

令和元年6月13日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K09898

研究課題名(和文)再構成低線量CT画像と仮想観察者実験システムを用いた被ばく低減の診断能評価

研究課題名(英文) Diagnostic evaluation for patient dose reduction by using reconstructed simulated low-dose CT images and virtual machine observer system

研究代表者

白石 順二 (Shiraishi, Junji)

熊本大学・大学院生命科学研究部(保)・教授

研究者番号：30551311

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、コンピュータ断層撮影(CT)検査における撮影線量(医療被ばく)の最適化を目的として、通常の線量で撮影されたCT画像から低線量CT画像を再構築する手法を用いて、撮影線量を減少させた場合に低下する可能性がある診断能を評価するための手法を開発し、同時にその評価手法の正当性の検証を試みた。

診断能の評価では、人工知能を用いてヒトの代わりにコンピュータが低コントラスト信号を検出するシステム開発の基礎的な実験を行い、その可能性を検証した。また、医療被ばくの最適化については、線量レベルの異なる画像を比較評価することで、統計的に優劣判定を行う一対比較法の新しい手法を開発し、それを論文で発表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

CT画像の低線量化は国民だけでなく、多くの臨床医が望むことであり、その低線量CT画像を既存のCT画像から容易に再構成できる本再構成法は、CT撮影における線量の最適化だけでなく、線量の変化に伴う病変の表示変化を学習する目的にも有用であると考えられる。

また、本研究で開発したコンピュータによる仮想観察者実験システムや新しい一対比較法の手法、そして、様々な観察者実験用のソフトウェアを用いることにより、これまで以上に観察者実験の実施が容易になり、さらには、ヒトによる観察者実験の制約のために検討されていなかった様々な項目についての検証が今後は可能となると考えられる。

研究成果の概要(英文)：For the optimization of patient dose in computed tomography (CT) examination, we developed and validated a method of diagnostic evaluation for patient dose reduction by using reconstructed of simulated low-contrast CT images.

For diagnostic evaluation, instead of human observers, we applied an artificial intelligent technique with deep machine learning for the detection of low-contrast signals. We performed a basic experiment with our new method and demonstrated a clinical utility of this method. In the optimization of patient dose reduction, we developed a new paired comparison method which compared a pair of images obtained from the different levels of radiation dose. By using this new method, we demonstrated an optimized dose level of CT images and reported with the original paper.

研究分野：医用画像処理

キーワード：低線量CT画像 観察者実験 シミュレーション ROC 解析 人工知能 機械学習 machine observer

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2011年に発生した福島原発事故に関連して、放射線検査によって患者が受ける医療被ばくに対する国民の関心が高まっていた。特に、コンピュータ断層撮影(CT)検査は、他の放射線検査と比べて撮影線量が多いために、国民全体の医療被ばくに占める割合が最も高く、その撮影線量の低減化が強く望まれていた。

一般的に、CT検査時の撮影線量を減らすと画像ノイズが増加し、ザラザラ感のある見にくいCT画像になり、逆に撮影線量を増やすと画像ノイズが減少し、スムーズなCT画像が得られる。しかし、必要以上に撮影線量を多くしても、診断のためにCT画像から得られる情報は、ある一定の値で頭打ちとなり、無駄に患者の被ばくを増加させてしまう。そのため、医師によるCT画像の診断能を低下させないレベルの撮影線量を見極め、撮影線量を最適化する必要があった。

医療被ばくの最適化の評価においては、同一患者に対して撮影線量を変化させてCT撮影を行い、その診断能を比較評価することが望ましいが、研究目的のために患者に対する撮影線量を変化させて複数回の撮影を行うことは倫理的に許されない。そのため、われわれは撮影線量の低減化の評価を目的として、診療目的で通常線量で撮像された既存のCT画像から、撮影線量を低減させた低線量CT画像をコンピュータにより再構成する手法を開発してきた。

通常線量で撮影されたCT画像から低線量CT画像を再構成する手法については、これまでも国内外でいくつかの報告があるが、どの手法もCT装置本体からCT画像再構成を行う前の生データを取り出した上で低線量CT画像の再構成を行うため、CT装置に改造が必要な場合が多く、通常の医療施設のユーザーにとっては一般的ではなかった。それに対して、われわれが考案した新しい手法は、臨床において通常線量で撮影されたCT画像から、直接、低線量CT画像を再構成するため、施設や装置に関係なく容易に低線量CT画像を得ることが可能であった。

2. 研究の目的

本研究では、既存の通常線量で撮像されたCT画像から低線量CT画像を再構成し、その両者の診断能の比較の観察者実験を、ヒトに代わってコンピュータが行う手法の開発を試みた。具体的には、われわれが開発した手法で低線量CT画像を再構成し、そのシミュレーション画像が、実際に低線量で撮像されたCT画像と、臨床的に同等であることをヒトによる観察者実験で比較評価した。また、ヒトによる観察者実験で得られた評価結果を学習データとして、ヒトに代わってコンピュータが観察者実験による診断能評価を行う手法(iReaderシステム)を開発した。

3. 研究の方法

本研究で開発した新しい手法を用いて、肝臓領域の低線量CT画像を通常線量で撮像されたCT画像から再構成する場合の概要を図1に示す。本再構成法の特徴は、通常の臨床診断で用いられたCT画像からラドン変換によりCT装置で撮影された際の生画像データに相当するサイノグラムを得た後、サイノグラム空間上で任意に設定した撮影線量レベルでノイズ成分を発生させ、そのノイズ成分のサイノグラムから再構成したノイズのCT画像を元の画像に加算することで低線量CT

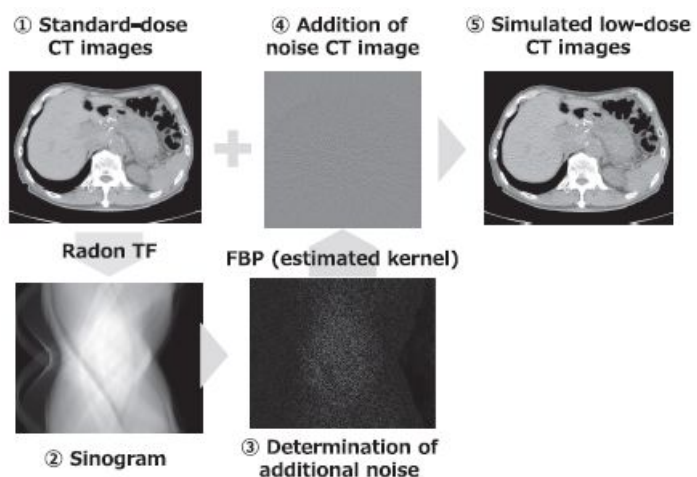


図1 模擬低線量CT画像を再構成するためのコンピュータ手法の概要

CT画像を元の画像に加算することで低線量CT

画像を新たに再構成する点にある。本研究では、最初に本手法によって得られた低線量 CT 画像と実際に低線量で撮像された CT 画像とが診断上同等であることを検証した。

次に、本研究計画で開発を試みた iReader について、開発当初は、各試料画像の画像特徴量やその患者の性別、年齢等の情報を入力データとする人工ニューラルネットワーク (ANN) を基本としていたが、その後の深層機械学習の普及と計算に必要な設備の低価格化により、研究公判では、ANN を、試料画像を入力とする深層ニューラルネットワーク (DCNN) に置き換えて検討を行った。本研究で用いた DCNN は、フレームワークに Keras/Tensorflow を用いた開発システムで、Windows10 の PC に GeForce GTX1080Ti の GPU (NVIDIA 社) を組み合わせた装置上で動作させた。本研究では、線量を変化させた場合の診断能の影響を調べるために、実際にヒトによる観察者実験で用いられた試料画像を用いた。試料画像の信号 (病変) ありの部分と無しの部分の関心領域 (ROI) を切り出して、それらを DCNN で分類学習させた。そして、線量を変化させた場合の信号の検出率の変化をヒトによる観察者実験の結果と、DCNN によるコンピュータとの結果で比較検証した。

4. 研究成果

実際に肝臓部の CT 画像について、通常の線量(100%)で撮像された CT 画像から再構成した 10% から 80% の低線量 CT 像を図 2 に示す。これらの CT 画像を用いて、われわれが考案した新しい一対比較法の手法を用いて、線量の変化による画質の違いを比較評価した結果、6 つの画像の優劣は、線量の変化に比例して変化し、そのいずれの組み合わせにおいても統計的な有意差が存在することが証明された。

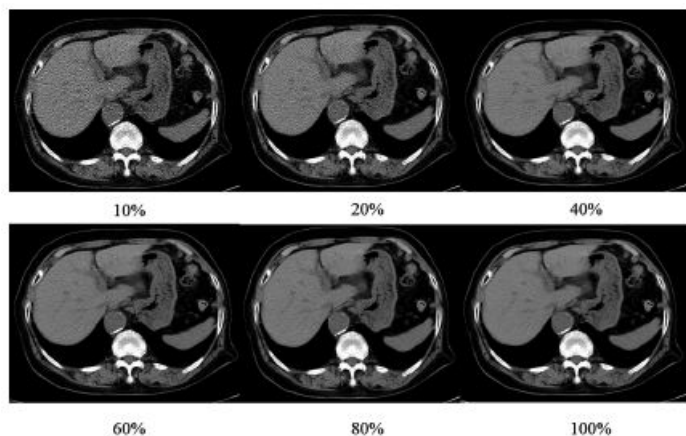


図 2 通常線量(100%)の CT 画像からシミュレーションにより再構成した 10, 20, 40, 60, 80% の「低線量 CT 画像

iReader によるヒトとコンピュータの X 線画像に含まれる低コントラスト信号の検出が線量変化によって受ける影響の比較検証に関しては、図 3 に示すように、6 名の観察者の平均の検出能 (Figure of merit) とコンピュータによる検出結果を ROC 解析により求めた ROC 曲線下の面積 (AUC) との間に非常に高い相関がある ($R^2=0.9548$) ことが証明された。

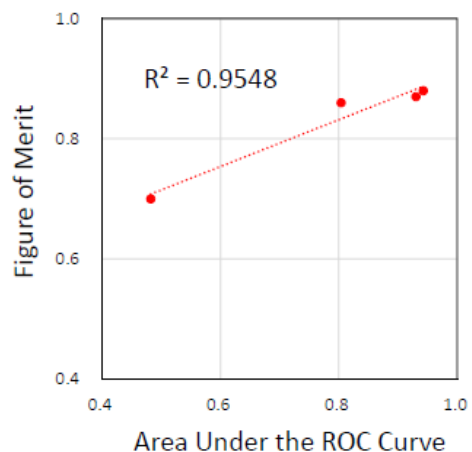


図 3 線量を変化させた試料におけるヒト (FOM) とコンピュータ (AUC) の検出能の比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

- 1) Takenaga T, Katsuragawa S, Goto M, Hatemuna M, Uchiyama Y, Shiraishi J. A computer simulation method for low-dose CT images by use of real high-dose images: a phantom study. Radiol Phys Technol, 2016, 9(1): 44-52.

- 2) 白石順二, 岡崎友香, 後藤 淳. 自動解析ソフトウェアを用いたシェッフェの対比較法による画像評価: 撮影線量を模擬的に変化させた CT 画像の比較評価. 日本放射線技術学会誌, 75(1): 32-39, 2018.
- 3) Shiraishi J, Fukuoka D, Iha R, Inada H, Tanaka R, Hara T. Verification of modified receiver-operating characteristic software using simulated rating data. Radiol Phys Technol, 2018, 11(4): 406-414.

〔学会発表〕(計 12件)

- 1) 武中裕樹, 白石順二. 単純な信号の検出における観察者とコンピュータの特性比較. 第10回九州放射線医療技術学術大会, 2015年10月31日 11月1日, 宮崎県宮崎市
- 2) 白石順二, 武中裕樹. ヒトに代わってコンピュータがROC実験を行うシステムの開発. メディカルイメージング連合フォーラム, 2016年1月19日 20日, 沖縄県那覇市
- 3) 白石順二. ROC・FROC解析のススメ. 第72回日本放射線技術学会総会学術大会(招待講演), 2016年4月14日 17日, 神奈川県横浜市
- 4) 境 宏, 白石順二. 擬似観察者システムによるROC解析を用いたLCDの画質評価. 第18回医用画像認知研究会, 2016年9月10日, 熊本県熊本市
- 5) 白石順二. ヒトとしての特性を探る. 第44回日本放射線技術学会秋季学術大会(招待講演), 2016年10月13日 15日, 埼玉県大宮市
- 6) 境 宏, 白石順二. LCD評価のための擬人化PCシステムによるROC解析. 第11回九州放射線医療技術学術大会, 2016年11月5日 6日, 大分県別府市
- 7) 白石順二, 福岡大輔, 田中利恵, 原 武史. ROC観察者実験用ソフトウェアを用いた対比較法による画質評価. 第19回医用画像認知研究会, 2017年7月, 岐阜県岐阜市
- 8) Junji Shiraishi. One-way ANOVA with paired comparison analysis for medical image quality evaluation. The 25th Chinese Society of Imaging Technology In Tianjin (国際学会), 2017年9月, 中国河北省天津市
- 9) Yuka Okazaki, Makoto Goto, Junji Shiraishi. Verification of the representability of simulated low-dose CT Images using a paired comparison method. The 4th International Congress of Radiological Science and Technology (国際学会), 2017年10月, 広島県広島市
- 10) 境 宏, 白石順二. 胸部単純X線像における結節影検出能評価のためのモデルオブザーバー開発. 第74回日本放射線技術学会総会学術大会, 2018年4月, 神奈川県横浜市
- 11) 藤川 龍之介, 白石 順二. マシンオブザーバーによる低コントラスト信号検出のROC解析. 第75回日本放射線技術学会総会学術大会, 2019年4月, 神奈川県横浜市
- 12) 吉川 直輝, 白石 順二. Deep Learningによる一般単純X線像の撮影部位自動分類のための基礎的検討. 第75回日本放射線技術学会総会学術大会, 2019年4月, 神奈川県横浜市

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.img.hs.kumamoto-u.ac.jp/index.html>

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：該当なし

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：該当なし

ローマ字氏名：

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、研究者個人に帰属されます。