

Title	心臓CTにおける深層学習を用いたノイズ低減技術の開発とその臨床的評価
Author(s)	小林, 拓馬
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/95979
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (小林 拓馬)

論文題名

心臓CTにおける深層学習を用いたノイズ低減技術の開発とその臨床的評価

心臓CTの画像ノイズは、心筋障害やプラークの正確な診断において大きな障害となっている。本研究では、心臓CTの画質を向上させる技術を開発し、特にノイズの影響を受けやすい低コントラスト病変の診断能を改善することである。本論文は、以下の3つの研究から構成される。

【研究1】冠動脈CT (CCTA) における4次元ノイズ低減手法を教師とした深層学習ベースのノイズ低減手法の開発

CTの教師ありノイズ低減モデルを構築するためには、通常線量と高線量 (=高画質) の画像ペアを取得する必要がある、これらを実現するのは倫理的に困難である。そこで、撮影済みのCCTAデータから異なる心位相の画像を再構成し、それら複数の心位相のデータに対して非剛体レジストレーションと加算平均を適用した4次元ノイズ低減 (4DNR) 画像を作成し、4DNR画像を教師あり学習のターゲット画像として使用することを提案した。提案したDLベースのノイズ低減法は、原画像とのCT値の同等性を維持しながら、64.5%低い画像ノイズと2.9倍高いコントラスト対ノイズ比 ($P<0.001$) を達成した。また、放射線科専門医による画質の定性評価において、画像のボケを抑えながらノイズ低減されることを示した。

【研究2】提案手法の心筋遅延造影 (MDE) CTへの応用・ノイズ低減処理後の画像を用いた診断能評価

研究1の提案手法を基にMDE CTのノイズ低減モデルを構築・定量的画質評価を行った。次に、心臓MRIの診断結果をゴールドスタンダードとし、提案モデルによるノイズ低減処理されたMDE CTを用いて心筋障害の診断能の評価を行った。提案手法のノイズ低減モデルは、MDE CTにおいても、原画像との同等性を維持しながら、72%画像ノイズを低減した。特に診断能において、オリジナル画像を用いた場合は $AUC=0.85$ 、提案手法のノイズ低減画像を用いた場合は $AUC=0.94$ ($P<0.001$) と向上した。結論として、提案手法はMDE CTの画質を向上させ、MDE CTを用いた心筋障害の診断能を向上させた。

【研究3】提案手法によるノイズ低減後のCCTA画像を用いた、冠動脈周囲脂肪減衰指数 (FAI) 診断能評価

MRIによって同定された高リスク出血性プラーク (HIP) と比較して、提案手法によりノイズ低減されたCCTA画像における冠動脈周囲脂肪減衰指数 (FAI) の診断能を評価した。FAI診断能の評価において、原画像を用いた場合は $AUC=0.77$ であり、提案手法によるノイズ低減画像を用いた場合は $AUC=0.89$ ($P=0.008$) と診断能が向上した。診断能が向上することを示した。結論として、提案手法によりノイズ低減されたCCTA画像は、原画像と比較してFAIのAUCを大幅に改善し、HIPの予測においてより高い感度と特異性を示した。

【総括】

本研究は、画像処理前後のCT値の変動を抑えながらノイズ低減可能なDLベースのノイズ低減手法を提案した。また、提案手法により心臓CTの画質は顕著に向上し、より信頼性の高い画像を読影医に提供することで、心疾患の診断精度を向上させることを示した。本研究の成果は、CTを用いた心臓疾患診断において重要な意義を持つと考える。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (小林 拓馬)		
論文審査担当者	(職)	氏 名
	主 査	教授 石田 隆行
	副 査	教授 近江 雅人
	副 査	教授 大西 裕満

論文審査の結果の要旨

心臓CTの画像ノイズは、心筋障害やプラークの正確な診断において大きな障害となっている。本研究では、心臓CTの画質を向上させる技術を開発することで、特にノイズの影響を受けやすい低コントラスト病変の診断能を改善することである。本論文は、以下の3つの研究から構成される。

【研究1】冠動脈CT (CCTA) における4次元ノイズ低減手法を教師とした深層学習ベースのノイズ低減手法の開発

CTの教師ありノイズ低減モデルを構築するためには、通常線量と高線量 (=高画質) の画像ペアを取得する必要がある、これらを実現するのは倫理的に困難である。そこで、撮影済みのCCTAデータから異なる心位相の画像を再構成し、それら複数の心位相のデータに対して非剛体レジストレーションと加算平均を適用した4次元ノイズ低減 (4DNR) 画像を作成し、4DNR画像を教師あり学習のターゲット画像として使用することを提案した。提案したDLベースのノイズ低減法は、原画像とのCT値の同等性を維持しながら、64.5%低い画像ノイズと2.9倍高いコントラスト対ノイズ比 ($P < 0.001$) を達成した。また、放射線科専門医による画質の定性評価において、画像のボケを抑えながらノイズが低減された。

【研究2】提案手法の心筋遅延造影 (MDE) CTへの応用・ノイズ低減処理後の画像を用いた診断能評価

研究1の提案手法を基にMDE CTのノイズ低減モデルを構築し定量的画質評価を行った。次に、心臓MRIの診断結果をゴールドスタンダードとし、提案モデルによるノイズ低減処理されたMDE CTを用いて心筋障害の診断能の評価を行った。提案手法のノイズ低減モデルは、MDE CTにおいても、原画像との同等性を維持しながら、72%画像ノイズを低減した。特に診断能において、オリジナル画像を用いた場合はAUC=0.85、提案手法のノイズ低減画像を用いた場合はAUC=0.94 ($P < 0.001$) と向上した。結論として、提案手法はMDE CTの画質を向上させ、MDE CTを用いた心筋障害の診断能を向上させた。

【研究3】提案手法によるノイズ低減後のCCTA画像を用いた、冠動脈周囲脂肪減衰指数 (FAI) 診断能評価

MRIによって同定された高リスク出血性プラーク (HIP) と比較して、提案手法によりノイズ低減されたCCTA画像における冠動脈周囲脂肪減衰指数 (FAI) の診断能を評価した。FAI診断能の評価において、原画像を用いた場合はAUC=0.77であり、提案手法によるノイズ低減画像を用いた場合はAUC=0.89 ($P = 0.008$) と診断能が向上した。提案手法によりノイズ低減されたCCTA画像は、原画像と比較してFAIのAUCを大幅に改善し、HIPの予測においてより高い感度および特異度を示した。

本研究は、画像処理前後のCT値の変動を抑えながらノイズ低減可能なDLベースのノイズ低減手法を提

案した。また、この手法により心臓CTの画質は顕著に向上し、より信頼性の高い画像を読影医に提供することで、心疾患の診断精度を向上させることを示した。本研究の成果は、CTを用いた心臓疾患診断において重要な意義を持つ。

以上より、本研究は博士（保健学）に値すると評価した。