最適化を試みた。

## 4. 研究成果

### (a) 心筋 SPECT の焦点位置依存性の検証

線線源の FWHM 値は焦点中心で約 10mm であったが、検出器に近づくほど低値となり、XY 方向両方で最も検出器に近い線線源の FWHM が 6.8mm ともっとも低値を示し、もっとも離れた位置では 14mm ともっとも高値を示した。

心筋ファントム画像における 17 セグメントモデルの Polarmap の均一性は、焦点中心でもっとも高く、焦点から離れるにつれて不均一になった。特に、中隔部と側壁部の集積低下が顕著で約 10% 集積が低下した。

### (b) 呼吸性移動による心筋位置依存性の検証

OS 法による心筋壁厚は頭尾方向の移動距離が増加するにつれて前壁および下壁で厚くなった。しかし、SD 法の心筋壁厚は移動距離に依存せずに静止時と同等の値を示した。心筋分布は、画像再構成によらず、移動距離が大きくなるにつれて前壁と下壁で%uptake が低値を示した。下壁欠損心筋の描出能は、移動距離に依存せずに%uptake に変化がなかった。一方、側壁欠損心筋の描出能は移動距離が大きくなるにつれて、%uptake が高値となり、病変部を過小評価した。呼吸性移動の影響は、SD 法に比較して OS 法で大きいことが確認できた。

(c) 心筋集積比による検証

$^{99m}\text{Tc}/^{123}\text{I}$  比が低くなるにつれて  $^{99m}\text{Tc}$  の散乱線補正ありの画像は下側壁で集積低下が強くなった。一方、 $^{123}\text{I}$  の散乱線補正ありの画像は投与量比が高くなるにつれて下側壁で集積低下が強くなった。しかし、 $^{99m}\text{Tc}/^{123}\text{I}$  比が低い場合、Gaussian フィルタのパラメータを変更することによって下側壁の集積低下が改善した。

参考文献

- 1) Nishimura T, Nishimura S, Kajiya T, et al. Prediction of functional recovery and prognosis in patients with acute myocardial infarction by  $^{123}\text{I}$ -BMIPP and  $^{201}\text{Tl}$  myocardial single photon emission computed tomography: a multicenter trial. *Ann Nucl Med*. 1998; 12(5): 237-48.
- 2) Einstein AJ, Pascual TN, Mercuri M, et al. Current worldwide nuclear cardiology practices and radiation exposure: results from the 65 country IAEA Nuclear Cardiology Protocols Cross-Sectional Study (INCAPS). *Eur Heart J*. 2015; 36(26): 1689-96.
- 3) 片渕哲朗, 工藤崇, 鈴木康裕, 他 . 心臓核医学検査に伴う医療被ばくの最適化に関する WG 報告 . *心臓核医学* . 2019; 21(1): 28-31(5).
- 4) Niimi T, Nanasato M, Sugimoto M, et al. Comparative Cardiac Phantom Study Using Tc-99m/I-123 and Tl-201/I-123 Tracers with Cadmium-Zinc-Telluride Detector-Based Single-Photon Emission Computed Tomography. *Nucl Med Mol Imaging*. 2019; 53(1): 57-63.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Yamashita S, Nakajima K, Okuda K, Yamamoto H, Shibutani T, Yoneyama T, Tsuji S, Yokoyama K	4. 巻 9
2. 論文標題 Phantom-Based Standardization Method for 123I-meta-iodobenzylguanidine Heart-to-Mediastinum Ratio Validated by D-SPECT Versus Anger Camera	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Ann Nucl Cardiol	6. 最初と最後の頁 85-90
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.17996/anc.23-00003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Saito S, Nakajima K, Shibutani T, Wakabayashi H, Yoneyama H, Konishi T, Mori H, Takata A, Kinuya S	4. 巻 9
2. 論文標題 Three-Dimensional Heart Segmentation and Absolute Quantitation of Cardiac 123I-metaiodobenzylguanidine Sympathetic Imaging Using SPECT/CT	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Ann Nucl Cardiol.	6. 最初と最後の頁 61-67
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.17996/anc.23-00002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 澁谷孝行	4. 巻 78
2. 論文標題 核医学編 3. 心筋ファントム	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本放射線技術学会誌	6. 最初と最後の頁 513-519
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.6009/jjrt.2022-2019.	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yoneyama H, Nakajima K, Taki J, Wakabayashi H, Konishi T, Shibutani T, Okuda K, Onoguchi M.	4. 巻 7
2. 論文標題 omparison of Myocardial Ischemia Detection Between Semiconductor and Conventional Anger-type Three-detector SPECT	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ann Nucl Cardiol.	6. 最初と最後の頁 49-56
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.17996/anc.21-00141	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Tsuboi K, Nagaki A, Shibutani T, Kawakami Y, Onoguchi M.	4. 巻 42
2. 論文標題 The setting of heartbeat acceptance windows on gated myocardial perfusion single-photon emission computed tomography using CZT camera: effect of left ventricular functional parameters in patients with arrhythmia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nucl Med Commun	6. 最初と最後の頁 1005-1010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1097/MNM.0000000000001417.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計28件(うち招待講演 7件/うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Ichikawa H, Kato T, Kondo H, Shibutani T, Shimada H, Onoguchi M
2. 発表標題 Image quality evaluation of a new acquisition orbit (cardiac-centered circular orbit) in myocardial perfusion SPECT
3. 学会等名 SNMMI 2023 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takami K, Onoguchi M, Shibutani T, Vija AH, Massanes F, Shimizu T, Yoneyama H, Konishi T, Nakajima K
2. 発表標題 Image characteristics of 99mTc myocardial perfusion SPECT/CT using a new multi-focal collimator: comparison with conventional SPECT with LEHR collimator
3. 学会等名 Annual Congress of the European Association of Nuclear Medicine (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shibutani T, Onoguchi M, Vija AH, Massanes F, Shimizu T, Yoneyama H, Konishi T, Nakajima K
2. 発表標題 The effect of data-driven respiratory gating on myocardial SPECT
3. 学会等名 Annual Congress of the European Association of Nuclear Medicine (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shibutani T, Onoguchi M, Yoneyama H, Konishi T, Nakajima K
2. 発表標題 Image evaluation of different 99mTc/123I ratios for simultaneous dual-isotope myocardial SPECT using D-SPECT cardiac camera
3. 学会等名 Annual Congress of the European Association of Nuclear Medicine (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤原克俊, 澁谷孝行, 横内安慈, 折坂優衣, 小西貴広, 米山寛人
2. 発表標題 心臓専用半導体SPECT装置における呼吸性移動と画質の関係
3. 学会等名 第51回日本放射線技術学会秋季学術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 横内安慈, 小西貴広, 澁谷孝行, 米山寛人, 折坂優衣, 藤原克俊
2. 発表標題 SPECT/CT撮像における呼吸性移動が定量値に与える影響
3. 学会等名 第51回日本放射線技術学会秋季学術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 阿部椋太郎, 小野口昌久, 澁谷孝行, 坂田恵, 米山寛人, 小西貴広, 中嶋憲一
2. 発表標題 心臓専用半導体SPECTを用いた99mTc/123I心電図同期二核種同時収集の心機能評価 : 99mTc単一核種との比較
3. 学会等名 第43回日本核医学技術学会総会学術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松本海利, 小野口昌久, 澁谷孝行, 坂田恵, 米山寛人, 小西貴広, 中嶋憲一
2. 発表標題 三次元心臓動態ファントムを用いた心臓専用半導体検出器の心機能評価 : 画像再構成間の比較
3. 学会等名 第43回日本核医学技術学会総会学術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤原克俊, 澁谷孝行, 横内安慈, 折坂優衣, 小西貴広, 米山寛人
2. 発表標題 心臓専用半導体SPECT装置における周期的移動の違いが正常心筋分布と壁厚に与える影響
3. 学会等名 第15回中部放射線医療技術学術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤原克俊, 澁谷孝行, 横内安慈, 折坂優衣, 小西貴広, 米山寛人
2. 発表標題 心臓専用半導体SPECT装置における周期的移動の違いが欠損描出能に与える影響
3. 学会等名 第15回中部放射線医療技術学術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 澁谷孝行
2. 発表標題 Anger型SPECT-CT装置がもたらす高解像度心筋SPECT撮像技術～多焦点コリメータから収集・補正まで～
3. 学会等名 第33回日本心臓核医学会総会・学術大会(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 澁谷孝行
2. 発表標題 鼓動をひとつに～心筋SPECT標準化がもたらす未来～
3. 学会等名 第51回日本放射線技術学会秋季学術大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 澁谷孝行
2. 発表標題 知って得する！心臓核医学技術
3. 学会等名 2023年度 日本心臓核医学会 中部・北陸合同地域別教育研修会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 今村美月，小野口昌久，澁谷孝行，坂田恵，米山寛人，小西貴広，中嶋恵一
2. 発表標題 心臓専用半導体検出器における二核種同時収集の画像評価 - 散乱線補正係数による検討 -
3. 学会等名 第42回日本核医学技術学会学術大会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 坂田恵，小野口昌久，澁谷孝行，田中直，米山寛人，小西貴広，原成広
2. 発表標題 心電図同期心筋SPECTにおける精度管理用三次元心臓動態ファントムの改良および評価
3. 学会等名 第32回日本心臓核医学会総会・学術総会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 米山寛人, 中嶋憲一, 小西貴広, 奥田光一, 澁谷孝行, 小野口昌久
2. 発表標題 心臓専用半導体検出器ガンマカメラと3検出器型ガンマカメラの虚血診断能の比較～心筋ファントムによる検証～
3. 学会等名 第32回日本心臓核医学会総会・学術総会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 米山寛人, 中嶋憲一, 小西貴広, 奥田光一, 澁谷孝行, 小野口昌久
2. 発表標題 心臓専用半導体検出器ガンマカメラと3検出器型ガンマカメラの虚血診断能の比較～冠動脈造影の結果との比較～
3. 学会等名 第32回日本心臓核医学会総会・学術総会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 須永貴俊, 小野口昌久, 栗田将, 鈴木哲平, 斎藤将太, 澁谷孝行
2. 発表標題 半導体SPECT装置におけるTc-99m心筋血流製剤を使用したプロトコールの工夫
3. 学会等名 第32回日本心臓核医学会総会・学術総会(招待講演)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Yoneyama H, Nakajima K, Wakabayashi H, Okuda K, Konishi T, Shibutani T, Onoguchi M
2. 発表標題 Comparison of myocardial ischemia detection between semiconductor and conventional Anger-type three-detector SPECT
3. 学会等名 13TH Congress of the World Federation of Nuclear Medicine and Biology (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Sunaga T, Kurita S, Onoguchi M, Shibutani T, Saito S
2. 発表標題 Radiopharmaceutical dose ratios in a one-day Tc-99m stress/rest myocardial perfusion SPECT(MPI) on CZT SPECT camera
3. 学会等名 13TH Congress of the World Federation of Nuclear Medicine and Biology (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 澁谷孝行
2. 発表標題 心疾患における核医学定量診断アプローチ
3. 学会等名 第77回日本放射線技術学会学術総会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 澁谷孝行
2. 発表標題 心臓核医学の定量解析の活用と技術的ポイント～PYPとMIBGを中心に～
3. 学会等名 第256回東京支部技術フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 澁谷孝行
2. 発表標題 専門技師が知っておきたい心臓核医学技術
3. 学会等名 第41回日本核医学技術学会学術総会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂田恵, 小野口昌久, 澁谷孝行, 川喜田ゆう, 米山寛人, 小西貴広, 中嶋憲一
2. 発表標題 心臓専用半導体検出器における画像再構成間の画像評価
3. 学会等名 第41回日本核医学技術学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤原克俊, 小野口昌久, 澁谷孝行, 川喜田ゆう, 米山寛人, 小西貴広, 中嶋憲一
2. 発表標題 心臓専用半導体検出器におけるI-123の画像評価 - Anger型カメラとの比較 -
3. 学会等名 第41回日本核医学技術学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 米山寛人, 中嶋憲一, 小西貴広, 奥田光一, 澁谷孝行, 小野口昌久
2. 発表標題 心臓専用半導体検出器ガンマカメラと3検出器型ガンマカメラの虚血診断能の比較 ~冠動脈造影の結果との比較~
3. 学会等名 第41回日本核医学技術学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五十嵐もも, 小野口昌久, 澁谷孝行, 川喜田ゆう, 米山寛人, 小西貴広, 中嶋憲一
2. 発表標題 心臓専用半導体検出器における二核種同時収集の画像評価 - 投与量比の検討 -
3. 学会等名 第41回日本核医学技術学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坊下紗里奈, 小野口昌久, 澁谷孝行, 川喜田ゆう, 米山寛人, 小西貴広, 中嶋憲一
2. 発表標題 心臓専用半導体検出器におけるI-123およびTc-99mの画像評価
3. 学会等名 第41回日本核医学技術学会学術大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 大西英雄, 本村信篤, 松友紀和, 澁谷孝行, 他	4. 発行年 2022年
2. 出版社 オーム社	5. 総ページ数 524
3. 書名 核医学検査技術学(改訂4版)	

〔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