

令和 6 年 5 月 31 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K07592

研究課題名（和文）5D-GRASP法を用いた3テスラ造影冠動脈MRAの画像再構成に関する研究

研究課題名（英文）Image reconstruction of 3T contrast-enhanced free-running whole-heart coronary MRA using the 5D-GRASP method.

研究代表者

石田 正樹（Ishida, Masaki）

三重大学・医学系研究科・准教授

研究者番号：10456741

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：5D-GRASP法を用いた冠動脈MRAの撮影パラメータおよび造影剤注入法、画像再構成におけるRegularization weightsの最適化を行った。また、ローザンヌ大学が考案した、多数の心位相、呼吸位相から自動で高画質の再構成が得られるデータ抽出法に対して、われわれのデータを提供し、同手法がわれわれのデータにも有効であることを示した。さらに、5D-GRASP法を用いた冠動脈MRAデータセットからシネ画像を再構成し、通常のシネ画像と比較して、左室容積および機能について比較し良好な一致が得られることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、5D-GRASP法により3テスラ造影冠動脈MRAを、従来法と比べ大幅に短い時間で撮影することができ、得られた多数の呼吸位相、心位相ごとの再構成画像から、画像処理の技術を応用して高画質の冠動脈MRA画像とシネMRI画像を、一度の撮影から得ることができ、冠動脈疾患の診断のための心臓MRI検査プロトコル時間短縮に大きなインパクトを与える意義を有する。

研究成果の概要（英文）：We optimised the imaging parameters and contrast medium injection method for coronary MRA using the 5D-GRASP method, and the regularisation weights for image reconstruction. We also provided our data to a data extraction method devised by the University of Lausanne, which automatically produces high-quality reconstructions from a large number of cardiac and respiratory phases, and showed that this method is also valid for our data. Furthermore, we reconstructed cine images from coronary MRA datasets using the 5D-GRASP method and compared them with conventional cine images, showing good agreement in terms of left ventricular volume and function.

研究分野：心臓MRI

キーワード：5D-GRASP 冠動脈MRA 画像再構成 圧縮センシング self-navigation

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

造影 3 テスラ冠動脈 MRA は高い画質で冠動脈画像を撮影することができ、十分な冠動脈狭窄診断能を有し、かつ、冠動脈疾患疑い症例のリスク判定にも重要な役割を果たすことがしられる。しかし、従来の、心電図同期および呼吸同期による 3D whole-heart coronary MRA では撮影効率が低く撮影時間が長い問題があった。近年、冠動脈 MRA 画像データ収集時の k 空間充填法が工夫され、セルフナビゲーション法と圧縮センシングの技術を応用し、心電図、呼吸に同期することなく連続して 100%の撮影効率で画像データ収集を行う 5D-GRASP(golden-angle radial sparse parallel MRI)法という冠動脈 MRA 撮影技術が開発されている。この方法では撮影時間を短縮しつつ、一度の撮影から呼吸位相・心位相の組み合わせの数だけ冠動脈 MRA 画像データセットが生成される。

現在、心臓 MRI の撮影は、高いシグナルノイズ比により高画質の画像が得られるため 3 テスラ装置を用いることが主流である。しかし、3 テスラ冠動脈 MRA では、1.5 テスラ冠動脈 MRA で用いられている高い血管コントラストの得られる steady-state free precession(SSFP)法は、静磁場の不均一性やラジオ波照射による加温による撮影条件の制限により画質が著しく劣化するため、gradient echo (GRE)法が用いられる。非造影の GRE 3T 冠動脈 MRA は冠動脈のコントラストが不足するため、ガドリニウム造影剤投与が必須である。我々は、3 テスラ GRE 造影 5D-GRASP 冠動脈 MRA に最適な冠動脈内造影効果を得られるような最適なガドリニウム造影剤投与方法を、造影剤注入時に T1 マッピングによる経時的な血液 T1 値の変化を捉えることにより決定し、さらに冠動脈の MRI 信号が最大となるようなフリップアングルをファントム実験により最適化した。

5D-GRASP 法の再構成では呼吸位相 4、心位相 20 程度に分割が可能であり計約 80 セットの冠動脈 MRA 画像が生成される。しかし、この中から診断に最適な冠動脈 MRA 像をどのように抽出するかについては国内外でいまだ十分な検討はなされていない。また、冠動脈 MRA 画像では一般に左室の形態情報も得られるため、5D-GRASP 法では左室のシネ画像も同時に得られることになる。左室容積、機能の評価において通常のシネ MRI と同等の精度があれば、シネ MRI の撮影を省略して心臓 MRI プロトコールを大幅に短縮することが可能となる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、冠動脈疾患疑い患者を対象に、1) 3 テスラ造影 5D-GRASP 冠動脈 MRA の画像再構成の際に、使用する Regularization weights を最適化すること、2) 3 テスラ造影 5D-GRASP 冠動脈 MRA の画像から再構成される、心位相と呼吸位相の多数の組み合わせの冠動脈 MRA 画像データセットから診断に最適な高画質のものを抽出するアルゴリズムを開発し、3) 3 テスラ造影 5D-GRASP 冠動脈 MRA の画質および冠動脈狭窄診断能を評価し、4) 3 テスラ造影 5D-GRASP 冠動脈 MRA に付随して得られる、心位相方向に動きが分解された左室形態画像の左室容積・機能の評価における精度を検証することである。

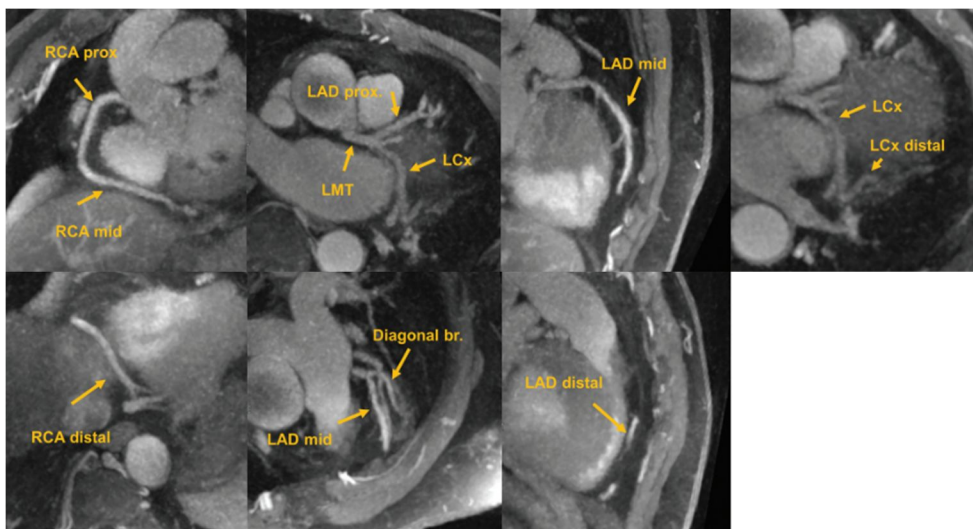
3. 研究の方法

本研究で用いた 5D-GRASP 冠動脈 MRA の撮影シークエンスおよび画像再構成システムはスイスのローザンヌ大学 Centre Hospitalier Universitaire Vaudois (CHUV)の Matthias Stuber 教授のグループとの相互訪問により、それぞれ、当院のシーメンス社製 3 テスラ MRI 装置および画像データサーバーに導入し使用した。1)に対しては、得られたデータに対して、心位相方向、呼吸位相方向、3D 空間方向の Regularization weights を系統的に変化させて最適化を行った。2)については、当院で得られた画像データを使用し、各冠動脈 MRA 画像から深層学習の U-Net を用いて、心臓領域を自動分割し、CNR

(Contrast to Noise Ratio)、SNR (Signal to Noise Ratio)を計測後、各心位相、各呼吸位相の 80 組の冠動脈 MRA データセットから、CNR、SNR が最も高い冠動脈 MRA 画像を高画質画像として選択する方法、あるいは、冠動脈 MRA 画像の信号パターンと画質に関する専門医の主観的評価値の関係を人工知能に学習させることにより、人工知能による高画質画像の選択を検討することを予定した。4)については、代表的な一例に対して、約 20 フェーズの心位相方向の冠動脈 MRA データセットで時間分解能を 20ms から 100ms まで 10ms 刻みで再構成を行いシネ MRI と同等の断面を再構成し、通常のシネ MRI と比較して最も妥当な左室容積、心筋重量の結果を与える時間分解能を探索、決定したのち、全患者に対して、決定した時間分解能で冠動脈 MRA データセットを再構成し、左室容積や収縮能を計測し、通常検査として別途撮影されたシネ MRI と比較してその精度を評価した。

4. 研究成果

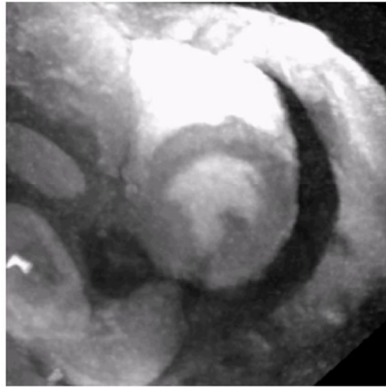
(1) 患者 12 名において、5D-GRASP 法を用いた冠動脈 MRA の画像再構成における Regularization weights の最適化を行った。5D-GRASP 法を用いた冠動脈 MRA の撮影パラメータおよび造影剤注入法の最適化、画像再構成における Regularization weights の最適化の一連の流れについて、査読ありの国際英文ジャーナルに投稿し採択された。



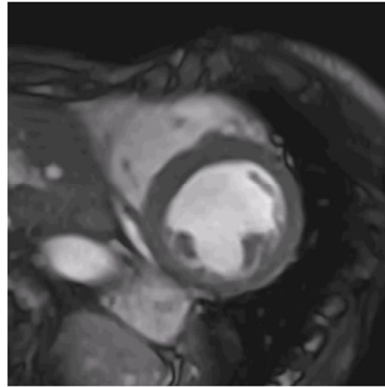
(2) 撮影シークエンスの開発元であるローザンヌ大学のグループより考案された、最適な画質が得られる画像データを自動で抽出して再構成する方法に対して随時改良がすすめられた(主成分分析、independent component analysis (ICA)、second-order blind identification (SOBI)) ため当院での開発は中止し、国際共同研究として、匿名化画像データを倫理委員会承認のもと提供し、当施設のデータにローザンヌ大学のグループが考案した方法が、我々の画像データにおいても有効であることを示した。現在、共著者として国際英文ジャーナルに投稿準備中である。

(3) 撮影が行われた 30 例のうち、代表的な 1 例に対して、時間分解能を 20ms から 100ms まで 10ms 刻みで変えた再構成を行い、通常のシネ MRI と比較して最も妥当な結果を与える時間分解能が 50ms であることを明らかにした。その後、残りの 29 例についても時間分解能を 50ms として画像再構成を行い、左室短軸像のシネ画像を得て、通常のシネ画像と左室容積および機能について比較し良好な一致が得られた。この内容について 2023 年の国際学会で発表し、現在、英語論文を執筆中である。

Free-running cine MRI (50ms)



2D standard cine MRI



Haruno S, Ishida M, ..., Stuber M, Sakuma H. ISMRM 2023 Proceeding

さらに、冠動脈 MRA の多数の画像データセットから診断に最適な冠動脈静止心位相を RCA と LAD で近位部と遠位部で評価者が視覚的に選択したものが、別途撮影しておいた RCA 近位部の高分解能シネ MRI から予測される冠動脈静止心位相と比較し大きくずれがあることを見出した。これは一つの心位相を選択するよりも、幅広い心位相の画像を評価し、部位ごとに異なる最適な心位相を参照することにより、冠動脈狭窄の診断能が向上す可能性があることを示唆する。この内容を 2024 年 11 月の国際学会で発表予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ishida M, Yerly J, Ito H, Takafuji M, Nakamori S, Takase S, Ichiba Y, Komori Y, Dohi K, Piccini D, Bastiaansen JAM, Stuber M, Sakuma H.	4. 巻 -
2. 論文標題 Optimal Protocol for Contrast-enhanced Free-running 5D Whole-heart Coronary MR Angiography at 3T	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Magnetic Resonance in Medical Sciences	6. 最初と最後の頁 1,13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2463/mrms.tn.2022-0086	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 該当する

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 4件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 石田 正樹
2. 発表標題 Free running whole-heart coronary MRI
3. 学会等名 第33回日本心血管画像動態学会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石田正樹、高瀬伸一、伊藤絵、高藤雅史、中森史郎、市場義人、小森芳秋、土肥薫、佐久間肇
2. 発表標題 Optimization of regularization parameters for the reconstruction of 3T GRE contrast-enhanced free-running coronary MRA
3. 学会等名 第49回日本磁気共鳴医学大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石田 正樹
2. 発表標題 Asia-North America Symposium: Coronary MRA
3. 学会等名 Society for Magnetic Resonance Angiography 33rd Annual International Conference（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Haruno Ito, Masaki Ishida, Masafumi Takafuji, Shinichi Takase, Yoshiaki Komori, Davide Piccini, Jessica Bastiaansen, Jerome Yerly, Matthias Stuber, Hajime Sakuma
2. 発表標題 Cine MRI reconstructed from 3T contrast-enhanced free-running 5D coronary MRA: comparison to standard 2D cine MRI
3. 学会等名 ISMRM2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masaki Ishida
2. 発表標題 Experience in cardiovascular MRI from Japan
3. 学会等名 SMRA 2023 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Matthias Stuber
2. 発表標題 Coronary Imaging: Acquisition and Clinical Use
3. 学会等名 CMR2024 (招待講演)
4. 発表年 2024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	中山 良平 (Nakayama Ryohei) (20402688)	立命館大学・理工学部・教授 (34315)	

6. 研究組織（つづき）

	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	佐久間 肇 (Sakuma Hajime) (60205797)	三重大学・医学系研究科・教授 (14101)	
研究分担者	高藤 雅史 (Takafuji Masafumi) (80899170)	三重大学・医学部附属病院・助教 (14101)	

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			
スイス	ローザンヌ大学			