

論文内容の要旨

Triple-sensitivity high-spatial-resolution X-ray computed tomography using a cadmium-telluride detector and its beam-hardening effect
(テルル化カドミウムを使った3重感度高空間分解能X線CTとそのビームハードニング効果)
(吉田宗平, 佐藤英一, 小田泰行, 吉岡邦浩, 森山穂高, 渡邊学)
(Applied Radiation and Radioisotopes 159 巻, 令和2年5月掲載)

I. 研究目的

一般的に準単色X線撮影はK系列特性X線を用いて行われ、ヨウ素造影剤を使ったKエッジ強調造影を行うためにセリウムX線装置が開発された。セリウムK光子はヨウ素造影剤に効率良く吸収され、微小血管が高コントラストで撮影されるからである。一方、ガドリニウム造影剤も血管撮影に用いることができ、ガドリニウムKエッジ造影がタンタルやタングステンのK光子を使って試みられた。

我々は光子エネルギー分散によりKエッジ造影を行うため、光子カウンティングX線CTの基礎研究も行ってきた。しかし高線量率X線を用いた場合、イベントパルスのパイルアップにより正確に光子エネルギーを決定することが難しい。よって本研究では、光子カウンティングを行うことなく、汎用X線CTを用いてエネルギー分散による断層像を得るための基礎研究を行った。

X線管から発生する全てのX線を撮影に用いる場合には、低エネルギーの光子から被写体に吸収される。よって、検出器用増幅器の最大出力を一定にする場合、増幅率の増加により低エネルギー光子で得られるプロジェクションが消失し、実効エネルギーは高まる。

本研究の目的はCdTe検出器用の3重感度増幅器を試作すること、画像再構成のピクセルサイズを $0.1 \times 0.1 \text{ mm}^2$ に設定し、被写体によるビームハードニングを利用して3重エネルギーCT撮影を同時に行うことである。本研究では3重感度CTスキャナーを試作して、増幅率を変化させることにより、著しい画像コントラストの変化を確認した。さらにデジタル増幅器も構築し、冠動脈などを高コントラストで造影した。

II. 研究対象ならび方法

我々は血管の高コントラスト造影を目的として、CdTe検出器とアナログ増幅システムを用いた3重感度X線CTスキャナーを構築した。被写体を透過するX線光子はCdTe結晶で吸収され、結晶内で発生する電荷は電流・電圧(I-V)増幅器により電圧に変換され、電圧・電圧(V-V)増幅器でさらに増幅される。V-V出力①は5.0mの同軸ケーブルを介し

でデュアルV-V増幅器に送られ、2つの異なる出力②と③に増幅される。①～③の計3出力はアナログ・デジタルコンバーターを介してパソコンに送られ、3断層像が同時に得られる。3重感度CTでは、被写体からの散乱線が直径0.5 mmの鉛製ピンホールを用いて除去され、並進と回転のステップはそれぞれ0.1 mmと0.5°である。

III. 研究結果

CTのスキャン時間は19.6 min、空間分解能は $0.25 \times 0.25 \text{ mm}^2$ で、ガドリニウム造影剤を使って血管が高コントラストで撮影できた。特に、被写体でのビームハードニングにより、実効フォトンエネルギーは増幅器の増幅率を増すことにより増加した。これらの研究成果はApplied Radiation and Isotopes (ARI) 誌に掲載された。また、2, 3段目の増幅器をデジタル化することで撮影装置の小型化を可能にし、アナログ増幅器と同等の断層像を得ることができ、ヨウ素Kエッジ造影により冠動脈が高コントラストで撮影された。これらの成果はMedical Imaging Information Sciences 誌に掲載された。

IV. 結 語

我々はプロジェクション出力の増幅率を増すことにより断層像の平均エネルギーの増加を観察するため、3重アナログ増幅器を使った3重感度X線CTを構築した。次いで、デジタル増幅器を採用することにより、増幅器全体の大きさを小さくすることができた。4個の鉛ピンホールを使うことにより、被写体からの散乱線が除去され、空間分解能が0.25 mmまで改善された。当初の設計通りに、増幅率を増すことにより、実効エネルギーは増加した。

論文審査の結果の要旨

論文審査担当者

主査 教授 伊藤 智範 (医学教育学講座地域医療学分野)
副査 教授 田中 良一 (口腔顎顔面再建学講座: 歯科放射線学分野)
副査 准教授 加藤 健一 (放射線医学講座)

フォトンカウンティング CT などのエネルギー分別が可能な X 線 CT は次世代の CT として期待が寄せられている。本研究論文は、被写体によるビームハードニングを利用することでエネルギー分別が可能なことに着目し、フォトンカウンティング法を用いることなくエネルギー分別が可能な X 線 CT を試作し、実際に血管構造などを高コントラストで撮影することが可能かを検証している。CdTe 検出器とアナログ増幅システムを用いた 3 重感度 X 線 CT スキャナーを自作して撮影実験を行い、スキャン時間は 19.6 min, 空間分解能は $0.25 \times 0.25 \text{ mm}^2$ で、ガドリニウム造影剤を使ったウサギ頭部ファントムでは血管構造を高コントラストで撮影可能であることを示した。即ち、得られた出力を増幅し被写体によるビームハードニングを利用することで実効エネルギーは増加し、増幅率を 2.0、3.0 と変化させることで対象を高コントラストで撮影可能であることを証明している。

本論文は基礎的な段階ではあるが、フォトンカウンティング法以外の方法でもエネルギー分別撮影が可能であることを示しており、今後の CT の開発にも役立つ有益な新知見が得られている、学位に値する論文である、

試験・試問の結果の要旨

テルル化カドミウムを使った 3 重感度高空間分解能 X 線 CT とそのビームハードニング効果について試問を行い、適切な解答を得た。学位に値する学識を有していると考え。学位に値する学識を有していると考え。また、学位論文の作成に当たって、剽窃・盗作等の研究不正は無いことを確認した。

参考論文

- 1) Triple-sensitivity X-ray computed tomography using analog and digital amplifiers
(アナログとデジタルの増幅器を用いた三重感度 X 線 CT) (吉田宗平 他 5 名と共著)
Medical Imaging and Sciences, 38 号(2021) :p8-14.
- 2) Investigation of low-dose energy-dispersive x-ray computed tomography utilizing beam hardening
(ビームハードニングを用いた低線量エネルギー分散 X 線 CT) (吉田宗平 他 5 名と共著)
SPIE 11114, 111141H(2019) :p1-6.
Health and Technology, 8 号(2018) :p197-203.