

令和 5 年 5 月 8 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K07719

研究課題名（和文）造影CTでのヨード増強効果がもたらす新たな線量増加の影響に関する研究

研究課題名（英文）Study on dose-increasing effect of iodine enhancement in contrast-enhanced CT

研究代表者

船間 芳憲（Funama, Yoshinori）

熊本大学・大学院生命科学研究部（保）・教授

研究者番号：30380992

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）：造影剤を使用した造影CTは、CT画像の組織コントラスト改善を目的として、臨床では幅広く使用されている。非造影CTと比較し、造影CTでのヨード増強効果の違いが線量増加へ与える影響についてモンテカルロシミュレーションを用いて検討を行った。ファントムや臨床での結果をもとに、使用するエネルギーである管電圧や造影剤投与量などの違いにより線量増加へ与える影響が異なることが明らかとなった。また、造影剤ヨードに対する線量低減の観点から、デュアルエネルギーCTの有用性も導くことが出来た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

医療の検査で使用するCTはX線を用いるが、他のモダリティに比べて比較的線量が高く社会的な関心も高い。そのため、正確なX線量を把握し、線量低減の手法を検討することは重要である。一般的に造影剤を用いない非造影CTと比較して造影CTは、ヨードを用いるために人体へのX線吸収が高く、造影剤による線量増加が懸念される。また、この線量増加は造影剤ヨードの使用量や、CTで使用するエネルギーによっても異なることが予想され、CT線量を正確に把握するためには、ヨード造影剤の線量増加分を加味して検討することが重要である。

研究成果の概要（英文）：Contrast-enhanced CT is widely used for improving tissue contrast in the CT images at clinical situation. The purpose of our study was to investigate the effect of increasing iodine contrast on radiation dose in a contrast-enhanced CT using Monte-Carlo simulation tool compared to the radiation dose in a non-contrast-enhanced CT. Based on the phantom and the clinical results, our study relieved that the effect of increase in radiation dose was dependent on the tube voltage and amount of iodinated contrast dosage. Besides, the dual-energy CT was also useful technique from the perspective of reducing radiation dose on iodinated contrast dose.

研究分野：医歯薬学

キーワード：CT線量 造影剤ヨード 造影CT シミュレーション 管電圧

1. 研究開始当初の背景

造影剤を使用したCT(造影CT)は、CT画像の組織コントラスト改善を目的として有効な手段となっており、CT検査の精度を高めるために幅広く活用されている。従来、造影剤として使用されるヨードはX線の吸収が顕著であり、臓器にヨードが取り込まれた場合、光電吸収やコンプトン散乱などの原子自体の物理的相互作用の影響から臓器線量へ影響を与える可能性が示唆されている。モンテカルロシミュレーションは、ヨードなど物質の物理的相互作用を考慮して、CT画像全体の臓器線量を推定することが可能である。通常検査の造影CTでは非造影CTに比べて最大で50%程度線量増加や70%線量増加の数値が報告されている^{1,2)}。このように非造影CTに比べて造影CTの線量増加が報告される一方で、造影CTによる線量増加の報告は過大評価となっているとの指摘もある³⁾。

2. 研究の目的

本研究の目的は、造影CTにおいてヨードによる増強効果の違いが線量増加へ与える影響についてモンテカルロシミュレーションを用いて詳細な検討をおこなうことである。また、線量増加が顕著な場合、線量低減を目的としたスキャンプロトコールについても議論を加える。具体的に本研究では、以下の内容について検討した。

- (1) 非造影CTに対する造影CTでの造影剤増強効果(CT値の増加)の違いに対する線量の変化について明らかにする。
- (2) 通常管電圧と低管電圧使用による造影CTでのCT値増強の違いから線量変化について明らかにする。また、低管電圧に対するデュアルエネルギーCTによるCT値増強についても、線量増加の観点から有用性について検討する。
- (3) 小児での非造影CTにおける線量増加の影響や増強効果の高い周辺臓器の影響について検討する。

3. 研究の方法

研究項目(1)

・シミュレーションに必要な各CT装置の基礎データ(半価層・実効エネルギー等)を測定し、実測との線量誤差を検証(5%以下)した(図1)。

・各管電圧のエネルギーに対応する水とヨードの割合からヨードの定義ファイルを作成し、目的部位での増強効果に対応して組み込み造影CTでの線量計算へ使用した。

・各患者のスキャンに対して正確に対応するためにCTスキャンの3次元的な管電流変調技術をシミュレーションへ組み込み線量計算の精度を向上させた。

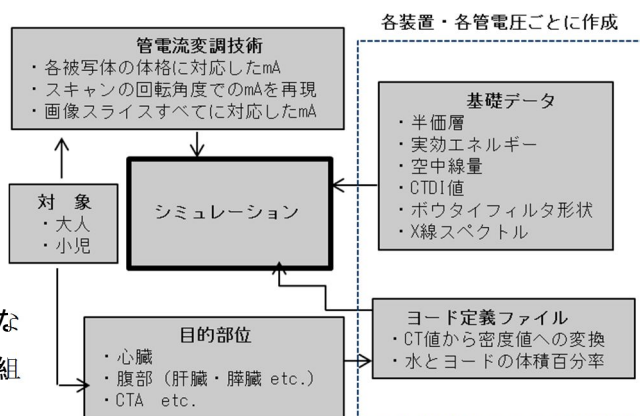


図1: シミュレーションの概要

研究項目(2)

- ・通常管電圧である **120 kV**、通常の造影剤投与量群でスキャンした患者 **30** 名と、腎機能が悪く造影剤投与量を **50%**低減し、デュアルエネルギーCT を使用し **55 keV** の画像で表示した患者 **30** 名の **2** 郡に分けた。
- ・スキャンの際は、体格の違いによる画質を一定にするために画像のノイズ量を一定に設定し、非造影 CT と造影 CT でスキャンを実施した。
- ・得られた **120 kV** 画像、デュアルエネルギーCT 画像について非造影 CT ならびに造影 CT で各臓器の線量を測定した。また、線量増加の割合を正確に導くために、スキャンの際に表示される線量指標 (CTDI) で正規化した。
- ・非造影 CT に対する造影 CT の線量増加割合を求めた。

研究項目(3)

- ・小児ファントムを用いてピッチファクタの条件を変更しスキャンを行った。
- ・各ピッチファクタの違いによる線量分布を作成し線量を測定した。肺野と骨での線量について比較を行った。

4 . 研究成果

研究項目(1)

・グラフは回転角度による管電流の変化を示したもの(管電流変調)である。グラフより管電流変調を回転角度に応じて対応させることが可能となった。使用する CT 装置については、このの数値を変化させ回転角度全体の合計線量と実際の測定値と対比し、線量が最も近いときの を決定した。これにより各

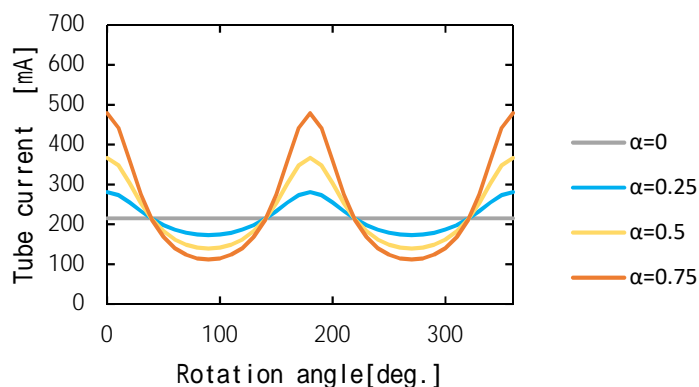


図 2: 各回転角度による管電流の変化

患者に対応した管電流変調ファイルをシミュレーションへ組み込むことが可能となった。

・ヨードの定義ファイルについては、各エネルギーに対する水とヨードの体積割合を算出し、その値をシミュレーションへ組み込んだ。以下は CT 値に対する水とヨードの割合の結果例である。

例 **Volume fraction: 120 kV**

ヨードの CT 値 **60 HU: H2O 0.9996, I 0.0004**

ヨードの CT 値 **70 HU: H2O 0.9995, I 0.0005**

例 **Volume fraction: 55 keV**

ヨードの CT 値 **60 HU: H2O 0.9998, I 0.0002**

研究項目(2)

図 3 に動脈相(a) と門脈相(b)での 120 kV 画像とデュアルエネルギーCT 画像の線量について示す。動脈相では、非造影 CT に対して造影 CT での各臓器（肝臓・脾臓・腎臓など）の線量増加割合が、120 kV 画像で平均 31.0%、デュアルエネルギーCT 画像で平均 13.8%の増加となっていた。また、門脈相では、120 kV 画像が平均で 38.5%、デュアルエネルギーCT 画像が 26.7%であった。造影剤量を 50%低減することで、線量増加の割合が抑制されていることが明らかとなった。デュアルエネルギーCT を用いることで腎機能低下の患者に対しても画質を維持しながら、さらに造影剤による線量増加をコントロールすることが可能となった。

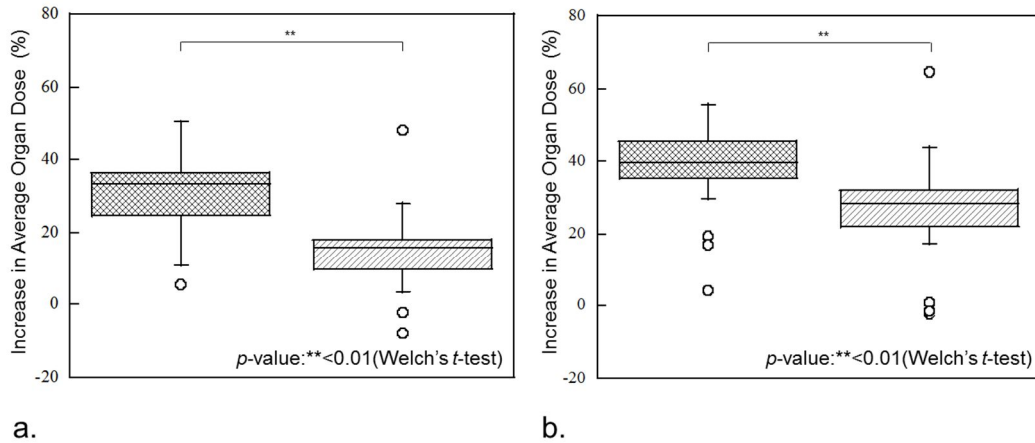


図 3: 動脈相(a) と門脈相(b)での 120 kV 画像とデュアルエネルギーCT 画像の線量比較 (BJR open 2020, 11;2(1)より引用⁴⁾)

研究項目(3)

図 4 に小児ファントムを用いた各ピッチファクタでの線量分布を示す。線量プロファイルより肺野では暗い青色となっており線量が低く表示されている。一方、骨に関しては明るい白色になっており線量増加が顕著である。また、ピッチファクタ 1.2 では線量分布の不均一により生じるシマ模様が顕著に見られた。ピッチファクタの違いにより線量分布も異なることが明らかとなった。ただし、

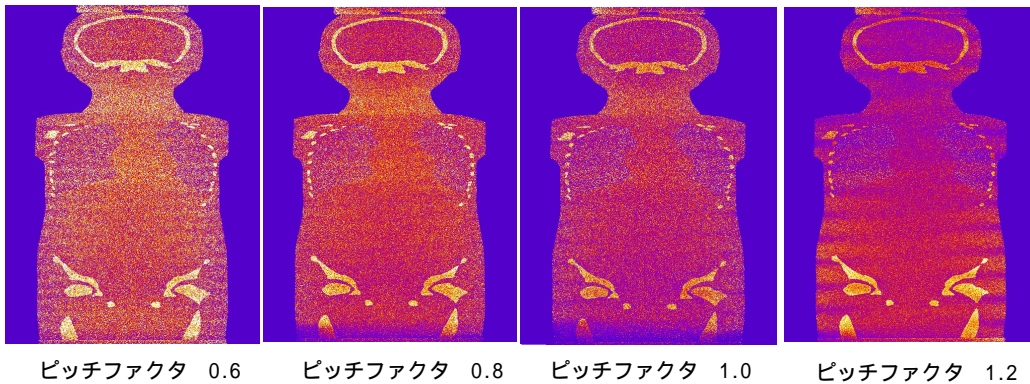


図 4: ピッチファクタの違いによる線量分布

- 1) Sahbaee P et al: The Effect of Contrast Material on Radiation Dose at CT: Part II. A Systematic Evaluation across 58 Patient Models, *Radiology*, 2017, 283(3), 749-757
- 2) Perisinakis K et al: The effect of iodine uptake on radiation dose absorbed by patient tissues in contrast enhanced CT imaging: Implications for CT dosimetry, *European Radiology*, 2017, 28(1), 151-158
- 3) Boone JM et al: The Effect of Iodine-based Contrast Material on Radiation Dose at CT: It's Complicated, *Radiology*, 2017, 283(3), 624-627
- 4) Sakabe D et al: Decreasing the radiation dose for contrast-enhanced abdominal spectral CT with a half contrast dose: a matched-pair comparison with a 120 kVp protocol, *BJR open*, 2020, 11, 1-7

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3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 Minori Hoshika, Takeshi Nakaura, Seitaro Oda, Masafumi Kidoh, Yasunori Nagayama, Daisuke Sakabe, Toshinori Hirai, Yoshinori Funama	4. 巻 95
2. 論文標題 Comparison of the effects of varying tube voltage and iodinated concentration on increasing the iodinated radiation dose in computed tomography	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physica Medica	6. 最初と最後の頁 57～63
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ejmp.2022.01.007	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 Daisuke Sakabe, Takeshi Nakaura, Seitaro Oda, Masafumi Kidoh, Daisuke Utsunomiya, Masahiro Hatemura, Yoshinori Funama	4. 巻 11
2. 論文標題 Decreasing the radiation dose for contrast-enhanced abdominal spectral CT with a half contrast dose: a matched-pair comparison with a 120 kVp protocol	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 British Journal Open	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1259/bjro.20200006	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 -

1. 著者名 Morikatsu Yoshida, Takeshi Nakaura, Seitaro Oda, Masafumi Kidoh, Yasunori Nagayama, Hiroyuki Uetani, M Azuma, Daisuke Sakabe, Toshinori Hirai, Yoshinori Funama	4. 巻 63
2. 論文標題 Effects of tube voltage and iodine contrast medium on radiation dose of whole-body CT	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Acta Radiologica	6. 最初と最後の頁 458-466
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/02841851211001539	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 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 坂部大介
2. 発表標題 Effect of iodinated contrast medium on organ dose at coronary CT angiography using 100 kVp and 120 kVp scans
3. 学会等名 北米放射線学会（RSNA）（国際学会）
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
研究 分担者	宇都宮 大輔 (Utsunomiya Daisuke) (30571046)	横浜市立大学・医学研究科・教授 (22701)	
研究 分担者	中浦 猛 (Nakaura Takeshi) (90437913)	熊本大学・病院・准教授 (17401)	

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
---------	---------