

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 29 日現在

機関番号：84404  
研究種目：基盤研究(C) (一般)  
研究期間：2011～2014  
課題番号：23500575  
研究課題名(和文) 分子機能定量局所拡大撮像SPECT高感度化のための画像再構成アルゴリズムの開発  
  
研究課題名(英文) Development of an image reconstruction algorithm for sensitivity improvement of ultra-high spatial resolution SPECT for molecular functional quantitation in a selected small region  
  
研究代表者  
銭谷 勉 (Zeniya, Tsutomu)  
  
独立行政法人国立循環器病研究センター・研究所・室長  
  
研究者番号：50443487  
  
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、分子機能定量SPECTにおいて局所領域を高解像度撮像するためのデータ欠損(トランケーション)を許す画像再構成アルゴリズムを開発し、それを高感度化のためにマルチピンホールコリメータに対応させることができた。撮像視野55 mmで8個のピンホールをもつマルチピンホールコリメータを用いたSPECT撮像実験の結果、感度が大きく改善され、短時間撮像の可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：We developed an image reconstruction algorithm for ultra-high spatial resolution SPECT system to quantify molecular functions in a selected small region. This algorithm is not affected by lack of data (i.e. truncation). In addition, we improved this algorithm for multi-pinhole SPECT system to improve sensitivity. SPECT study was performed using 8-pinhole collimator with 55-mm field of view. This study showed significant sensitivity improvement which permits short scan.

研究分野：医用画像工学

キーワード：画像診断 核医学 SPECT 画像再構成アルゴリズム 分子機能定量 高解像度 トランケーション マルチピンホールコリメータ

### 1. 研究開始当初の背景

ヒトの局所機能定量画像を高解像度で撮像したいという要望があるが、現在の臨床用 SPECT(single photon emission computed tomography:放射性標識薬剤の体内分布を放出されるガンマ線を検出によって観察)装置では解像度が不十分である。ピンホールコリメータを利用すれば拡大撮像は可能であるが、被写体が視野外にはみでるためデータに欠損(トランケーション)が生じ、定量的な画像は得られない。

高解像度の SPECT 装置としては、ピンホールコリメータを利用した解像度 1mm 以下の小動物専用装置が製品化され、様々なメーカーから販売されている。しかし、ピンホールコリメータによる拡大・高解像度撮像技術は、小動物のような小さな被写体には適しているが、大きな被写体に対しては解像度、感度ともに低く、一部の領域だけを撮像することも考えられるがトランケーションの問題がある。このようにピンホールコリメータはそのまま臨床用装置に使えるものではない。

海外では心臓専用 SPECT 装置が販売されている。これらは心臓に焦点を合わせた構造となっており、3~4mm 程度の高解像度の撮像装置が海外で開発されているが、データにトランケーションがあるため、定量性が確保されていない。

最近、撮像視野が被写体よりも小さい場合のトランケーションデータに対しても、視野内は正確に画像再構成可能とするアルゴリズムが提案され、X 線 CT を想定した 2 次元画像再構成において証明された。代表研究者らは、この手法を、ピンホール SPECT 3 次元画像再構成プログラムに応用し、小動物のトランケーション問題を想定したシミュレーションにおいて定量性が確保されることを確認した。この画像再構成手法は十分にヒト用 SPECT で局所撮像に応用可能で、高解像度かつ定量画像が得られると考えた。

これまでにトランケーションを許す画像再構成法を開発し、ファントム実験で局所拡大した高解像度画像を得ることに成功した。しかし、シングルピンホールコリメータを使用した試作機では、感度が低く、8 時間以上もの撮像時間を必要とした。実用化には撮像時間の短縮が不可欠で、感度の改善が重要であることが明らかとなった。

### 2. 研究の目的

局所拡大撮像の実用化には感度の改善が必要であるが、マルチピンホールコリメータが有効と考えられる。本研究では、トランケーションを許す画像再構成法において、マルチピンホールコリメータに対応するような画像再構成アルゴリズムを開発する。また、SPECT 撮像実験を行い、感度の改善を確認する。

### 3. 研究の方法

(1)トランケーションを許す画像再構成法のマルチピンホールコリメータへの対応

トランケーションがあっても正確な画像を得るための画像再構成アルゴリズムを開発した。撮像および画像再構成の手順は、図 1 のように [Step 1] 球状の視野内に被写体のエッジを含むようにデータを収集する。[Step 2] 3 次元の画像再構成領域が被写体全体を含むように大きく設定する。この 2 つの条件下で、逐次近似法で画像再構成することによって視野内で定量画像が得られる。この手法をまず、図 2 に示すようなシングルピンホールコリメータを用いた拡大撮像に応用した。

本研究では、感度を改善するために、この画像再構成法さらにマルチピンホールコリメータに応用した。図 3 は実際に使用したマルチピンホールコリメータである。図 4 はマルチピンホールコリメータの幾何学である。画像再構成アルゴリズムはこの幾何学を反映した。コリメータは、タングステン製で、1 mm 径のピンホールが 8 個配置されており、焦点距離 100 mm、回転半径 100 mm の拡大率 1 倍で、いずれのピンホールも直径 55 mm の同じ視野を見込んでおり、250mm x 150mm の検出器にオーバーラップなしで 8 つ投影像が得られる。検出器の解像度は約 1.5 mm である。拡大率 1 倍なので、同程度の再構成画像の解像度も同程度である。感度はシングルピンホールの約 8 倍である。

また、マルチピンホール化にともなってデータ量が増える。そこで、処理速度を改善するために、複数コンピュータ(PCクラスタ)および複数CPUを利用して、処理を分散して実行すべく OpenMPIソフトウェアを利用できるように画像再構成アルゴリズムを改良した。投影方向毎に処理は独立であるので、投影毎に分散して実行するようにした。

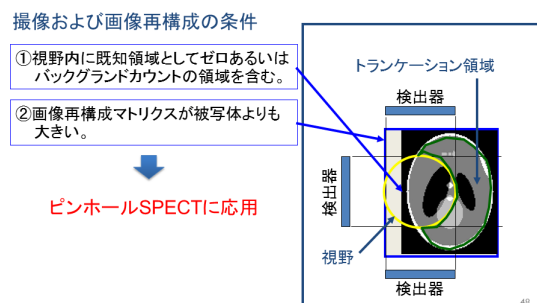


図 1 トランケーションを許す画像再構成理論

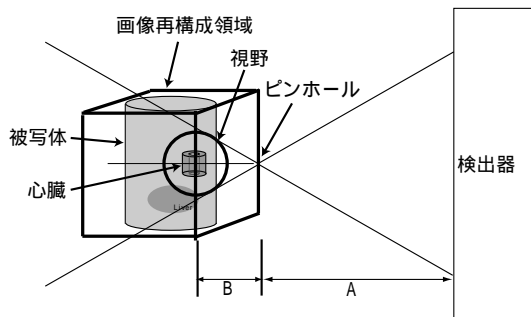


図2 トランケーションを許す画像再構成理論のシングルピンホールコリメータへの応用

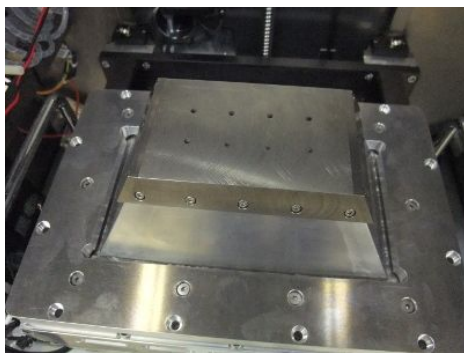


図3 8穴マルチピンホールコリメータ

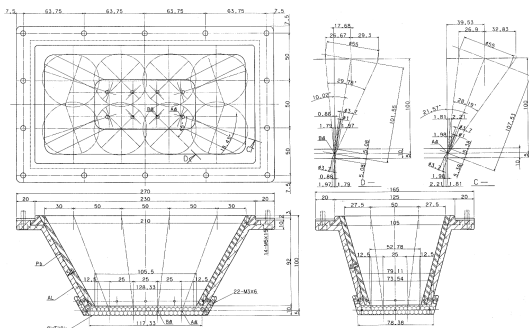


図4 マルチピンホールコリメータの幾何学

#### (2)脳ファントム撮像実験

図5のようなTc-99m溶液で満たされた脳を模倣したファントムをマルチピンホールコリメータで撮像した。頭頂葉、後頭葉付近の55 mm視野に対して、検出器を180°回転させて、約1時間撮像した。収集した投影データを開発したアルゴリズムで画像再構成し、局所拡大撮像においてトランケーションの影響なく画像再構成され、感度が改善されていることを確認した。また、一般の臨床用SPECT装置で撮像した脳ファントムの画像と比較をした。



図5 脳を模倣したSPECT用ファントム。灰白質領域に放射性同位元素が封入されている。

#### 4. 研究成果

図6はマルチピンホールコリメータで撮像した脳ファントムの局所領域のある撮像方向の投影画像データである。8個のピンホールを通過したガンマ線の強度分布が検出器の8つの領域に得られている。

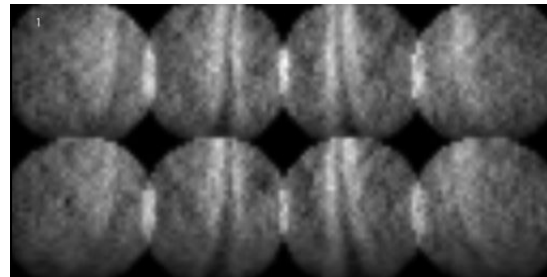


図6 脳ファントムの局所領域をマルチピンホールコリメータで撮像し、検出器に投影されたある1方向の投影画像データ。1方向で8つの投影データが得られている。

図7は脳ファントムの3次元再構成画像の断層像であるが、一般的な臨床用SPECTで平行ホールコリメータを使用して撮像した場合、解像度が低く、詳細構造は見えなかった(図7中)。一方、マルチピンホールコリメータで撮像した投影データ(図6)を開発した画像再構成法で再構成した場合、トランケーションがあってもアーチファクトなく、高解像度で詳細構造が確認できた(図7右)。1時間程度の撮像で十分な画質の画像が得られた。これはマルチピンホールコリメータによって感度が大きく改善した効果である。

また、複数コンピュータ(PC クラスタ)および複数CPUを利用した分散処理が実現でき、処理速度が大きく改善され、マルチピンホールSPECTの大容量データでも実用的な時間で画像再構成できた。

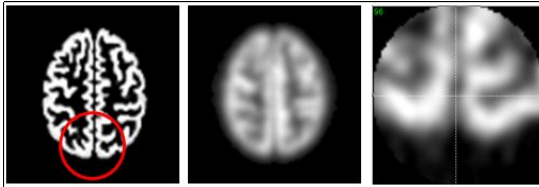


図7 脳ファントムのマルチピンホールSPECT拡大撮像画像 (左) デジタル設計画像、中) 臨床用東芝製SPECT装置で一般的に撮像した画像、右) マルチピンホールSPECTによる拡大撮像画像 (左図の円で示された視野を撮像)

以上、本研究では、分子機能定量 SPECT において局所領域を高解像度撮像するためのデータ欠損 (トランケーション) を許す画像再構成アルゴリズムを開発し、それを高感度化のためにマルチピンホールコリメータに対応させることができた。その結果、感度が大きく改善され、短時間撮像の可能性が示された。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

##### [雑誌論文](計 7 件)

銭谷勉、飯田秀博、生体機能定量 SPECT イメージングにおける高解像度化、第 57 回自動制御連行講演予稿集、査読無、CD-ROM、2014、pp. 2016-2017  
笹谷典太、砂口尚輝、青木大、湯浅哲也、兵藤一行、銭谷勉、マルチピンホールによる蛍光 X 線 CT の検出限界の改善、電子情報通信学会技術報告、査読無、Vol. 114、No. 482、2015、pp. 161-166  
賀久和弥、銭谷勉、平野祥之、高井雄紀、堀祐樹、森口哲朗、越野一博、佐藤哲大、金谷重彦、飯田秀博、頭部用高解像度 SPECT のための高精細マルチアノード光電子増倍管を用いたフルデジタル高解像度検出器の開発、電子情報通信学会技術報告、査読無、Vol. 113、No. 410、2014、pp. 275-280  
Hirano Y、Zeniya T、Iida H、Monte Carlo simulation of scintillation photons for the design of a high-resolution SPECT detector dedicated to human brain、Ann Nucl Med、査読有、Vol. 26、No. 3、2012、pp. 214-221  
DOI:10.1007/s12149-011-0561-4  
Zeniya T、Watabe H、Hayashi T、Ose T、Myojin K、Taguchi A、Yamamoto A、Teramoto N、Kanagawa M、Yamamichi Y、Iida H、Three-dimensional quantitation of regional cerebral blood flow in mice using a high-resolution pinhole SPECT system and (123)I-iodoamphetamine、Nucl Med Biol、査読有、Vol. 38、No. 8、

2011、pp. 1157-1164

DOI:10.1016/j.nucmedbio.2011.04.007

Zeniya T、Hirano Y、Tominaga、Hori Y、Watabe H、Sakimoto T、Sohlberg A、Minato K、Hatazawa J、Iida H、Conceptual design of high spatial-resolution SPECT system for human brain、2011 IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record、査読無、2011、pp. 3426-3428

Huang Q、Zeniya T、Hirano Y、Kudo H、Iida H、Gullberg GT、Evaluation of a brain imaging system with combined parallel hole and pinhole collimation、Proceedings of 11th International Meeting on Fully Three-Dimensional Image Reconstruction in Radiology and Nuclear Medicine、査読無、2011、pp. 246-249

##### [学会発表](計 7 件)

銭谷勉、SPECT 定量化におけるコリメータ開口補正のインパクト、日本分子イメージング学会第 9 回学会総会・学術集会、2014 年 5 月 22 日～2014 年 5 月 23 日、千里ライフサイエンスセンター (豊中)

銭谷勉、レポーター遺伝子と SPECT を用いた心筋梗塞モデルラットにおける移植細胞シートの機能定量イメージング、日本分子イメージング学会第 8 回学会総会・学術集会、2013 年 5 月 30 日～2013 年 5 月 31 日、アクトシティ浜松コンgresセンター (浜松)

銭谷勉、位置感応型光電子増倍管とデジタル位置演算による高解像度 SPECT 検出器の開発、第 52 回日本核医学学術総会、2012 年 10 月 11 日～2012 年 10 月 13 日、ロイトン札幌、ニトリ文化ホール (札幌市)

Zeniya T、Tracking of transplanted stem cells in myocardial infarction model rat: validation of simultaneous dual-isotope SPECT imaging with Tc-99m and Tl-201、2012 World Molecular Imaging Congress、2012 年 9 月 5 日～2012 年 9 月 8 日、Dublin (Ireland)

銭谷勉、心筋梗塞モデルラットの移植幹細胞トラッキング、日本分子イメージング学会第 7 回学会総会・学術集会、2012 年 5 月 24 日～2012 年 5 月 24 日、アクトシティ浜松コンgresセンター (浜松)

Zeniya T、Conceptual design of high spatial-resolution SPECT system for human brain、2011 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference、2011 年 10 月 28 日、Valencia (Spain)

Zeniya T、Optimization of multi-pinhole SPECT imaging for measuring quantitative cerebral blood

flow in rats、Society of Nuclear  
Medicine's 58th Annual Meeting、2011  
年6月7日、San Antonio(Texas)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

銭谷 勉 (ZENIYA TSUTOMU)  
独立行政法人国立循環器病研究センタ  
ー・研究所・室長  
研究者番号：50553487

### (2) 連携研究者

飯田 秀博 (IIDA HIDEHIRO)  
独立行政法人国立循環器病研究センタ  
ー・研究所・部長  
研究者番号：30322720  
渡部 浩司 (WATABE HIROSHI)  
大阪大学・医学系研究科・准教授  
研究者番号：40280820  
林 拓也 (HAYASHI TAKUYA)  
独立行政法人理化学研究所・分子イメージ  
ング科学研究センター・副チームリーダー  
研究者番号：50372115  
越野 一博 (KOSHINO KAZUHIRO)  
独立行政法人国立循環器病研究センタ  
ー・研究所・研究員  
研究者番号：90393206  
平野 祥之 (HIRANO YOSHIYUKI)  
独立行政法人国立循環器病研究センタ  
ー・研究所・派遣研究員  
研究者番号：00423129  
工藤 博幸 (KUDO HIROYUKI)  
筑波大学・システム情報工学研究科・教授  
研究者番号：60221933  
寺本 昇 (TERAMOTO NOBORU)  
大阪大学・医学系研究科・特任研究員  
研究者番号：40372114