

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 2 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24591765

研究課題名(和文) 異時相画像データおよび非剛体変形統合法を用いた低線量冠動脈CTの開発

研究課題名(英文) A new technique for noise reduction at coronary CT angiography with multi-phase data-averaging and non-rigid image registration

研究代表者

立神 史稔 (Tatsugami, Fuminari)

広島大学・大学病院・講師

研究者番号：90411355

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：心電図同期による冠動脈CTにおいて、同一心位相内でわずかに時相が異なる複数の画像を作成し、それらを非剛体変形しさらに重み付け加算を行うことにより画像ノイズを低減するソフトウェアを開発した。65症例のCT画像データを用い、心位相75%を中心として、その前後で時相の異なる3つの画像(70%、75%、80%)を作成した。画像間で非剛体位置あわせ処理を行い、周辺時相の画像を中心時相(75%)の画像に重ね合わせるよう変形させ、加重平均を行った。その結果、画像ノイズは約20%低減し、冠動脈の視覚評価も有意に向上した。本法により理論上、36%程度の被ばく低減が可能と考えられた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to investigate the feasibility of a newly developed noise reduction technique at coronary CT angiography (CTA) that uses multi-phase data-averaging and non-rigid image registration. Sixty five patients underwent coronary CTA with prospective ECG-triggering. The range of the phase window was set at 70-80% of the R-R interval. First, three sets of consecutive volume data at 70-, 75-, and 80% of the R-R interval were prepared. Second, we applied non-rigid registration to align the 70- and 80% images to the 75% image. Finally, we performed weighted averaging of the three images and generated a de-noised image. Our method facilitated an image noise reduction of approximately 20% with improved image quality. Theoretically, it may be possible to reduce the radiation exposure by 36% at coronary CTA with prospective ECG-triggering.

研究分野：放射線診断学

キーワード：冠動脈CT ノイズ低減

1. 研究開始当初の背景

(1)冠動脈 CT は陰性的中率が高いことから、急性冠動脈症候群のスクリーニング検査として近年急速に普及しつつある。しかしながら、冠動脈 CT 検査の主流として使用されている 64 列 CT においては X 線被ばくが多いことが問題であり、低線量化を進めることは臨床的に重要な課題である。

(2)一般的に、CT においては照射 X 線量が多ければ多いほど画像ノイズの少ない画像が得られるが、逆に X 線量が低下すれば画像ノイズが増加し診断能の低下につながる。一方、冠動脈 CT は、5-7 秒程度の間の時間方向に連続したデータを収集するため、1 つの心位相（拡張期もしくは収縮期）の中で、わずかに時相がずれた複数の画像を作成することが可能である。一般的に、静止した撮像対象では、撮像回数が増えるに従って観測値の平均は真の信号値に収束し、ノイズは減少する。冠動脈 CT においては、わずかに時相がずれた画像を加算平均することでノイズを低減し画質を向上させることが理論的に可能である。しかしながら、心臓 CT においては、わずかに時相がずれた画像であっても、心拍動による心臓の形態の変化・位置ずれによる misregistration があり、これにより大きなボクセル値の誤差を生じる可能性がある。これに対して我々は、非剛体変形統合の手法を適応することにより、時相がわずかにずれた冠動脈 CT 画像であっても正確な加算平均処理が可能という仮説をたてた。

2. 研究の目的

(1)心電図同期による冠動脈 CT において、同一心位相内でわずかに時相が異なる複数の画像作成し、それらを非剛体変形しさらに重み付け加算を行うことにより画像ノイズ低減を実現するソフトウェアを開発する。

(2)通常線量で撮影された冠動脈 CT 画像に対して本手法を適応し、どの程度のノイズ低減が図れるかを検討する。

(3)日常臨床で使用している画質改善ソフトの一つである逐次近似画像再構成法と本手法とを併用し、冠動脈 CT においてどの程度までノイズ低減が可能であるかを検討する。

3. 研究の方法

(1)ファントムを用いた基礎的検討：
ソフトウェアの開発および適正化を目的とし、フヨー社の心臓動態ファントムを用いて基礎的検討を行った。CT スキャナは GE 社製の 64 列 MDCT を用い、心電図同期を利用した Prospective ECG-triggering Scan によりファントムを撮影した。CT スキャナの管電圧は 120kVp とし、管球電流は 55 - 300mA まで 8 通りに変化させて撮影した。動態ファントムの心拍数は 40, 50, 60, 70bpm とし、それ

それぞれに対し撮影を行った。撮影は、拍動が最も緩慢になるタイミングを中心として、その前後で 1 心拍の 5% ずつの余剰時間データを収集した。収集したデータから 1% ごとに計 11 の 3 次元画像を再構成し、それぞれにノイズ低減処理を行った。各時相の画像は異なる時間の画像であるため、画像間で非剛体位置あわせ処理を行い、周辺時相の画像を中心時相の画像に重ね合わせるよう変形させた (図 1)。

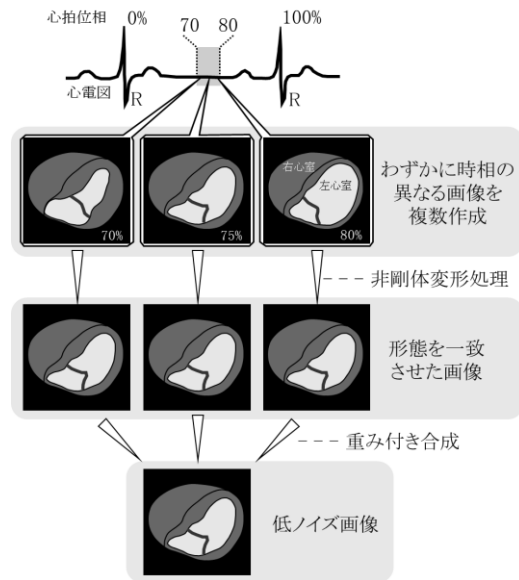


図 1. 画像ノイズ低減ソフトのアウトライン

(2)臨床画像への適応：

上記ソフトウェアを用いた対象症例は 65 例で、拍動が最も緩慢になる心位相 75% を中心とし、その前後で時相の異なる 3 つの画像 (70%、75%、80%) を作成した。各時相の画像は異なる時間の画像であるため、画像間で非剛体位置あわせ処理を行い、周辺時相の画像を中心時相 (75%) の画像に重ね合わせるよう変形させた。その後、3 つの画像の加重平均を行った。加重平均の割合は、ファントム実験の結果より 3:4:3 とした。画像ノイズの評価には上行大動脈の CT 値の標準偏差を用い、コントラスト分解能には冠動脈の Contrast to Noise Ratio (CNR) を計算することで定量評価を行った。また CT 画像の画質評価を 2 名の放射線診断専門医により 5 段階で行った (1 = nondiagnostic, 5 = excellent)。

(3) 逐次近似画像再構成法との併用：

我々の開発したソフトウェアと、従来から日常臨床で使用している画質改善ソフトの一つである逐次近似画像再構成法との併用に関して、臨床での検討を行った。対象症例は 20 例で、従来と同様、時相の異なる 3 つの画像 (70%、75%、80%) を作成した。その後、この 3 つの画像を逐次近似画像再構成法にて作成した後に、非剛体変形および加重平均を行ってノイズ低減画像を作成した。評価方法

は上記と同様、画像ノイズ、CNR、視覚評価で行った。

4. 研究成果

(1) ファントムを用いた基礎的検討:

①ノイズ低減処理に利用する時相数は3つ、すなわち中心時相に加え2つの周辺時相の画像を利用した場合が最も高いノイズ低減率を示した。②ノイズ低減処理に利用する画像の時相間距離は10%、すなわち中心時相に対して+5%、-5%の時相の画像を用いた場合が最も高いノイズ低減率を示した。③加重平均の割合は、中心時相の画像の比率が過半数となり、かつできるだけ高いノイズ低減率を示す3:4:3が最適な比率であった。④ノイズ低減率は、撮影時の管電流に依存せずほぼ一定の率を示した。⑤心拍数が低いほど時相間の時間的距離が長くなるため、撮影時の心拍数が低いほどノイズ低減効果は高くなった。以上を踏まえてソフトの最適化を行った。

(2) 臨床画像への適応:

通常のCT画像でのノイズが平均23.0 HUであったのに対し、画像処理後の平均ノイズは18.3 HUとなり、約20%のノイズ低減を認めた。また、CNRも18.8から23.3へと改善し、視覚評価も有意に向上した(3.91 vs 4.36; $p < 0.01$) (図2, 3)。

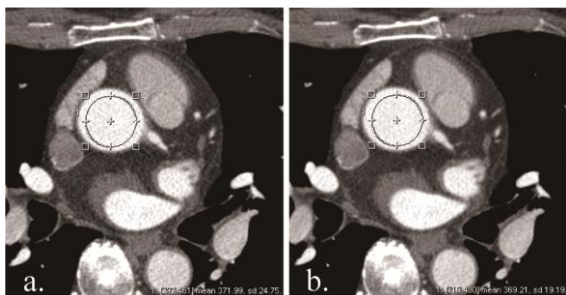


図2. a. 通常画像：ノイズ 24.8 HU
b. ノイズ低減処理後：ノイズ 19.2 HU

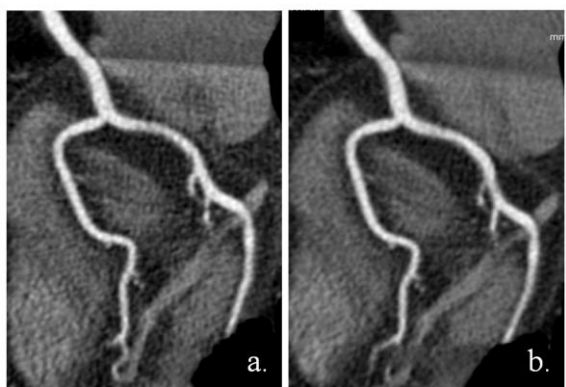


図3. a. 通常画像：ノイズ 25.2 HU
b. ノイズ低減処理後：ノイズ 20.5 HU

なお心拍数が低いほど時相間の時間的距離が長くなるためノイズ低減効果は高くなり、

検査時の心拍コントロールが重要であると考えた(図4)。我々の手法により、将来的に36%程度の被ばく低減が可能と考えられた。

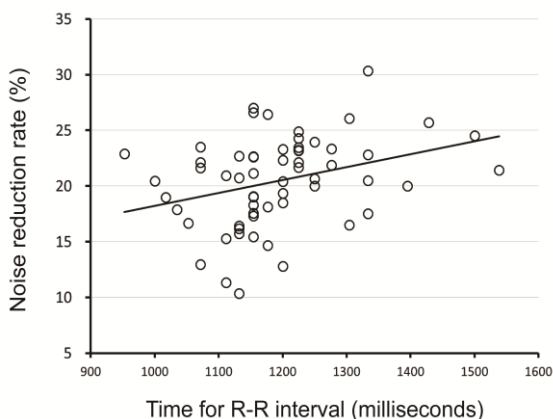


図4. 画像ノイズ低減率と心拍数との関係

(3) 逐次近似画像再構成法との併用:

結果は、通常のCT画像でのノイズが平均22.5 HUであったのに対し、画像処理後のノイズは15.5 HUとなり、約35%程度のノイズ低減を認めた。CNRも17.5から25.5へと大きく改善し、視覚評価も有意に向上した(3.85 vs 4.40; $p < 0.01$)。本法を用いることで理論上、58%程度の被ばく低減が可能と考えられた。

<引用文献>

①Hulme KW, Rong J, Chasen B et al. A CT acquisition technique to generate images at various dose levels for prospective dose reduction studies. *AJR Am J Roentgenol* 196: 2011, W144-W151

②Li T, Schreiber E, Thorndyke B et al. Radiation dose reduction in four-dimensional computed tomography. *Med Phys* 32: 2005, 3650-3660

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2件)

①Tatsugami F, Higaki T, Nakamura Y, Yamagami T, Date S, Fujioka C, Kiguchi M, Kihara Y, Awai K. A new technique for noise reduction at coronary CT angiography with multi-phase data-averaging and non-rigid image registration. *European Radiology*. 2015 Jan; 25(1): 41-8. doi: 10.1007/s00330-014-3381-9. (査読有)

②檜垣 徹, 立神 史稔, 栗井 和夫. 余剰時間画像を利用した冠動脈CT画像のノイズ低減手法. *電子情報通信学会技術研究報告、医用画像* 2012; 112(271): 23-28. (査読無) <http://ci.nii.ac.jp/naid/110009636791>

[学会発表] (計4件)

① Tatsugami F, Higaki T, Kiguchi M, Fukumoto W, Date S, Awai K. A New Method for Noise Reduction at Coronary CT Angiography with Multi-phase Data-averaging and Non-rigid Image Registration. Radiological Society of North America. 1-6 December 2013. Chicago (USA).

② Tatsugami F, Higaki T, Kiguchi M, Date S, Awai K. A new method for radiation dose reduction at cardiac CT with multi-phase data-averaging and non-rigid image registration: Preliminary clinical trial. European Congress of Radiology. 7-11 March 2013. Vienna (Austria)

③ 立神史稔、檜垣徹、藤岡知加子、木口雅夫、柿沢秀明、伊達秀二、粟井和夫. 冠動脈 CT における異時相画像データおよび非剛体変形統合法を用いた低線量撮影の基礎的検討. 第75回 日本心臓血管放射線研究会. 2012年7月7日. 東京コンファレンスセンター・品川 (東京)

④ Tatsugami F, Higaki T, Kiguchi M, Kakizawa H, Date S, Awai K. Multi-phase data-averaging with non-rigid image registration: Phantom study using a novel method for radiation dose reduction at cardiac CT. The 6 th Congress of Asian Society of Cardiovascular Imaging. 7-9 June 2012. Bangkok (Thailand)

6. 研究組織

(1)研究代表者

立神 史稔 (TATSUGAMI FUMINARI)
広島大学・大学病院・講師
研究者番号： 90411355

(2)研究分担者

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

(3)研究分担者

檜垣 徹 (HIGAKI TORU)
広島大学・医歯薬保健学研究院・特任助教
研究者番号： 80611334