

令和 4 年 5 月 17 日現在

機関番号：16301

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K16761

研究課題名（和文）3D遅延造影MRIにおけるCompressed Sensingの有用性検討

研究課題名（英文）Clinical Usability of Free Breathing Three-Dimensional Late Gadolinium Enhancement Cardiovascular Magnetic Resonance using Compressed sensing

研究代表者

中村 壮志（NAKAMURA, MASASHI）

愛媛大学・医学部附属病院・助教（病院教員）

研究者番号：50794468

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、心臓MRIの3D遅延造影撮像に最新の高速撮像技術であるCompressed Sensing (CS)を併用（CS 3D LGE）し、従来の2D遅延造影撮像法（2D LGE）撮像と時間短縮効果や画質、遅延造影の診断能を比較検討した。心疾患を疑われた患者に対して従来通り2D LGEを撮影した後にCS 3D LGEを追加撮影した。撮像時間は両者に有意差は認められなかった。画質は有意にCS 3D LGEの方が低くなったが、両者の平均スコアはともに診断に影響を与えないと思われるレベルであった。遅延造影領域のボリュームは両者に有意な差は認められず、良好な正の相関が認められた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

新たな高速撮像技術であるCompressed Sensing (CS)を併用した3D遅延造影撮像法（3D LGE）は、診断に十分評価可能な画質を維持したまま、従来の2D遅延造影撮像法（2D LGE）と比較して同等の遅延造影の診断能を有することが示唆された。本研究では検査時間の有意な短縮は得られなかったが、息止めなしの自由呼吸下で従来と同等の遅延造影画像を得られることは患者負担の軽減という点で大きなメリットになると思われる。

研究成果の概要（英文）：In Cardiovascular Magnetic Resonance (CMR), late gadolinium enhancement (LGE) is an important tool in the assessment of Myocardial scar and fibrosis. A two-dimensional (2D) LGE sequence acquired in multiple breath-holds may suffer from slice misregistration and artifacts due to respiratory motion. Alternatively, a three-dimensional (3D) LGE sequence has been proposed with the potential advantage of isotropic resolution and extended myocardial coverage. The purpose of this study was to evaluate the diagnostic performance of free-breathing 3D LGE using CS (CS 3D LGE) comparing with conventional breath hold 2D LGE (2D LGE). CS 3D LGE method allows complete whole heart coverage in a scan time of approximately 6 min while maintaining diagnostic performance. In clinical relevance, Free-breathing CS 3D LGE might be a suitable alternative to conventional breath hold 2D LGE for assessment of LGE for patients who cannot tolerate breath hold.

研究分野：心臓MRI

キーワード：心臓MRI Compressed Sensing

1. 研究開始当初の背景

遅延造影(Late Gadolinium Enhancement; LGE) MRI は、ガドリニウム造影剤を投与後、約 10 分程度してから撮像することで、心筋梗塞や心筋線維化を高信号な造影域 (Late Gadolinium Enhancement ; LGE) として描出できる心臓 MRI における代表的なシーケンスである。LGE は病理組織学的な梗塞巣の拡がりと非常に一致することが知られており、LGE MRI は、その高い空間分解能から、核医学検査で描出困難な内膜下梗塞や小さな線維化も正確に描出することが出来る。LGE 画像の取得には正常心筋が無信号となるタイミングを使って、障害心筋と正常心筋の造影コントラストを増強させた画像を再構成する Inversion Recovery (IR) 法が用いられることが多い。IR 法には大きく分けて任意の断面を 2D で取得する方法と心筋をボリュームデータとして 3D で撮像する方法が知られており、一般的には 2D 法で複数回の息止めを併用して撮像されることが多い。両者はそれぞれに特徴を有しているが、2D 法は遅延造影領域を高いコントラストで描出できる反面、画像がボリュームデータではないためその連続性や広がり診断にはやや難があり、小病変を見逃すリスクがある。また、複数回の息止めを患者に強いるため、息止めが難しい患者では画質が大きく低下し診断に支障を来す恐れがある。一方、3D 法は、ボリュームデータでの撮像のためデータの欠損が少ない高空間分解能な画像が得られるが、腹部の動きの少ない呼気のタイミングでのデータのみを画像に使用するのでデータ収集効率が悪く、それにより、通常 10~20 分の撮影時間を要する。遅延造影 MRI において撮影時間が長いと、撮影中に心筋に取り込まれた造影剤の洗い出しが進むため画像コントラストの低下が懸念される。また、長時間の撮影は患者の身体的負担も加わってしまう。これらの現状から、遅延造影撮像は長らく両者の長所を同時に生かす、すなわち 3D でボリュームデータを息止めなしで高速撮像する方策が検討されてきたが、現在までに目立った成果は得られていない。しかし近年、MRI 領域では新たな高速撮像技術である Compressed Sensing (CS) が登場した。CS とは、ランダムにサンプリングされたごく少数の画像データから、反復計算によって本来の画像を復元する数学的手法である。この方法を用いると高速化による画質の劣化を最小限に抑えることが可能で、頭部をはじめと様々な分野の MRI にも盛んに導入され注目されている。最近まで動的臓器である心臓分野への応用は技術的な難しさ故にほとんど行われてこなかったが、我々は世界に先駆けて心臓の壁運動評価 (Cine MR) に関して CS による撮像高速化を報告した (Kido T et al, J Cardiovasc Magn Reson. 2016 Aug;18 (1):50.)。さらに撮像時間が MRI 検査の中で最も冗長な冠動脈 MRA に関しても CS を用いた大幅な検査時間短縮を報告した (Nakamura M et al, Eur J Radiol. 2018 Jul;104:43-48.)。これらの経験から我々は前述した最適な遅延造影撮像には CS を用いることが有用でないかと考えた。CS はその特性から、3D 撮像など元データ量が多い撮像に有用であり、我々の初期経験でも CS を用いた自由呼吸下の LGE 撮像は、通常の 2D 撮像に比して、大幅に検査時間短縮が可能であり、高い画像コントラストを有する良好な LGE 画像の取得が可能であった。

2. 研究の目的

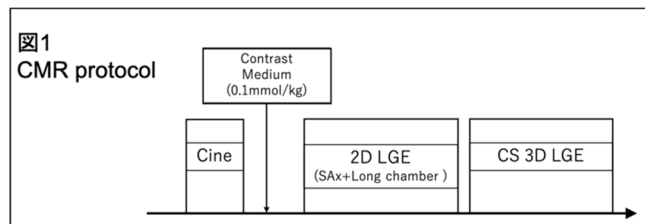
本研究の目的は CS を併用した 3D 遅延造影 MRI の有用性を従来の 2D 撮像法と比較検討することである。CS を用いてボリュームデータで遅延造影を撮像できれば、従来に比して小病変の検出能が向上し、心筋障害の早期発見にもつながると考えられる。また、動的臓器である心臓を息止

めの必要なく撮像できることは、患者負担の大きな軽減につながり、検査成功率の上昇にも寄与すると考えられる。CS を用いて心臓 MRI を撮像できる施設は世界的にみても限られており、本研究によって最適な遅延造影の撮影・評価法が見出されることで臨床応用に繋がることが期待される。

3. 研究の方法

まず CS 3D LGE に関して、自由呼吸下で最適画質を得られるパラメータを検討し、Acceleration factor は 7.2 倍程度とすることが適当と思われた。また、スライス厚は 1.4mm に設定した。

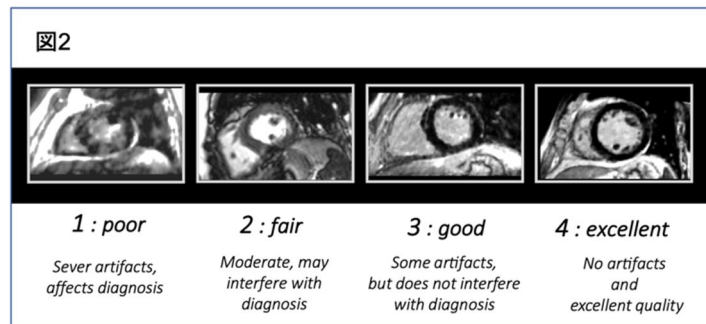
次に構築したパラメータを用いて撮像した画像を、従来の 2D 画像をゴールドスタンダードとし、遅延造影の分布やボリュームを比較検討した。対象は当院で虚血性もしくは非虚血性心疾患を疑われた連続 91 症例で、従来通り 2D



LGE を撮影した後に CS 3D LGE を追加撮影した (図 1)。得られた 3D 画像は 2D 画像と同じ角度かつ同じスライス厚になるよう再構成し、撮像時間、

Image quality、遅延造影領域のボリュームに関して各々比較した。Image quality は 4 段階 (1:poor, 2:fair, 3:good, 4:excellent) にスコア化し、2 名の診断医が視覚的に評価した (図 2)。遅延造影領域のボリュームは 2D LGE で増強効果があった 51 症例を対象とし、左室心筋全体の重量に対する造影増強された心筋重量の割合と定義した。統計ソフトは、JMP version 13 (SAS Institute) を使用、撮像時間、Image quality、遅延造影領域のボリュームは Wilcoxon

matched-pairs signed-rank test を用いて比較した。また、それぞれの遅延造影領域のボリュームは、linear regression と Bland-Altman analysis を用いて相関性および一致性を検討した。臨床研究計画書は院内臨床研究倫理審査



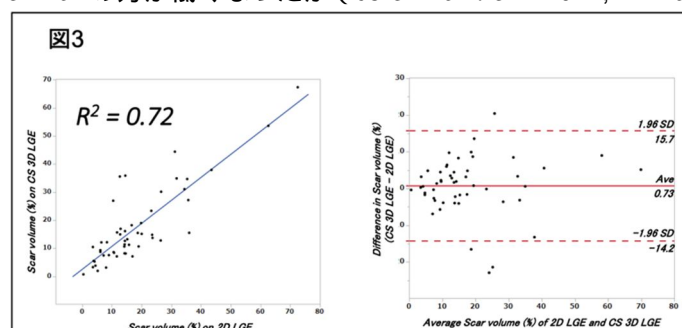
委員会に提出され、承認された (受付番号 1907009 号)。

4. 研究成果

(1) 撮像時間は両者に有意差は認められなかった (CS 3D LGE : 388 ± 114 s; 2D LGE : 411 ± 130 s, $p=0.391$)。

(2) Image quality は、有意に CS 3D LGE の方が低くなったが (CS 3D LGE : 3.1 ± 0.7 ; 2D LGE : 3.5 ± 0.6 , $p<0.001$)、両者の平均スコアはともに診断に影響を与えないと思われる 3 点以上であった。

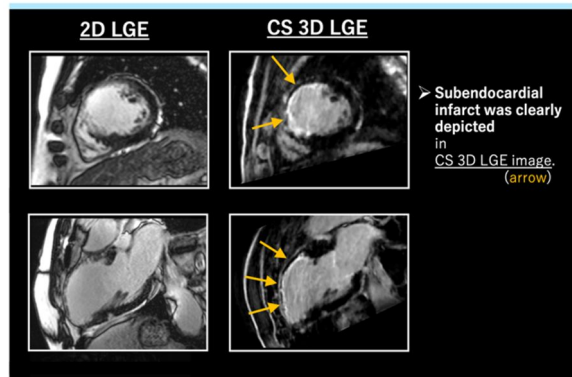
(3) 遅延造影領域のボリュームは両者に有意な差は認められず (CS 3D LGE : 19.2 ± 16.2 %; 2D LGE :



18.0 ± 14.2 %, $p=0.473$)、良好な正の相関が認められた ($R^2=0.72$) (図 3)。

以上の結果より、CS を用いた 3D LGE は診断に十分評価可能な画質を維持したまま、従来の 2D LGE と比較して同等の遅延造影の診断能を有することが示唆された(図 4)。本研究では検査時間の有意な短縮は得られなかったが、息止めなしの自由呼吸下で従来と同等の遅延造影画像を得られることは患者負担の軽減という点で大きなメリットになると思われる。また、心疾患や呼吸器疾患の併存のため息止め不良例も多く、従来の 2D LGE では呼吸のアーチファクトで評価が困難であった患者に対しても適応の拡大が期待される。今後は、評価可能で良好な画質を維持しつつ、さらなる検査時間短縮や患者負担軽減にこれらの新しい技術の応用が望まれる。

図4 52-year-old man with OMI (LAD #6 CTO)



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 末国宏、中村壮志、白石泰宏、城戸倫之ら
2. 発表標題 Clinical Usability of Free Breathing Three-Dimensional Late Gadolinium Enhancement Cardiovascular Magnetic Resonance using Compressed sensing
3. 学会等名 第77回日本放射線技術学会総会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masashi Nakamura, Hiroshi Suekuni, Ryo Ogawa, Tomoyuki Kido, et al.
2. 発表標題 Clinical Usability of Free Breathing Three-Dimensional Late Gadolinium Enhancement Cardiovascular Magnetic Resonance using Compressed sensing
3. 学会等名 Radiological Society of North America 2021 (国際学会)
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
---------	---------