

回転型データ収集を不要とする革新的SPECT システムの開発

尾川, 浩一 / OGAWA, Koichi

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

科学研究費助成事業 研究成果報告書

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

5

(発行年 / Year)

2019-05-15

令和元年5月15日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K09025

研究課題名(和文)回転型データ収集を不要とする革新的SPECTシステムの開発

研究課題名(英文)Development of an innovative SPECT system without the rotational data acquisition

研究代表者

尾川 浩一 (OGAWA, Koichi)

法政大学・理工学部・教授

研究者番号：00158817

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：患者の周囲に配置した3台のガンマカメラと複数のピンホールコリメータを用いて、ガンマカメラを回転させることなく完全に静止した状態でデータの収集を行うシングルフォトンエミッションCT (SPECT) 装置を考案し、この装置の性能を検証した。本研究では、マルチピンホールSPECTシステムのデータ収集上のさまざまなパラメータと再構成画像の画質との関係を明確にし、脳および心筋機能の映像化を実施するとともに、PET同様の動態機能解析の可能性を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で提案するSPECT装置は3台のガンマ線検出器を患者の周囲に3角形状に配して全方向からのデータをマルチピンホールコリメータで収集する点に特徴があるが、これにより一度に患者の周りの全方向からのデータ収集が可能となる。これはSPECTでは不可能であった、放射性医薬品の動態情報を3次元画像として映像化することができることを意味し、従来、ポジトロンCT (PET) でしかできなかった動態解析がSPECTでもできるようになれば、検査のコストを下げ、SPECT検査の臨床適用が拡大すると考えられる。同時に患者の被ばく低減など核医学診断の質と有用性を大きく革新する可能性があるといえ、本研究の成果は大きい。

研究成果の概要(英文)：A new single photons emission computed tomography(SPECT) apparatus was proposed in this study. This apparatus acquires gamma-ray data with three multi-pinhole collimators attached to a triple head gamma camera system without any rotational movement of gamma cameras around a patient. In this study, the performance of the proposed system was evaluated with simulations and experiments, and the relationship between the quality of reconstructed images and the parameters in the multi-pinhole collimator including the number of holes and the diameter of holes were clarified. In addition, brain and myocardial images reconstructed with this system were evaluated with numerical phantoms and experimental phantoms. And the availability of kinetic function analysis of an organ was also evaluated in this study.

研究分野：医用画像工学

キーワード：SPECT 核医学 ガンマカメラ ピンホールコリメータ データ収集 モンテカルロ法 画像処理 画像再構成

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

標識した放射性同位元素から発せられるガンマ線を計測し、臓器の機能を映像化するシングルフォトンエミッション CT (SPECT) では、 ^{201}Tl や $^{99\text{m}}\text{Tc}$ などのアイソトープで標識した放射性医薬品を用いて心筋の **viability** や局所脳血流などの臓器の機能を映像化できるため、SPECT は心筋梗塞に対するバイパス手術の可否や認知症などの診断において欠かすことのできない技術となっている。SPECT では一般に平行多孔型コリメータと呼ばれる、厚い鉛板に多数の孔を平行に空けたものを用い、その孔を通過するガンマ線のみを計測し、X 線 CT と同様の画像再構成法を用いてコンピュータによって放射性医薬品の集積分布を映像化している。この画像再構成にはさまざまな方向から得られたガンマ線のデータが必要になるが、現在のデータ収集方法では、一度に1つの方向からのデータのみしか計測できないので、検出器を患者の周りで回転して多数の方向からのデータを収集しなければならず、データ収集時間が 30 分程度かかってしまう。また、放射性医薬品の集積が経時的に変化するような場合の検査を実現することができない。一方で、マウスなどの小動物の SPECT イメージングではピンホールコリメータが用いられ、小さな臓器を拡大して、かつ、多数のピンホールによってデータ収集効率を向上させたイメージングが行われている。この原理をヒトの臓器（脳、心筋）の SPECT イメージングに適用させることができれば、データ収集時間の短縮、患者の被ばく量の低減、動態イメージングの実現が可能になる。そこで、現在臨床で使われている 3 台の検出器を有する SPECT 装置に適切なマルチピンホールコリメータを実装してデータ収集を行うシステムを提案し、研究を行うこととした。このような静止型データ収集 SPECT システムに関する国内外の研究は小動物 SPECT に限られており、ヒトを対象としたものはなかった。唯一の例外は、心筋 SPECT に特化したシステムであり、これは市販もされていたが、半導体検出器を使用しているためコストが高く、また対象が心筋のみであり特殊な検出器配置となっているため画像に擬似集積が発生しやすいという問題があった。これに対して提案するシステムはすべての臓器を対象としており、また、種々の放射性医薬品の速い動態を 3 次元 SPECT 画像として映像化し PET 検査と同様に臓器の機能の動態解析を行うことが可能である。このようなすべての臓器に対して対応可能な臨床用のマルチピンホール SPECT 装置は世界初であった。

2. 研究の目的

本研究では対象臓器の周囲に配置した 3 台のガンマカメラと複数のピンホールコリメータを用いて、検出器を回転させることなく完全に静止した状態でデータの収集を行い画像再構成する SPECT システムを開発し、脳および心筋機能の映像化や PET 同様の動態機能解析を実現することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) マルチピンホールコリメータの設計におけるパラメータの最適化

マルチピンホールコリメータを用いた SPECT システムを開発するにあたり、ピンホールの数、孔の空いている方向、孔の形状、孔の配置などが再構成画像の画質に大きく関係する。このため、光線追跡法を用いたシミュレーションから、上記のパラメータと画質の関係を検討する。

(2) マルチピンホール SPECT の画像再構成法の開発

マルチピンホールコリメータから得られた投影データから画像を再構成する方法を検討する。基本的には最尤推定期待値最大化法などの逐次近似的手法を用いて、画像再構成を行うものとするが、ピンホール投影データが 2 つの孔で重畳した場合なども考え、アーチファクトが発生しない方法を検討する。

(3) モンテカルロシミュレーションによるデータ収集効率と再構成画像の画質の検討

SPECT システムのデータ収集効率と再構成画像の画質などの基本性能を厳密に評価するためには、実際とほぼ同様の系でのモンテカルロ法による光子輸送シミュレーションが必要である。このため、過去の研究で開発したソフトウェアを基本にして、本システムのジオメトリに合う形に修正し、これを用いてデータ収集効率と再構成画像の画質を決定づけるピンホールの大きさ等を検討する。また、データ収集効率の改善を目的としてピンホール径を大きくした場合に発生するボケの補正についても検討を行う。モンテカルロ計算は非常に時間がかかることが予想されるので、グラフィックプロセッサ(GPU)を用いた並列計算法を開発する。

(4) マルチピンホールコリメータおよび装着治具の設計、製作

基礎実験を行い有効性の検証を行うために、マルチピンホールコリメータを設計、製作する。コリメータの材質や厚さは適切なものを選ぶものとする。また、コリメータを実際の SPECT システムに装着するための治具の開発を行う。

(5) 脳と心筋ファントムを用いたマルチピンホール SPECT システムの基礎実験

試作コリメータを 3 検出器型の SPECT システム(GCA9300R)に装着して基礎実験を行う。実験では、Hoffman 脳ファントム（京都科学社製）や心筋ファントム（京都科学社製）等を利用する。この際、研究協力者のキヤノンメディカルシステムズ 本村信篤博士の協力を得て施設を借りて研究を遂行する。

(6) GPU を用いた画像再構成計算の高速化

逐次近似形の画像再構成においては、計算時間が長くなるというのが実用上の問題点となる。この問題を解決するために、GPU を用いた並列計算プログラムを開発する。

(7) マルチピンホール SPECT 画像の画質の改善と動態解析法の開発

SPECT ではガンマ線の吸収、散乱、コリメータの開口などの影響により、再構成画像の画質が低下するので、過去の補正法を参考に補正を行う。ガンマ線の吸収に関しては原則としては X 線 CT 画像を用いる。また、散乱線の補正に関しては TEW 法を利用する。さらに、コリメータの孔の感度補正、量子雑音の低減も実施する。また、同時に 3 次元動態画像の再構成法を検討する。

4. 研究成果

(1) マルチピンホールコリメータの設計におけるパラメータの最適化

マルチピンホールコリメータの設計要件を、さまざまな条件を変えながら検証し、最終的に図 1 のようなデータ収集ジオメトリ、図 2 のようなコリメータのパラメータを決定した。コリメータの材質は 1cm 厚のタングステンである。

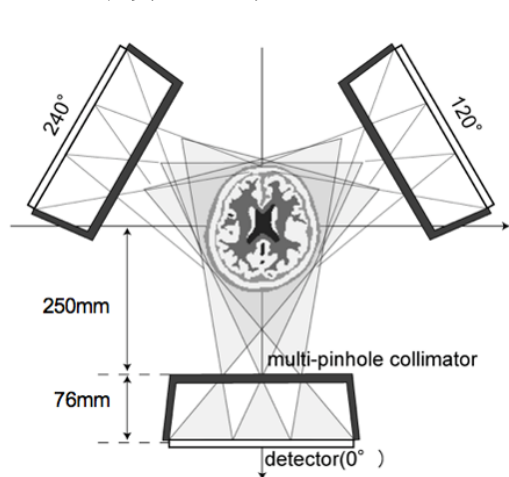


図 1 データ収集ジオメトリ

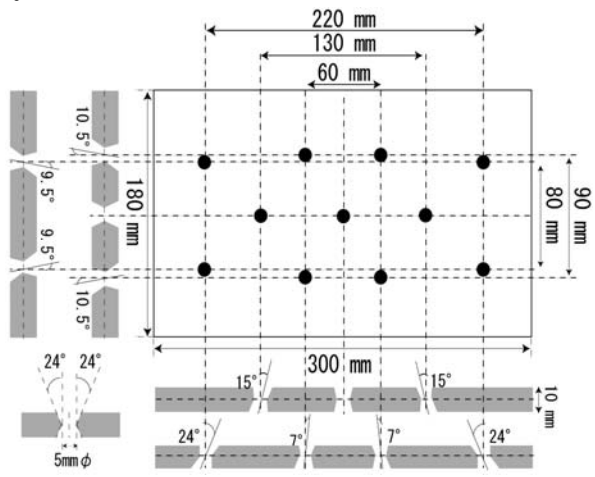


図 2 マルチピンホールコリメータ

(2) マルチピンホール SPECT の画像再構成法の開発

画像を再構成する方法としてリストモード ML-EM 法を用いることとし、視野外に存在する線源の影響で発生するアーチファクトが発生しないように工夫した。

(3) モンテカルロシミュレーションによるデータ収集効率と再構成画像の画質の検討

モンテカルロ法による光子輸送シミュレーションを行い、データ収集効率と再構成画像の画質を決定づけるピンホールの大きさ等を検討した。また、モンテカルロ計算は非常に時間がかかるため GPU を用いた並列計算法を開発した。図 3 は脳のファントムに対して、ピンホール径を 1~5mm と変化させて、データ収集効率と再構成画像の画質の変化を見た例である。上段の 2 行は 1 分収集、下段の 2 行は 2 分収集の場合で、ここではガンマカメラの固有空間分解能を 2mm FWHM とし、検出器は静止状態でデータ収集した場合となっている。再構成画像の画質から、データ収集時間が短くても空間分解能を改善した方が画質が向上するので、ピンホール径を 2~3mm 程度にした方が有利であるとの結論を得た。

(4) マルチピンホールコリメータおよび装着治具の設計、製作

実際の 3 検出器型 SPECT システムに搭載可能な脳 SPECT 用マルチピンホールコリメータを設計、製作した。設計仕様は図 2 で示したものとした。コリメータの材質はタングステン、コリメータ厚を 10mm とした。また、コリメータを実際の SPECT システムに装着するための治具も開発した。

(5) 脳と心筋ファントムを用いたマルチピンホール SPECT システムの基礎実験

試作コリメータを 3 検出器型の SPECT システム(GCA9300R)に装着して基礎実験を行った。実験では、Hoffman 脳ファントムや心筋ファントムを利用した。図 4 には試作コリメータを SPECT システムに装着した状態、および実験に使用した脳ファントムと心筋ファントム、さらにそれらの再構成画像を示す。脳ファントムの場合は横断断面画像、心筋ファントムの場合は縦断断面画像となっている。ここで、画像劣化要因となる(7)に言及した内容はすべて補正済みの画像となっている。

(6) GPU を用いた画像再構成計算の高速化

再構成に要する時間を短縮することを目的として GPU を用いた計算コードを開発した。これによって、画像再構成に要する時間は、CPU に対して GPU で 1/100 程度に短縮された。

(7) マルチピンホール SPECT 画像の画質の改善と動態解析法の開発

画質劣化要因となるガンマ線の吸収、散乱、コリメータの開口などに対して、すべての補正アルゴリズムを実装した。また、同時に 3 次元動態画像の再構成法の検討も行った。

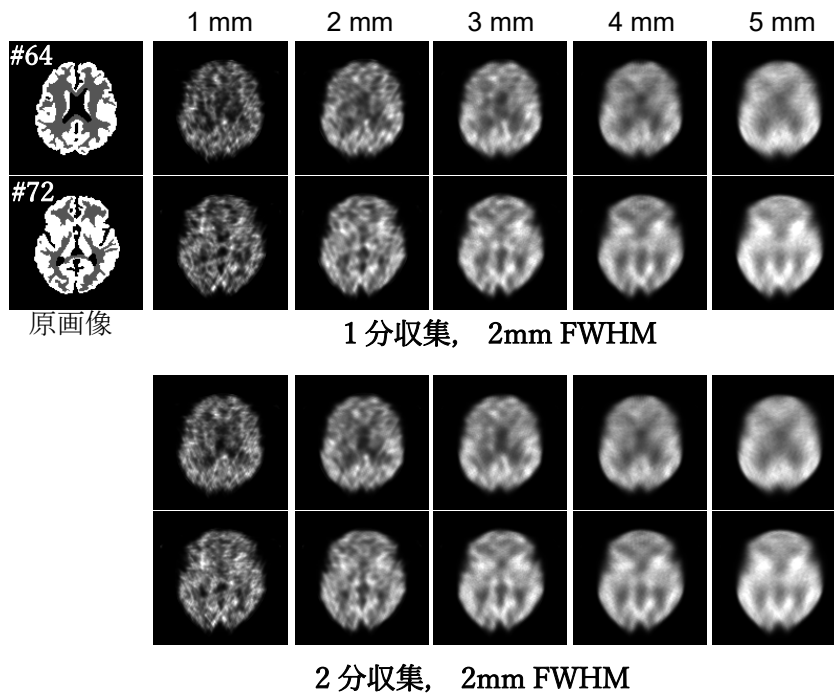


図3 再構成画像の例（ピンホール径：1～5mm、データ収集時間：1,2 分間）



図4 試作したコリメータを用いた基礎実験

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 5 件）

- ① Yohei Fujishiro, Kazumi Murata, Nobutoku Motomura, Koichi Ogawa, “List Mode Image Reconstruction With a Multi-pinhole Triple Head SPECT System,” Conference Record on IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, CD-ROM, 査読あり, 2018
- ② 尾川浩一, “SPECT におけるモンテカルロシミュレーション技術”, 核医学技術, 査読なし, vol.38, No.1, pp.112-119, 2018
- ③ Hayao Kubota, Nobutoku Motomura, and Koichi Ogawa, “Simulation study on a stationary SPECT system with multi-pinhole collimators,” Conference Record on IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, DOI: 10.1109/NSSMIC.2017.8532987, 査読あり, 2017
- ④ Xiaona Shan, Yutaro Hemuki, Koichi Ogawa, “Imaging of Single Pinhole SPECT with a TEW Scatter Correction,” Proceedings of International Forum on Medical Imaging in Asia (IFMIA), CD-ROM, 査読あり, 2017
- ⑤ Hayao Kubota, Yutaro Hemuki, Nobutoku Motomura, Koichi Ogawa, “Multi-pinhole SPECT system with a triple head gamma camera,” Conference Record on IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, DOI: 10.1109/NSSMIC.2016. 8069609, 査読あり, 2016

〔学会発表〕（計 7 件）

- ①尾川浩一、“SPECT における諸問題と最近の動向”、シンポジウム講演「医用画像再構成の基礎と新しい展開」、第 37 回日本医用画像工学会大会, 2018
- ②Yohei Fujishiro, Hayao Kubota, Koichi Ogawa, Nobutoku Motomura, “List mode reconstruction of a multi-pinhole triple head SPECT system”、第 115 回日本医学物理学会学術大会, 2018
- ③尾川浩一、“SPECT における画像再構成と画質の改善”、応用物理学会放射線分科会シンポジウム 招待講演、2018
- ④尾川浩一、“SPECT におけるモンテカルロシミュレーション技術”、第 37 回日本核医学技術学会学術大会シンポジウム「核医学におけるコンピュータシミュレーション」、招待講演、2017
- ⑤尾川浩一、“ピンホール SPECT イメージング”、第 27 回心臓核医学会学術大会、教育講演、2017
- ⑥Hayao Kubota, Yutaro Hemuki, Koichi Ogawa, Nobutoku Motomura, “Multi-pinhole imaging with a triple head SPECT system”、第 113 回日本医学物理学会学術大会, 2017
- ⑦Yutaro Hemuki, Koichi Ogawa, “Monte Carlo simulation for the multi- pinhole SPECT”、第 111 回日本医学物理学会学術大会,2016

〔図書〕（計 1 件）

- ①尾川浩一編著、“画像・情報処理”、国際文献社、ISBN978-4-902590-77-7、全 342 ページ、2018

6. 研究組織

(1)研究分担者

なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名：本村 信篤

ローマ字氏名： (MOTOMURA, nobutoku)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。