

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K07703

研究課題名(和文)非線形MR高速撮像の臨床導入に向けた血管系画像の画質評価法の開発

研究課題名(英文)Development of evaluation method of blood vessel image quality to introduce nonlinear MR fast imaging into clinical examination

研究代表者

町田 好男(Machida, Yoshio)

東北大学・医学系研究科・名誉教授

研究者番号：30507083

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：近年MRIは、圧縮センシング(CS)等の情報理論を応用した非線形収集再構成技術により、さらなる高速化が進んでいる。本研究では、この技術により得られる特に血管系画像について、その臨床導入にあたって、基礎と臨床を結び付けた画質評価法を示すことを目指した。物理的画質指標の計測や、模擬ファントムによる実験等の基礎的評価を実施し、その結果と対比しながら冠動脈臨床データでの一連の評価を試みた。検討の中では、非線形処理下での画質の被検体依存性を再認識し、様々な先験情報を前提とする新技術下での計測上の課題も示した。なお、コロナ禍による臨床データ解析中断のため期間の延長を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

MRI等の医用画像化技術の進歩は著しく、新しい画像を臨床現場で受け入れていくためには、客観的な画質指標やファントムでの評価結果を臨床的な画質の良し悪しと関連付ける、画質評価法の確立が重要と考えた。実際に評価を進めると、新しい画像化技術は何らかの既知情報を前提としているため、基本的な物理的指標の計測も難しいなどの課題も見えてきた。今回評価法の提案までには至らなかったが、冠動脈画像を対象とした実際の評価例や上記課題を示したことが、今後の研究につながるものと考えている。

研究成果の概要(英文)：In recent years, MRI has been further accelerating imaging speed with nonlinear acquisition and reconstruction techniques that incorporate information theory, such as compressed sensing (CS). In this study, we aimed to propose an image quality evaluation method that links the basic and clinical aspects of these new imaging techniques, especially vascular imaging, for their clinical introduction. We conducted basic evaluations such as measurement of physical image quality indices and experiments using simulated phantoms, and contrasting the results with clinical coronary data. In the course of the study, we also showed measurement issues under the new technology, which assumes various a priori information.

研究分野：医用画像工学、磁気共鳴医工学

キーワード：MRI 高速撮像 非線形処理 圧縮センシング 血管イメージング 画質評価

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、科学技術領域において、限られた観測データから情報技術を駆使してできるだけ多くの所望の情報を引き出す技術が発展してきた。MRI の高速撮像技術領域においても、新しい収集再構成技術が提案されてきた。すなわち、MRI 固有技術であるパルスシーケンスの改良や並列収集再構成によるパラレル MRI という従来手法に加え、圧縮センシング(Compressed Sensing: CS) MRI を応用した CS-MRI、MR Fingerprinting (MRF)、深層学習を用いた MRI などが導入されている。パラレル MRI までの従来の画像化技術が、基本的に線形処理をベースとしたものであったのに対し、新しい技術では非線形処理を伴っている。そのため画像の解釈も難しくなってきた。その解釈を少しでも共有すべく、画像化の基礎と臨床応用における有用性とをできるだけ結び付けることがわれわれの問題意識であった。多くの新しいアプリケーションが報告される中であって、こうした基礎的な問いを継続することも重要であると考えた。

われわれは本研究開発の開始に先立って、CS-MRI 画質を基礎的・技術的な立場から検討してきたが、本研究はその延長でもあり、臨床応用との接点に近づくという意味では新しい研究テーマであった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、新しく臨床に導入されつつある MRI の高速撮像技術、特に非線形処理を伴う圧縮センシング MRI (CS-MRI) の基本的な画像特性について、臨床と基礎を結びつけた形で定量的把握を行うことである。より具体的には、冠動脈を主な対象として、血管系・脈管系の CS-MRI 画質の変化を、物理的な画質指標、模擬ファントムによる実験評価、そして、臨床画像の評価を関連付けて捉え、臨床現場でも参考になる画質評価法の提案を行うことである。

3. 研究の方法

実際の検討は、主に冠動脈の描出を念頭に検討を行った。検討項目は、(1) 物理的画質評価法、(2) ファントムを用いた評価、および(3) 臨床画像との比較評価である。

(1) 物理的画質評価法：

解像特性を表す変調伝達関数(modulation transfer function: MTF) や雑音特性を表すノイズパワースペクトル(noise power spectrum: NPS)等の物理指標による評価を進めた。それぞれ、計測方法の詳細検討と、それを用いた実際の計測がある。MTF では、実用化のための種々の改良を行った。また、高速スピネコー法(FSE)を例として実際の画質の解析を行った。NPS では、手法の基礎的な検討を進めた上で、その結果を踏まえて、CS-MRI における NPS の CS 固有の2つのパラメータ依存性の検討を行った。

(2) ファントムを用いた評価：

細血管ファントム(血管狭窄評価用ファントム)を用いて、視覚評価および数値指標による評価を行った。また、非線形処理下の画質の被検体依存性確認の一環として、頭部模擬ファントムを用いた NPS の比較検討も行った。

(3) 臨床画像との比較評価：

冠動脈の臨床画像についてスコアリングによる視覚評価や先鋭度やノイズの数値評価の結果を、(1)(2)の結果とあわせて比較検討した。

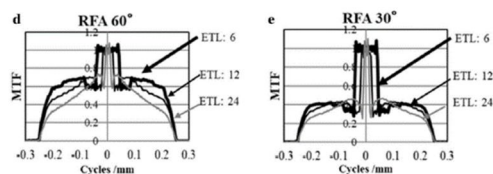
なお、コロナ禍で臨床データ解析の中断を余儀なくされたため、計測系の特性の詳細検討を行い、時間を有効活用した。(3)の冠動脈の臨床画像の解析は、延長期間になって進めることができた。

4. 研究成果

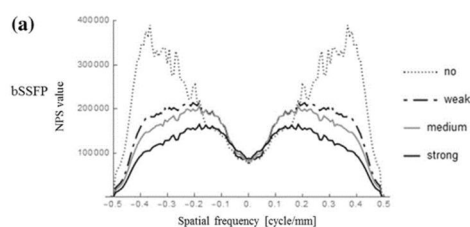
(1) 物理的画質評価法：

MTF では、実用化のための種々の改良を行い、高速スピネコー(Fast spin echo: FSE)を例として解析を行い論文報告した。解析結果の一例(T1 強調撮像における MTF の再収束パルス角依存性)を図に示す。

NPS については、MRI 固有の NPS 特性を明らかにするため、複素 NPS を用いた検討を行った。また、2つの CS パラメータ(高速化係数(acceleration factor: AF)、除去係数(denoising factor: DF))依存性を詳細に検討した。特に後者は CS 固有のパラメータで重要である。結果の一例を図に示す。この結果は、(3)の臨床例での検討において参照した。



Yoshida, 2022 より



Takahashi, 2021 より

(2) ファントムを用いた評価：

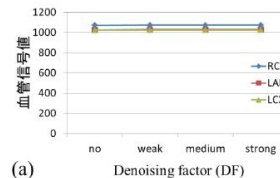
血管狭窄評価用ファントムを用いた検討では、プロフィール解析による数値指標を用いて、上記2パラメータ依存性を詳細に検討した。この計測方法および結果は、(3)の臨床画像評価でも直接比較対象とした。

また、非線形処理下の画質の被検体依存性確認のため、頭部解剖の模擬ファントムと標準的な画質評価用均一ファントムでNPSを計測し比較した。両者の結果に大きな傾向の違いがないことは確認できたが、条件によってはNPSの変化量に違いがみられ、非線形下の計測・評価の難しさを再認識させられた。なお、膝管描出を念頭に追加実験では、撮影面外の高信号体の存在がCS画像の画質に影響されることも確認された。

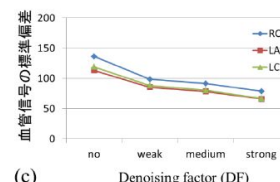
(3) 臨床画像との比較評価：

冠動脈の臨床画像についてスコアリングによる視覚評価や先鋭度やノイズの数値指標による評価を行った。その結果、AFを上げても、DFを上げていくことで、SNRを改善しながら信号値やコントラスト、先鋭度を保持することが確認でき、視覚評価と符合した。結果の一部を図に示す。(2)のファントムでの数値評価と一致する点が多く、(1)の物理的指標も解釈の上で参考になった。総合的には、強めのDFによるSNR改善により、撮像時間短縮と画質を両立させていることと判断できた。

なお、冠動脈CS-MRアンギオグラフィ(MRA)画像の評価については、ファントム実験結果と合わせて研究分担者(高橋)の博士論文の一部となっている。現在、原著論文として投稿し査読中である。



(a)



(c)

今回対象とした非線形の新しい画像化技術は、何らかの既知情報を前提としている。そのため、基本的な物理的指標も計測条件に依存して変化し、計測自体難しいなどの課題も見えてきた。今回、評価法の提案までには至らなかったが、冠動脈画像を対象とした実際の評価例を示し、上記課題を示したことは、今後の研究につながるものと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Hoshi H, Sugita R, Machida Y	4. 巻 -
2. 論文標題 Comparison of Slab and Pencil Beam Labeling in Spin-labeled MR Imaging for Pancreatic Juice Flow Visualization	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Radiological Physics and Technology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yoshida R, Machida Y	4. 巻 -
2. 論文標題 Modulation Transfer Function Measurement of Three-dimensional T1-weighted Turbo Spin Echo Sequence with Low Refocusing Flip Angles Using Single-Plate Method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Radiological Physics and Technology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s12194-023-00711-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Takahashi J Machida Y, Aoba M, Nawa Y, Kamoshida R, Fukuzawa K, Ohtomo-Sekine Y	4. 巻 14
2. 論文標題 Noise power spectrum in compressed sensing in magnetic resonance imaging	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Radiological Physics and Technology	6. 最初と最後の頁 93-99
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s12194-016-0380-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yoshida R, Machida Y	4. 巻 13
2. 論文標題 Single-plate method for practical modulation transfer function measurement in magnetic resonance imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Radiological Physics and Technology	6. 最初と最後の頁 358-364
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s12194-020-00593-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 会田健人、宮本宏太、一関雄輝、町田好男	4. 巻 29
2. 論文標題 MRIにおける異なる非線形フィルタ処理画像のノイズパワースペクトル比較	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 東北大学医学部保健学科紀要	6. 最初と最後の頁 49-56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 青羽南臣、藤本綾子、町田好男	4. 巻 29
2. 論文標題 非造影下肢MRアンジオグラフィーにおける血管描出能評価のための数値指標とその計測法の検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 東北大学医学部保健学科紀要	6. 最初と最後の頁 57-70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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20件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 星 英樹、刀 章、川原圭太、三塚 哲、町田好男
2. 発表標題 圧縮センシング息止め3D MRCPにおける細管描出能の高信号体と加速係数依存性
3. 学会等名 第50回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 名和勇樹、鴨志田 諒、五月女康作、福澤 圭、高橋順士、町田好男
2. 発表標題 頭部模擬ファントムを用いた圧縮センシングMR画像のノイズ特性のシーケンス間での比較検討
3. 学会等名 日本放射線技術学会第76回総会学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takahashi J, Fukuzawa K, Miura N, Hiramoto S, Aoba M, Machida Y
2. 発表標題 Denoising Parameter Dependence of Noise Characteristics in Compressed Sensing MRI
3. 学会等名 日本放射線技術学会第75回総会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kamosida R, Takahashi J, Aoba M, Nawa Y, Ichikawa N, Machida Y
2. 発表標題 Evaluation of Noise Characteristics of Compressed Sensing MR Images Using 2D and 1D Noise Power Spectra
3. 学会等名 日本放射線技術学会第75回総会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鴨志田 諒、高橋順士、名和勇樹、青羽南臣、町田好男
2. 発表標題 圧縮センシングMRIにおける複素画像のノイズパワースペクトルの特性
3. 学会等名 第47回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 名和勇樹、福澤 圭、五月女康作、鴨志田 諒、高橋順士、町田好男
2. 発表標題 頭部模擬ファントムを用いた圧縮センシングMR画像のノイズ特性の評価
3. 学会等名 第47回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阿部陵那、高橋順士、福澤 圭、町田好男
2. 発表標題 圧縮センシングMR画像のDenoising Parameter依存性：血管狭窄ファントムを用いた検討
3. 学会等名 第47回日本放射線技術学会秋季学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Aoba M, Fujimoto A, Aita K, Machida Y
2. 発表標題 Investigation of Measurement of Signal Intensity Change along Vessels in Peripheral MR Angiography
3. 学会等名 日本放射線技術学会第74回総会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田礼、曾根理、荒木隆博、町田好男
2. 発表標題 MTFを用いたT2-weighted Variable Refocusing Flip Angle 3D TSEの画像特性の検討
3. 学会等名 日本放射線技術学会第74回総会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋順士、福澤圭、大本由樹、門間正彦、青羽南臣、町田好男
2. 発表標題 圧縮センシング MR Angiographyにおける血管狭窄ファントムの描出能の評価
3. 学会等名 第46回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田礼、荒木隆博、町田好男
2. 発表標題 Tissue-specific variable refocusing flip angles 3D T2W TSE撮像におけるMTFの比較
3. 学会等名 第46回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三浦洋亮、吉田礼、一関雄輝、町田好男
2. 発表標題 パラレルイメージングにおけるNoise power spectrum計測
3. 学会等名 第46回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 町田好男
2. 発表標題 圧縮センシングの基礎
3. 学会等名 第46回日本放射線技術学会秋季学術大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋順士、福澤圭、大本由樹、三浦則仁、平本壮一、青羽南臣、町田好男
2. 発表標題 圧縮センシングMR画像のノイズパワースペクトル計測
3. 学会等名 46回日本放射線技術学会秋季学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青羽南臣、藤本綾子、町田好男
2. 発表標題 非造影下肢MRAにおけるMIP像と3D元画像を用いた信号値及び半値幅の計測法の比較検討
3. 学会等名 第46回日本放射線技術学会秋季学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 町田好男
2. 発表標題 MR高速撮像の温故知新
3. 学会等名 第14回東京MRI動態機能研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 町田好男
2. 発表標題 MR高速撮像：技術開発野の変遷と最近の動向
3. 学会等名 第58回宮城MR技術研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Aoba M, Fujimoto A, Machida Y
2. 発表標題 Measuring vessel signal intensity and FWHM changes along vessels for numerical evaluation of vessel depictability in non-contrast enhanced peripheral MR angiography
3. 学会等名 ECR2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahashi J, Fukuzawa K, Miura N, Hiramoto S, Aoba M, Machida Y
2. 発表標題 Denoising Parameter Dependence of Noise Characteristics in Compressed Sensing MRI
3. 学会等名 日本放射線技術学会第75回総会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kamosida R, Takahashi J, Aoba M, Nawa Y, Ichikawa N, Machida Y
2. 発表標題 Evaluation of Noise Characteristics of Compressed Sensing MR Images Using 2D and 1D Noise Power Spectra
3. 学会等名 日本放射線技術学会第75回総会学術大会
4. 発表年 2019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
研究分担者	高橋 順士 (Takahashi Junji) (50791852)	東北大学・医学系研究科・非常勤講師 (11301)	
研究分担者	大田 英揮 (Ohta Hideki) (40586905)	東北大学・医学系研究科・准教授 (11301)	

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