

令和 6 年 5 月 15 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2023

課題番号：18K18412

研究課題名（和文）デジタル半導体PET装置による被曝低減・定量精度向上を担保した画像構築法の開発

研究課題名（英文）Development of an Image Reconstruction Method Ensuring Dose Reduction and Quantitative Accuracy Using Digital PET System

研究代表者

孫田 恵一（Magota, Keiichi）

北海道大学・大学病院・診療放射線技師長

研究者番号：20636419

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、デジタル半導体素子を搭載したPET装置を用いて、定量精度を担保したうえでの被曝線量低減のための臨床画像構築法を確立することを目的とした。人体模型ファントムを用いて画像再構成条件を最適化し、その後、最適化された条件を患者データに適用した。脳18F-FDG PET画像を用いた検討において、被曝線量は画質の点からは3/5に、診断能の点からは2/5まで減じることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、デジタル半導体素子を搭載したPET装置における定量精度を担保したうえでの被曝線量低減のための臨床画像構築法を最適化した。本知見をもとに、脳以外の他部位での検証や他の装置メーカー製のデジタル半導体素子を搭載したPET装置による同様の検証が行われ、同様に被曝線量を低減できることが立証できれば、繰り返し検査の施行、投与量減少による医療資源の有効活用にもつながることが期待される。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to establish a clinical image for reducing radiation exposure while ensuring quantitative accuracy using a PET system equipped with digital semiconductor. Image reconstruction conditions were optimized using a human phantom, and then the optimized conditions were applied to patient data. In the investigation using human brain 18F-FDG PET images, it was suggested that radiation exposure could be reduced by 3/5 in terms of image quality and by 2/5 in terms of diagnostic ability.

研究分野：放射線科学

キーワード：PET 半導体 被ばく 定量精度

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、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

Positron Emission Tomography (PET)検査は、放射性同位元素で標識した薬剤を生体内へ投与し、挙動解析などによりブドウ糖代謝、血流量など様々な生理機能を非侵襲的に画像化することが可能である。現在臨床現場で多く行われている¹⁸F-fluorodeoxyglucose (FDG)-PET検査では、悪性腫瘍の治療効果判定指標など画像から得られる生理学的パラメータを「絶対指標」として用いる。PET画像の画質ないし定量精度の担保(放射能濃度の正確さ)は絶対指標の高精度化に結びつく重要な要素である。

また、PET検査はガンマ線による放射線被曝を伴う。これまでに多くの施設で被曝線量の低減に向けた取組みがなされた。そのひとつに、Time of flight (TOF)計測技術がある。これは、二対のガンマ線検出器への到達時刻の差からガンマ線放出位置を特定する技術である。TOF測定により信号雑音比は、 (D/x) 倍向上する(D , 被写体直径; x , 時間分解能)ため、放射性薬剤の投与量を減量できるとされる。しかし、日本人は体格が小さい(D が小さい)ことと、現在のPET装置の検出器構造では時間分解能 x に限界があるため、十分な被曝線量低減効果は出ていない。現状のPET装置では未だに画質・定量精度と被曝線量はトレードオフ関係にあり、収集条件・画像再構成条件を総合的・複合的に考慮した画像構築法の開発が重要である。

本研究の開始当時、デジタル半導体素子を搭載したPET装置が臨床応用された。この装置は、シンチレータから受け取った光信号を効率的に取得することができ、また正確なガンマ線発光位置の同定も可能である。デジタル半導体素子を搭載したPET装置は、時間分解能が向上し、TOF測定による信号雑音比は従来型に比べ2倍程度上昇すると考えられている。このため、原理的には投与放射エネルギーを1/2程度減量することが可能であることを示唆している。また、空間解像度は20%程度改善するとされ定量精度向上にも寄与すると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、デジタル半導体素子を搭載したPET装置を用いて、定量精度を担保した上での被曝線量低減のための臨床画像構築法を確立することを目的とした。

3. 研究の方法

以下では、本研究を2つのパートに分けて記載する。

(1)人体模型ファントムを用いた検討

ヒトを用いた臨床画像での検討の前に、人体模型ファントム(ホフマンファントム)を用いて、画像再構成方法の最適化を行った。

具体的には、ホフマンファントムに¹⁸F-FDG脳PET検査の通常投与量と同等のガンマ線カウントを得られる量の¹⁸F-FDGを封入し、30分間のPET撮像をリストモードにて行った。収集したリストモードデータを、60秒、120秒、150秒、200秒、300秒、600秒で切り出し、それぞれ投与量が1/10、1/5、1/4、1/3、1/2、1/1量となるようシュミレートできるデータを準備した。

画像再構成方法は逐次近似再構成法を用い、そのパラメータであるiteration(1~10)とsubset(5, 10, 15)の組み合わせを最適化した。最適化においては、30分間画像を基準画像としたNormalized mean square error (NMSE)法にて行った。

(2)患者臨床データを用いた検討

脳てんかん焦点検索目的の¹⁸F-FDG PET検査を行った小児19例のデータを用いて、どの収集時間(投与量)まで減じることができるか検討を行った。

評価は、5-point Likert scaling法を用いた視覚的評価により行った。評価者は5年以上の経験年数を有する核医学医師3名であり、基準画像である10分画像に対して、画質と診断の自信度を1-5の5段階で得点付けし評価した。

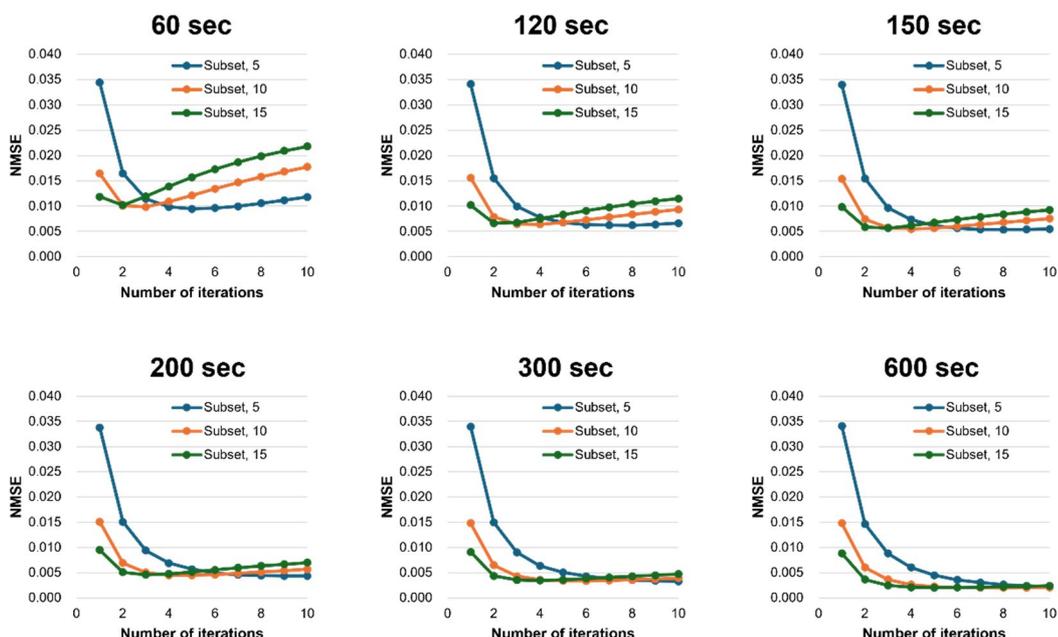
なお、各患者画像は、上記(1)にて行った収集時間(投与量)ごとの最適化したiterationおよびsubsetを用いて画像再構成した。

4. 研究成果

以下では、3. 研究の方法に記載したそれぞれのパートに分けて記載する。

(1) 人体模型ファントムを用いた検討

各収集時間における各 subset における iteration を 1~10 とした場合の NMSE のグラフを示す。



本検討により、各収集時間における最適な iteration と subset の組み合わせ (NMSE が最小となる組み合わせ) は、下記の表のようになった。

	60 sec	120 sec	150 sec	200 sec	300 sec	600 sec
Iteration	5	8	8	9	10	8
Subset	5	5	5	5	5	10

(2) 患者臨床データを用いた検討

視覚的評価により、画質は 6 分以上、診断能は 4 分以上の収集時間の画像であれば、基準と同等である 10 分画像と同等であることがわかった。

図 2. 視覚評価結果 (画質)

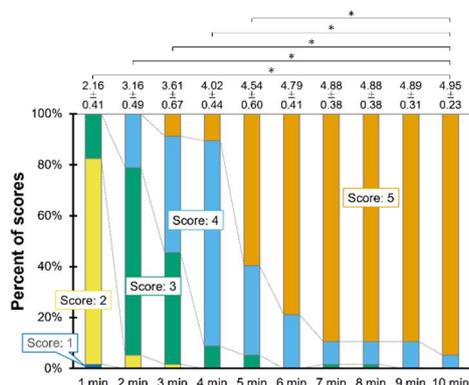
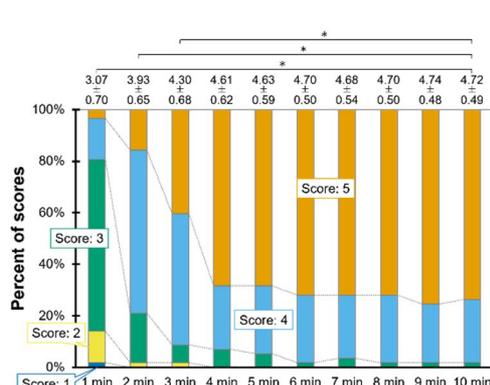


図 3. 視覚評価結果 (診断能)



以上の結果より、投与量は画質の点では 3/5 に、診断能の点では 2/5 まで減じても問題が無いことがわかった。投与量は被曝線量と比例するため、それぞれ 3/5, 2/5 までは画質を担保した上で被曝を減じることができることが示唆された。

本研究結果は、デジタル半導体素子を搭載した PET 装置では被曝線量を 3/5 ないし 2/5 まで減少させても、定量精度を担保された PET 画像を提供できることを示している。しかし、本研究では脳 ^{18}F -FDG PET/CT 検査のみを対象としたため、今後は他部位による更なる検討が望まれる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Magota Keiichi, Numata Naoto, Shinyama Daiki, Katahata Junya, Munakata Yamato, Maniawski Piotr J., Kobayashi Kentaro, Manabe Osamu, Hirata Kenji, Tateishi Ukihide, Kudo Kohsuke, Shiga Tohru	4. 巻 7
2. 論文標題 Halo artifacts of indwelling urinary catheter by inaccurate scatter correction in 18F-FDG PET/CT imaging: incidence, mechanism, and solutions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 EJNMMI Physics	6. 最初と最後の頁 66
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40658-020-00333-8	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 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 2件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 孫田恵一
2. 発表標題 Digital Photon Counting PET/CT装置の特長とその応用
3. 学会等名 第76回 日本放射線技術学会総会学術大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 孫田恵一、新山大樹、朝戸呂仁、小泉篤、沼田直人、宗像大和、真鍋治、平田健司、加藤千恵次、志賀哲
2. 発表標題 Digital Photon Counting PET/CT装置の初期使用経験
3. 学会等名 第34回日本核医学会北海道地方会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 孫田恵一、新山大樹、朝戸呂仁、平田健司、加藤千恵次、玉木長良、志賀哲
2. 発表標題 Digital Photon Counting PET/CTにおけるコントラスト精度の検討
3. 学会等名 第59回日本核医学会学術総会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 孫田 恵一
2. 発表標題 Digital Photon Counting PET/CT装置の可能性
3. 学会等名 日本放射線技術学会 中国・四国支部 核医学研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 孫田 恵一、志賀 哲、真鍋 治、納谷 昌直、相川 忠夫、新山 大樹、平田 健司、加藤 千恵次、藤田 勝久、玉木 長良
2. 発表標題 150-水心筋血流PETにおける Monte Carlo scaling複合型SSS散乱補正の検討
3. 学会等名 第58回日本核医学会学術総会
4. 発表年 2018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
---------	---------