

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 28 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23591777

研究課題名(和文) 逐次近似画像再構成を用いたCT線量低減技術に関する研究

研究課題名(英文) Study on radiation dose reduction using iterative reconstruction technique in CT

研究代表者

船間 芳憲 (Funama, Yoshinori)

熊本大学・生命科学研究部・教授

研究者番号：30380992

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：CTの撮影に関してさらなる線量低減技術として期待される逐次近似画像再構成法(Iterative reconstruction: IR)を用いて、従来との画像再構成との比較ならびに新たな逐次近似画像再構成法の有用性について検討をおこなった。特に、線量低減が課題となっている心臓領域に関して診断能を重視してステント描出や自動管電流変調技術などの基礎研究ならびに臨床研究へ取り組んだ。

研究成果の概要(英文)：With respect to reduction technique of radiation dose in CT using iterative reconstruction (IR) algorithm, we compared IR with widely used filtered back projection (FBP) algorithms and dealt with usefulness of IR algorithm. Especially, we focused on diagnostic acceptability at cardiac region; studied improving in-stent lumen visualization and automatic tube current modulation (ATCM) technique in terms of basic and clinical researches.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：内科系臨床医学・放射線科学

キーワード：CT 逐次近似法 フィルタ逆投影法 線量低減 画質

1. 研究開始当初の背景

CTにおけるX線被曝は社会的に大きな問題となっている。一般に一定のCT撮像線量以下では、画質の低下(特にノイズやアーチファクト)を招き、診断的に有用な画像を得ることは難しい。我々は診断に必要とされる画質を維持した状態で最大限の被曝線量低減(ALARAの原則)を目的として研究を行っている。これまでに低管電圧を使用して被曝線量を低減する研究や撮影線量低減に伴って発生するノイズを修復するフィルタなどの開発、従来から使用されている線量低減技術の改善や新しい線量低減技術の開発など基礎研究ならびに臨床研究を併用して行ってきた。今回、CTにおける画像再構成技術として逐次近似画像再構成法が開発され従来のフィルタ逆投影法に比べて線量の低減や画質の改善などが期待される。

2. 研究の目的

これまで行った研究でのCTの線量低減技術を踏まえて、さらなる線量低減技術として有効な逐次近似画像再構成法(Iterative reconstruction: IR)を用いた新たな画像再構成法の可能性について検討を行う。特に、線量低減が課題となっている心臓領域に関して診断能を重視して基礎研究ならびに臨床研究に取り組むものである。

具体的な研究目的は以下のとおりである。

- (1)心臓CTでの低管電圧技術と逐次近似画像再構成法を併用した線量低減ならびに画質改善
- (2)逐次近似画像再構成法を用いた心臓CTでのアーチファクト低減
- (3)逐次近似画像再構成法を用いたカルシウムスコアの線量低減ならびにスコアの改善
- (4)逐次近似画像再構成法と自動管電流変調技術(ATCM)を用いた線量ならびに画質のコントロール

3. 研究の方法

(1)の項目に関して、心臓CTでの低管電圧技術と逐次近似画像再構成法を併用して線量低減ならびに画質改善に取り組んだ。

1) ECG同期の低管電圧CTを標準管電圧の50, 60, 70, 80%程度低減してスキャンをおこなった。

2) 低感電圧でスキャンした画像は、投影データのローデータよりfiltered back projection(FBP)で画像を再構成するとともにiterative reconstruction(IR)での再構成も同時におこなった。

3)各アルゴリズムで再構成した画像を用いてノイズの低減率、コントラスト改善率などを比較した。

4)アーチファクト、模擬腫瘍の見え方、画像全体の印象などを放射線科医に依頼し、視覚評価をおこなった。

これらの評価よりFBP再構成に比べて、心臓CTでのIRを用いた場合の線量低減の可能性について検討し、臨床評価のために線量を決定した。

(2, 3)の項目に関して、逐次近似画像再構成法を用いて心臓CTでのカルシウムスコアおよびアーチファクト低減について取り組んだ。

1)心臓の動きを可能としたファントムに模擬冠動脈を付属する。模擬冠動脈は狭窄率0%と50-90%の数段階の閉塞モデルを使用する。また、閉塞率75%に対して軽度、中等度、高度の石灰化を伴う模擬冠動脈も使用した。

2)心臓ファントムの心拍数を0 bpmと50-90 bpmに変化させ、低管電圧CTを標準管電圧の50, 60, 70, 80%程度低減してスキャンをおこなった。同様に標準管電圧でもスキャンをおこなった。

3)それぞれの管電圧でスキャンしたデータをFBPとIRのアルゴリズムで画像再構成を行い、画像を作成した。

4)ステントおよび石灰化からのアーチファクトを把握するために血管径の測定やアーチファクトを定量的に測定した。

5)カルシウムスコアに関してはCT装置に付属のワークステーション上Agatston, volume, massを測定しスコアを解析した。

6)解析結果からノイズとスコアの変動およびIRでのノイズ修復とスコアの変動などを検討した。

(4)の項目に関して、近似画像再構成法と新たな自動管電流変調技術を組み合わせることで線量の低減ならびに画質のコントロールについて取り組んだ。

1)人体を模擬したファントムを用いて AEC での画質を規定する因子であるノイズ値を 20HU と 25HU の 2 種類設定した。

2)心電図モニタの心拍数を 60 bpm と 80bpm の 2 種類設定した。

3)これらの設定でスキャンした画像に対してファントム中心の線量測定や体軸方向のノイズの変動などを評価した。

4)逐次近似画像再構成法の線量低減率について従来法と比較した。

4. 研究成果

(1)の研究内容において、表 1 に実効 mAs (Eff. mAs) の違いでの画像ノイズとの関係を示す。低管電圧と逐次近似法である iDose を使用することで従来から用いられているフィルタ逆投影法 (FBP) よりも画像ノイズの改善に寄与できた。FBP の場合は、実効 mAs 値の低減にともないノイズ値が高くなっていったが、iDose を用いることで実効 mAs の違いによらず、ほぼ一定の結果となった。FBP に比べて逐次近似画像再構成を用いることで最大ノイズの改善率は 700mAs で 1.87 であった。

表 1 : 実効 mAs 値と画像ノイズとの関係

Tube voltage (kV)	Effective mAs	Image noise		Noise improvement
		FBP	iDose	
80	1400	25.33	21.21	1.19
	1260	27.02	20.08	1.35
	1120	28.66	21.29	1.35
	980	30.84	19.84	1.55
	840	33.46	21.71	1.54
	700	36.50	19.57	1.87
120	900	16.28	—	—

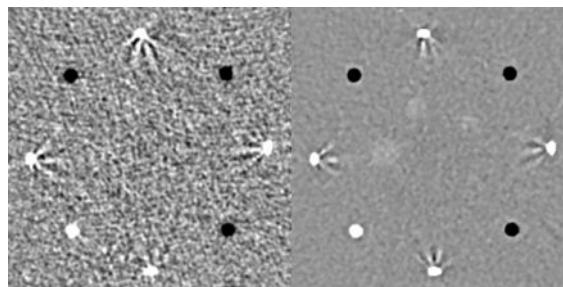


図 1 : 700 mAs での FBP 画像 (左) と逐次近似 (iDose) 画像 (右) の比較

図 1 は 700 mAs の場合の FBP と逐次近似法 iDose の比較画像を示した。両者において画像中心での腫瘍の見え方を比べると、同線量ではあるが、逐次近似法の画像が FBP 画像に比べて描出能が改善した。また、アーチファクトについても FBP 画像では風車状のアーチファクトが目立つのに対して逐次近似画像ではアーチファクトの強度が抑制され、ノイズだけでなくアーチファクトの改善も見られた。

(2,3)の研究について、図 2 に FBP 法と iDose 法でのステント内の画像描出能を示した。

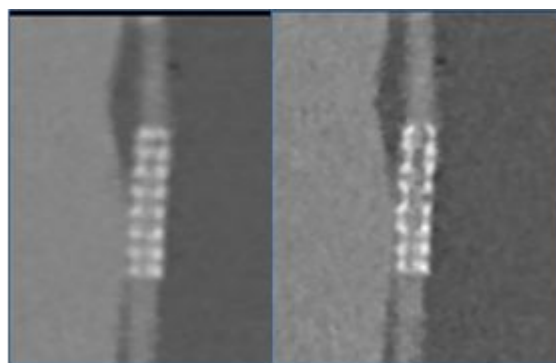


図 2 : FBP (左) 法と逐次近似法 (右) でのステント内腔の描出能比較

FBP 法を使用するとノイズの増加から再構成用関数としてスムーズなタイプをする必要がある。そのために全体としてボケが目立つ画像となり狭窄部位の評価としては有用ではなかった。また、高分解能な再構成用関数を使用した場合、ノイズの増加から描出能改

善へ寄与しなかった。そこで逐次近似法と高分解能の再構成関数を組み合わせることで、ステント内の描出能を改善できた(図 2 右)。図 2 ではステント内腔の狭窄が FBP では認識できなかったが、逐次近似法を用いることで狭窄の程度が画像として明らかになり、観察者の検出に関する視覚評価が高くなった。

(4)の研究について FBP 法と逐次近似法での線量比較を示した(表 2)。ノイズ値が 20HU で心拍数が 60bpm の場合、FBP と IR での中心線量はそれぞれ 18.89 mGy, 4.61 mGy であった。管電流変調技術と逐次近似法を組み合わせることで FBP 法に比べて 75%程度線量を低減することが可能となった。心拍数が 80bpm の場合、それぞれの線量は 2 倍に増加したが、線量の低減率は 60bpm の場合と同じ 75%程度であった。さらに、この傾向はノイズ値が 25HU の場合でも同様であった。

表 2：管電流変調技術と逐次近似法を組み合わせた場合の中心線量の比較

SD setting (HU)	Heart rate (bpm)	Reconstruction technique	Tube current (mA)	Center dose (mGy)
20	60	FBP	610	18.89
		IR	150	4.61
	80	FBP	610	37.98
		IR	150	9.07
25	60	FBP	400	12.34
		IR	100	3.10
	80	FBP	400	25.07
		IR	100	6.17

ただし、線量低減に伴い画像ノイズの劣化が懸念されたが、図 3 に 20HU, 60 bpm のノイズ分布を示すように体軸方向の頭側から足側において FBP 法と IR 法では画像ノイズ変動は同じであった。IR 法を用いることで線量を低減しながら画質をコントロールすることが可能となった。

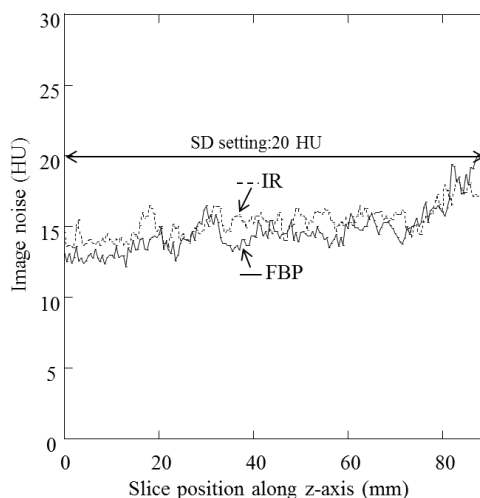


図 3：FBP 法と IR 法での画像ノイズの推移

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 5 件)

Funama Y Awai K et al. Automatic exposure control at MDCT based on the contrast-to-noise ratio: Theoretical background and phantom study. Phys Med. 査読有 2013 Jan;29(1):39-47.

10.1016/j.ejmp.2013.10.003. Epub 2013 Nov 10

Itatani R, Oda S, Utsunomiya D, Funama Y, et al. Reduction in radiation and contrast medium dose via optimization of low-kilovoltage CT protocols using a hybrid iterative reconstruction algorithm at 256-slice body CT: phantom study and clinical correlation. Clin Radiol. 査読有 2013, Mar;68(3): e128-135.

10.1016/j.crad.2012.10.014. Epub 2012 Dec 11.

Oda S, Utsunomiya D, Funama Y et al. Improved coronary in-stent visualization using a combined high-resolution kernel and a hybrid iterative reconstruction technique at 256-slice cardiac CT-Pilot study. Eur J Radiol. 査読有 2013 Feb;82(2):288-295

10.1016/j.ejrad.2012.11.003. Epub 2012 Dec 6.

Funama Y, Oda S, Awai K et al.

Coronary artery stent evaluation by combining iterative reconstruction and high-resolution kernel at coronary CT angiography. Academic Radiology 査読有 19, 1324-1331 (2012)

10.1016/j.acra.2012.06.013. Epub 2012 Aug 28.

Funama Y, Oda S, Awai K et al.

Combination of a low-tube-voltage technique with hybrid iterative reconstruction (iDose) algorithm at coronary computed tomographic angiography. Journal of Computer Assisted Tomography. 査読有 2011, 35,480-485.

10.1097/RCT.0b013e31821fee94.

[学会発表](計 3 件)

Funama Y. Investigation of a hybrid iterative reconstruction technique for reduction of coronary stent blooming artifact in coronary CT angiography. Radiological Society of North America (RSNA) annual meeting, 2012.11.29, Chicago

Noto D. Specific reduction of breast dose with high-tube voltage and iterative reconstruction at non-enhanced low-dose chest CT. Radiological Society of North America (RSNA) annual meeting, 2012.11.25, Chicago

Funama Y. Radiation reduction at single-heartbeat coronary CT angiography combined with automatic exposure control and iterative reconstruction at 320-MDCT volume scanning. Radiological Society of North America (RSNA) annual meeting, 2013.12.01, Chicago

6 . 研究組織

1)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・教授
研究者番号：30380992

(2)研究分担者

粟井 和夫 (AWAI Kazuo)
広島大学・大学院医歯薬保健学研究院・教授
研究者番号：30294573

(3)連携研究者

尾田 済太郎 (ODA Seitaro)
熊本大学・大学院生命科学研究部・助教
研究者番号：80571041