

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：84404
研究種目：若手研究
研究期間：2019～2022
課題番号：19K17220
研究課題名（和文）4次元ノイズ低減法を教師とした拡張知能によるノイズ低減法の心臓CTへの応用研究

研究課題名（英文）Development of a deep learning-based image post-processing noise reduction method based on learning 4D noise reduction method and its clinical application to cardiac CT.

研究代表者
西井 達矢（Nishii, Tatsuya）
国立研究開発法人国立循環器病研究センター・病院・医長

研究者番号：20749345
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）：この研究では、心臓CT検査の画質向上を目指し、AI技術を活用した新たなノイズ低減法を開発しました。具体的には、画像のノイズ（画像のざらつき）を大幅に削減することで、これまで困難だった低コントラスト領域の詳細な評価が可能となりました。結果として、冠動脈の不安定なプラークや心筋の病変など、重要な医療情報の把握が改善し、より精度の高い診断を実現することができました。本手法は、臨床画像に対しても大幅なノイズ低減が、撮影したあとの画像を用いても短い時間（2分程度）で処理可能であり、実際の医療現場への適用が期待されます。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、AIを用いた新たなノイズ低減法を開発し、心臓CT画像の画質向上を実現しました。これにより、詳細な心筋や冠動脈の評価が可能となり、より正確な診断を可能にすることが期待できます。また、臨床画像を用いたノイズ低減も実現し、実際の医療現場での応用が視野に入っています。学術的には、この研究結果は心臓画像診断の新たな可能性を示しており、複数の海外学会で発表し、複数の査読付きの海外論文としても公表しました。社会的には、本手法を用いた高精度な診断による早期発見・治療の可能性が広がることが期待されます。

研究成果の概要（英文）：Our study focused on enhancing the quality of cardiac CT images through the use of a new noise reduction technique utilizing AI technology. Through this process, we were able to greatly reduce image noise, which allowed for better evaluation of low-contrast regions that were previously difficult to analyze. This improved image quality has proven to be beneficial in detecting crucial medical information, such as unstable plaques in coronary arteries and lesions in the myocardium, leading to more accurate diagnoses.

研究分野：放射線医学

キーワード：CT 心臓CT ノイズ低減 画像後処理 深層学習

1. 研究開始当初の背景

心臓 CT 検査は短時間で高画質な 3 次元画像情報を得られるため、近年、実際の臨床でも頻繁に使用される。しかし、その撮影方法の技術的な限界から、不安定プラークや心筋遅延造影などのコントラストの低い領域の評価は限定的である。画像上の CT 値のばらつき（＝ノイズ）が大きいと評価が難しくなるこの問題点を解決するために、我々は画像後処理でのノイズ低減法の開発と応用が重要と考えてきた。これまで我々が開発した時系列データを用いて行う 4 次元ノイズ低減法は、強力なノイズ低減効果が得られるものの、撮影時の心拍数によりノイズ低減率が変わってしまう点など、実臨床では使用しにくい欠点も存在した。この弱点を補完するため、画像後処理の拡張知能開発を試み、それが臨床画像の課題を解決できるかという点を実証することとした。

2. 研究の目的

心臓 CT の現在の臨床的課題を解決するためには強力で汎用性のあるノイズ低減法が必要である。我々が開発した 4 次元ノイズ低減法の、ノイズ低減効果に心拍数依存性があるという弱点は、機械学習を用いた拡張知能により補完できると考えた。本研究の目的は、4 次元ノイズ低減法を適応した教師データを用いて深層学習を行い、拡張知能による新たなノイズ低減法を開発すること、その原理的妥当性を評価し、循環器 CT 画像にて不安定プラークや心筋遅延造影などのノイズ低減効果による診断能の向上を実証する。

3. 研究の方法

1. 4 次元ノイズ低減法を深層学習したノイズ低減法の開発と原理的な妥当性の実証する

(ア) 深層学習時に用いるネットワークの選定を行うため、各ネットワークの学習効率やその学習モデルを用いた画像の定性的および定量的な評価を行う。

(イ) 深層学習時のハイパーパラメータの検討を行う。

(ウ) 入力画像の再構成パラメータによる本手法のデノイズへの影響を評価し、汎用性を高める工夫を検討する。

(エ) 複数人の心臓放射線画像診断を専門とする医師に画像の定性的な評価を行ってもらい、調整を行う。

2. 本法を用いて実際の臨床で得られた冠動脈 CT へ適応し、そのノイズ低減効果や狭窄度評価への影響を確認する。

(ア) 入力画像、リファレンスとなる 4 次元ノイズ低減法によるデノイズ画像、提案手法によるデノイズ画像の定性評価（各構造物の描出能）や各部位のノイズ成

分、コントラストノイズ比などの定量的画像評価を行う。

(イ)ノイズ低減により辺縁の不明瞭化などの影響がないことを確認するために、冠動脈 CT の最重要課題である狭窄度評価へ悪影響を与えていない点を、各画像を評価した放射線科医の診断が一致していることをもって実証する。

3. 本法で画質改善が、臨床の心臓 CT の低コントラスト成分の診断能の向上を実証する。

(ア)本手法を用いたデノイズ画像では、これまでの冠動脈 CT 画像と比較して、冠動脈周囲脂肪の定量評価による不安定プラークの診断向上が得られることを実証する。

(イ)MRI による遅延造影診断をリファレンスとして、本手法を用いたデノイズ画像では、これまでの心筋遅延造影画像と比較して、心筋遅延造影の有無やパターンの診断向上が得られることを実証する。

4. 研究成果

4次元ノイズ低減法を深層学習したノイズ低減法の開発を行った。特に元画像の情報を損失せずに強力なノイズ低減を達成するために Residual Dense Network (RDN) が望ましい結果をもたらしたことは重要な発見となった。その後、RDN を用いたデノイズモデルを複数作成し、臨床画像を用いても 65%程度のノイズ低減が可能であること、各部位の CT 値がデノイズしても大きな変動を示さないこと、デノイズを行っても辺縁を保ち冠動脈狭窄の評価に影響しないことを実証し、査読ありの海外雑誌で論文を発表し、本手法の原理的妥当性と臨床応用の可能性を公開した。その後、本手法によるデノイズ画像を用いることで、これまでの通常の冠動脈 CT 画像と比較しても、冠動脈周囲脂肪の定量評価(冠動脈の炎症性変化を示すとされる)による不安定プラークの診断能が有意に向上することを実証し、海外学会での発表および査読ありの海外雑誌で論文を発表した。また、本手法を応用し、MRI による遅延造影診断をリファレンスとして、本手法を用いたデノイズ画像では、これまでの心筋遅延造影画像と比較して、心筋遅延造影の有無やパターンの診断向上が得られ、その成果も海外学会での発表および査読ありの海外雑誌で論文を発表した。

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 0件）

1. 著者名 Kobayashi Takuma, Nishii Tatsuya, Umehara Kensuke, Ota Junko, Ohta Yasutoshi, Fukuda Tetsuya, Ishida Takayuki	4. 巻 64
2. 論文標題 Deep learning-based noise reduction for coronary CT angiography: using four-dimensional noise-reduction images as the ground truth	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Acta Radiologica	6. 最初と最後の頁 1831 ~ 1840
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/02841851221141656	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 Nishii Tatsuya, Kobayashi Takuma, Tanaka Hironori, Kotoku Akiyuki, Ohta Yasutoshi, Morita Yoshiaki, Umehara Kensuke, Ota Junko, Horinouchi Hiroki, Ishida Takayuki, Fukuda Tetsuya	4. 巻 305
2. 論文標題 Deep Learning-based Post Hoc CT Denoising for Myocardial Enhancement Delayed	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Radiology	6. 最初と最後の頁 82 ~ 91
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1148/radiol.220189	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 Nishii Tatsuya, Kobayashi Takuma, Saito Tatsuya, Kotoku Akiyuki, Ohta Yasutoshi, Kitahara Satoshi, Umehara Kensuke, Ota Junko, Horinouchi Hiroki, Morita Yoshiaki, Noguchi Teruo, Ishida Takayuki, Fukuda Tetsuya	4. 巻 Online ahead of print.
2. 論文標題 Deep Learning-based Post Hoc CT Denoising for the Coronary Perivascular Fat Attenuation Index	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Academic Radiology	6. 最初と最後の頁 1 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.acra.2023.01.023	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3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Tatsuya Nishii, Takuma Kobayashi, Akiyuki Kotoku, Kensuke Umehara, Junko Ota, Hiroki Horinouchi, Yasutoshi Ohta, Yoshiaki Morita, Takayuki Ishida, Tetsuya Fukuda
2. 発表標題 High fidelity coronary CT angiography generated by deep learning based post hoc denoising method improved the diagnostic performance of the coronary perivascular fat attenuation index
3. 学会等名 108th Scientific Assembly and Annual Meeting of Radiological Society of North America (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hironori Tanaka, Tatsuya Nishii, Takuma Kobayashi, Yoshiaki Morita, Akiyuki Kotoku, Hiroki Horinouchi, Yasutoshi Ohta, Keizo Murakawa, Takayuki Ishida, Tetsuya Fukuda
2. 発表標題 Image Quality and Diagnosis Performance of Myocardial Delayed Enhancement CT improved by the Artificial Intelligence-based Denoising Method
3. 学会等名 RSNA 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林拓馬、西井達矢、梅原健輔、大田淳子、太田靖利、福田哲也、石田隆行
2. 発表標題 Deep Learningによる心臓CTの時系列データを用いたノイズ低減の学習
3. 学会等名 第1回未来創生医用画像研究会
4. 発表年 2021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
---------------------------	-----------------------	----

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