

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：32633

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K15645

研究課題名(和文) 圧縮センシング技術を用いた臨床用MRIの至適撮像条件の検討および臨床応用

研究課題名(英文) Optimization and clinical application of MRI using compressed sensing technology

研究代表者

野崎 太希 (NOZAKI, Taiki)

聖路加国際大学・聖路加国際病院・副医長

研究者番号：80769646

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)：圧縮センシングを用いた頭部・脊椎・腹部・関節のMRIの至適撮像条件を構築し、臨床応用を可能とした。圧縮センシングを用いることで、読影に支障のない範囲において、頭部や腹部、関節領域において圧縮センシングを用いない通常のMRI撮像の撮像時間を10-30%短縮することが可能となった。磁場強度の低いMRI装置においても圧縮センシングを用いることで、圧縮センシングはできないが磁場強度の高いMRI装置と同程度の画質を出すことも可能であった。また体動がみられやすい小児において圧縮センシングを用いた頭部MRIにより画質を担保しながらアーチファクトの低減および撮像時間の短縮が可能であることを示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今回の結果から、圧縮センシングを用いたMRI撮像法が日常診療へ普及することで、疼痛のある患者や小児患者、閉所恐怖症患者など長時間のMRI検査に支障がある患者において、従来までの画質を担保したまま、撮像時間を短縮し、患者の苦痛の軽減や鎮静剤の使用といった侵襲を低減することが可能といえる。

また、非常に高分解能で詳細なMRI画像を提供する必要がある場合にも、圧縮センシング使用による撮像時間の短縮分を、他の撮像パラメーターで調整し分解能やコントラストを上昇させ、従来の撮像時間で従来よりも高画質のMRI画像を提供することが可能となり、臨床的・社会的に意義が大きいと考える。

研究成果の概要(英文)：Optimal imaging conditions for MRI of the brain, spine, abdomen, and joints using compressed sensing were constructed, enabling clinical application. By using compressed sensing, it has become possible to reduce the imaging time of routine MRI imaging without compressed sensing in the head, abdomen, and joint areas by 10-30% within the range that does not interfere with image interpretation.

By using compressed sensing even on MRI with a low magnetic field strength, it was possible to obtain the same image quality as MRI with a high magnetic field strength without compressed sensing. In addition, it was shown that it is possible to reduce artifacts and shorten the imaging time while ensuring image quality by brain MRI using compressed sensing in children who are prone to body movement.

研究分野：放射線診断学

キーワード：MRI 圧縮センシング 撮像時間短縮 画質向上 アーチファクト低減

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

外傷や意識障害、急性腹症などの救急疾患では短時間で広範囲に撮影できる CT が画像診断の中心であるが、脊髄や中枢神経、関節領域、腹部臓器の詳細な評価には高解像度かつ高コントラストで撮像のできる MRI が診断の要となる。しかし、MRI は撮像時間が CT と比べても圧倒的に長く、さらに MRI 装置の狭い空間内に閉じ込められるため、急性病変を含む疼痛のある患者や小児患者、閉所恐怖症の患者などでは苦痛が多く、鎮静剤の使用が必要になったり、検査を途中で中止せざるを得ない状況になったりすることがしばしば経験される。またそのような患者では検査が完遂できたとしても、体動によるアーチファクトのために画質不良を生じることも多い。また呼吸による動きの影響を抑えるために、腹部の MRI 撮像では長い息止めを必要とすることがあり、MRI においてはできる限り検査時間の短縮が望まれている。その一方で中枢神経・脊椎や関節領域、腹部臓器などでは病理組織像に迫るような高分解能で詳細な解剖構造の描出も望まれている。つまり、MRI は撮像時間の短縮と高分解能の追求という二つの相反する事項が日常診療で求められている。

そのため、パラレルイメーシングをはじめとする高速撮像法の研究や MRI 装置の送受信コイルの改良、磁場強度の向上による高精細化の研究が盛んに行われてきた。その中でも近年、すべてを観察せずできるだけ少ない観察からデータを復元する「圧縮センシング」技術が数学やコンピューター科学、天文学などの大量のデータを扱う分野で、急速に研究されてきた。MRI 画像はデータの特性から圧縮センシングを適用しやすいとされ、近年のトピックスの一つである。この圧縮センシング技術はこれまでは基礎研究用 MRI 装置でのみ撮像が可能であったが、近年、臨床用 MRI 装置で実装されるようになった。しかし、臨床例でのデータは研究開始当初はほとんどなく、実用化のための撮像条件の設定や画像評価が必要な状況であった。

同撮像手法の日常診療への普及が実現すれば、疼痛のある患者や小児患者などで長時間の MRI 検査に支障がある場合でも、撮像時間の短縮により患者の安静を保ちつつ、体動による画質不良を極力減らすことができる。そして、従来までの画質を担保したまま正確な画像診断へとつなげ、患者の苦痛や鎮静剤の使用を減らすことを可能とする。また逆に、非常に高分解能で詳細な画像診断が必要な場合には、圧縮センシング使用による撮像時間の短縮分を、他の撮像パラメーターを調整し高解像化を行うことで、従来の撮像時間で従来よりも高画質の MRI 画像を提供し、さらに正確な画像診断へとつなげることが可能となる。

2. 研究の目的

(1) 圧縮センシング(compressed sensing: 以下 CS)を用いて頭部 MRI/MRA、腹部 MRI/MRCP を日常診療で使用するための至適撮像条件の検討を行うこと

(2) 関節の 3D-MRI 撮像において、CS を用いた磁場強度の低い MRI 装置(1.5T)が(CS を用いない)磁場強度の高い MRI 装置(3.0T)に画質で同等になりえるかを検討すること

(3) 小児の頭部 MRI に CS を用いて撮像時間の短縮を行いつつ、画質が担保されるかを検討すること

3. 研究の方法

研究対象者

いずれの研究においても IRB を取得後に、(1) は健常ボランティア 5 名、(2) は健常ボランティア 20 名、(3) は小児科から病変の検索や評価目的で頭部 MRI が必要とされた 69 名の小児患者を対象とした。

検討項目

(1) については、CS の acceleration factor を変化させて MRI を複数回撮像し、CS を用いない Full sampling 画像を reference standard として、それぞれの画質評価を行い、読影に支障のない範囲で撮像時間短縮がどこまで可能であるかを検討した。

(2) については、肩関節 3D-MRI において同一被験者で同一メーカーの 1.5T と 3T の MRI 装置で斜冠状断の T2WI-FS を CS を用いない 3T, CS を用いた 1.5T, CS を用いない 1.5T でそれぞれ撮像し、肩関節の主要な解剖構造を 0-4 点の 5 段階評価で点数化、さらに relative signal intensity(rSI)と relative contrast を計算し、一元配置分散分析にて統計解析した

(3) については、同一患者に CS を用いた 3D-T1WI(撮像時間 3 分 43 秒)と CS を用いない reference standard となる 3D-T1WI(撮像時間 5 分 15 秒)を撮像し、髄鞘化を含め主要解剖構造の信号強度の 4 段階スコアでの定性評価と CNR, SNR の定量評価を行った。またアーチファクトの程度と頻度を点数化したのちに、これらの値について 2 群間で統計解析による有意差検定を行った。

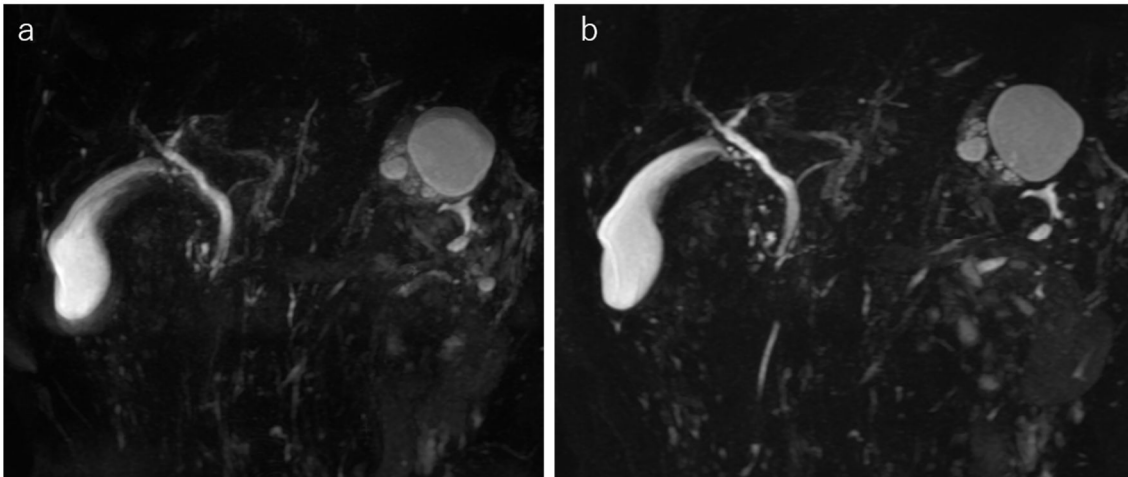
4. 研究成果

(1) 頭部 MRI/MRA において、読影に支障がない範囲での CS acceleration factor は 1.2-1.5 の範囲であり、reference standard である CS を用いない撮像に対して、12.5-38.4% の撮像時間短縮が可能であった。

腹部 MRI/MRCP においては、CS acceleration factor は 1.4-1.5 の範囲とすることで、reference standard である CS を用いない撮像に対して、32.8-44.3% の撮像時間短縮が可能となった。CS を用いない通常撮像に対して、2 群間の画質に有意差がみられなかったものの、呼吸同期が不要になり、むしろ画質が向上する傾向であることが示された(図 1)。その理由は短時間で撮像することで呼吸が安定している時間で検査を終了できることに起因するであろう。

以上からは CS を用いた MRI シーケンスは撮像時間短縮ならびに画質向上に有用であると言え、臨床的価値が高いと考えられた。

図 1 腹部 MRCP (a) full sampling, 撮像時間 3 分 12 秒 (b) CS factor 1.5, 1 分 47 秒

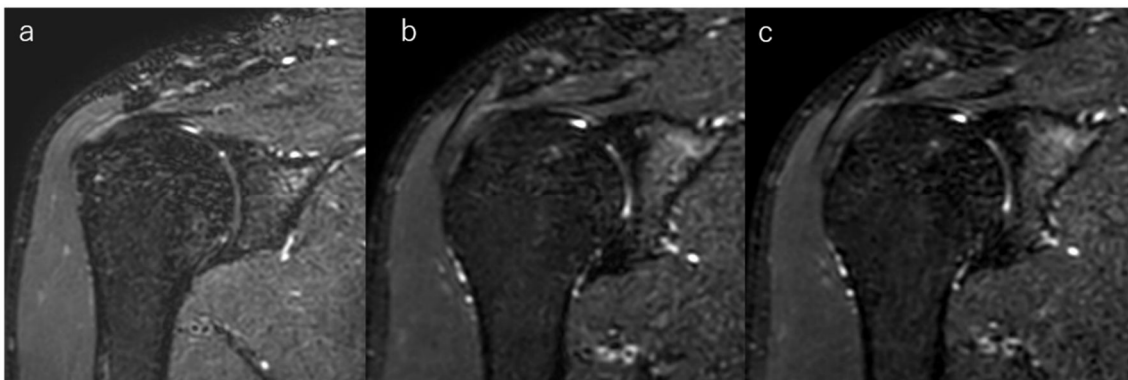


(2) 肩関節 MRI でみられる腱板、骨、関節液、関節唇、筋肉いずれも描出能は、CS を用いた 1.5T と通常の CS を用いない 3T-MRI の間で有意差はみられなかったが、CS を用いない通常の 1.5T-MRI は通常の 3T-MRI に比べて、筋肉の描出能が有意に低かった ($p < 0.05$)。つまり、CS を用いていることで従来の撮像時間のままで、画質向上を行うことが可能であった(図 2)。

定量評価においては、CS を用いない 3T 撮像に比べて、CS を用いた 3T-MRI 撮像では骨の rSI が CS を用いない 3T 撮像よりも有意に高かった ($p < 0.05$) が、他の解剖構造の rSI および relative contrast とともに有意差はみられなかった。

以上からは、低磁場 MRI 装置においても CS を用いることで、高価な高磁場 MRI 装置と同等の画質を生み出すことができ、臨床的に有用であると考えられた。

図 2 肩関節 3D-MRI 撮像 (a) 3T with full sampling (b) 1.5T with CS (c) 1.5T without CS



(3) CS を用いた 3D-T1WI 撮像は CS を用いない通常の同撮像において、29%の時間短縮が可能であった。CS なしの 3D-T1WI と CS ありの 3D-T1WI において側脳室下角レベルの中小脳脚と側頭葉先端部白質、Monro 孔レベルの内包後脚、脳梁膝部、脳梁膨大部、前頭葉白質、後頭葉白質の信号強度には有意差はみられなかった。

アーチファクトについては、CS ありの 3D-T1WI の方が、CS なしの 3D-T1WI に比べてアーチファクトが有意に少なかった(2.3 vs 1.9)。また、これら 2 群間での解剖構造の SNR, CNR については有意差を認めなかった。

以上からは、CS を用いた頭部 MRI の 3D シーケンスは小児において日常診療に応用可能であり、撮像時間の短縮とアーチファクトの低減に有用であるといえる。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Tasaki A, Nozaki T, Morita W, Kobayashi D, Phillips B, Kitamura N.	4. 巻 22
2. 論文標題 The relationship between high-signal intensity changes in the glenohumeral joint capsule on MRI and clinical shoulder symptoms.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol.	6. 最初と最後の頁 27-33
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.asmart.2020.06.001. eCollection 2020 Oct.	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
1. 著者名 荒井 学、野崎太希、陣崎雅弘	4. 巻 41
2. 論文標題 【関節の解剖を再考する -正常&疾患Case Review-】肩関節MRI	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 画像診断	6. 最初と最後の頁 61-71
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 無
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 堀内沙矢、野崎太希、二村昭元、吉岡 大	4. 巻 41
2. 論文標題 【関節の解剖を再考する -正常&疾患Case Review-】手関節MRI	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 画像診断	6. 最初と最後の頁 73-83
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 無
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 Akiyama Shimpei, Nozaki Taiki, Tasaki Atsushi, Horiuchi Saya, Hara Takeshi, Yamada Kei, Kitamura Nobuto	4. 巻 Online ahead of print
2. 論文標題 Longitudinal MR quantification of the fat fraction within the supraspinatus and infraspinatus muscles in patients with shoulder pain	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Academic Radiology	6. 最初と最後の頁 なし
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.acra.2022.02.011	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

1. 著者名 Ochi Junko, Nozaki Taiki, Nimura Akimoto, Yamaguchi Takehiko, Kitamura Nobuto	4. 巻 40
2. 論文標題 Subchondral insufficiency fracture of the knee: review of current concepts and radiological differential diagnoses	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Radiology	6. 最初と最後の頁 443 ~ 457
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11604-021-01224-3	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 該当する

1. 著者名 Tasaki Atsushi, Morita Wataru, Nozaki Taiki, Yonekura Yuki, Saito Masayoshi, Phillips Barry B., Kitamura Nobuto	4. 巻 9
2. 論文標題 Arthroscopic Bankart Repair and Open Bristow Procedure in the Treatment of Anterior Shoulder Instability With Osseous Glenoid Lesions in Collision Athletes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Orthopaedic Journal of Sports Medicine	6. 最初と最後の頁 なし
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/23259671211008274	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15件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Arai M, Nozaki T, Horiuchi S, Sato T, Hirano M, Funada S, Hara T, Tasaki A, Kitamura N, Jinzaki M, Kurihara Y
2. 発表標題 Evaluation of kinematics and image quality of thoracic outlet during humeral elevation in normal volunteers using 3D-MRI with compressed sensing.
3. 学会等名 ISMIRM2020 (28th annual meeting), web meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 目黒智子、田崎 篤、野崎太希、玉置大恵、有本達也、北村信人
2. 発表標題 肩関節包靭帯のMRI高輝度変化所見の診断的信頼度の調査
3. 学会等名 第47回日本肩関節学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野崎太希
2. 発表標題 脊椎関節炎(SpA)の画像診断
3. 学会等名 第64回日本リウマチ学会総会・学術集会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野崎太希
2. 発表標題 肩関節の解剖と画像診断
3. 学会等名 骨軟部放射線診断セミナー2020 Special Live Seminar
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野崎太希
2. 発表標題 LFSサーベイランスとしての画像診断
3. 学会等名 第23回遺伝性腫瘍セミナー Web(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野崎太希
2. 発表標題 手関節の画像診断
3. 学会等名 ミッドウインターセミナー2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野崎太希
2. 発表標題 脈管異常の画像診断update
3. 学会等名 第23回関西Radiology Update講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nozaki T, Horiuchi S, Nimura A, Tasaki A, Kitamura N, Akita K, Kurihara Y, Yoshioka H
2. 発表標題 Utility of radial reformatted images created from 3T high-resolution 3D wrist MRI in evaluation of the radioulnar ligaments.
3. 学会等名 ISMRM2019 (27th annual meeting), Montreal, Canada (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平野美樹、野崎太希、船田重和、佐藤崇翔、荒井 学、堀内沙矢、陣崎雅弘、栗原泰之
2. 発表標題 胸郭出口症候群におけるMRI撮像の方法論および診断法の確立
3. 学会等名 第47回日本磁気共鳴医学会大会 熊本
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野崎太希
2. 発表標題 手関節の画像診断
3. 学会等名 第30回骨軟部放射線診断セミナー 仙台 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野崎太希
2. 発表標題 TFCCのMRI診断
3. 学会等名 第47回日本磁気共鳴医学会大会 熊本（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野崎太希
2. 発表標題 解剖と動態を意識した関節MRIの考え方
3. 学会等名 第40回岡山MRI撮像技術研究会 岡山（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野崎太希、船田重和、田中慶幸、原 武史、田崎 篤、北村信人、吉岡 大、栗原泰之
2. 発表標題 1.5T-MRI装置から3T-MRI装置に匹敵する肩関節画像を得ることは可能か？-圧縮センシングを用いた比較-
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 Taiki Nozaki
2. 発表標題 Imaging of wrist -from fundamentals to advanced concepts- “Basic and advanced imaging techniques of the wrist”.
3. 学会等名 Korean Congress of Radiology (KCR) 2018（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nozaki T, Funada S, Horiuchi S, Tasaki A, Hara T, Kitamura N, Yoshioka H, Kurihara Y
2. 発表標題 Getting 3T quality shoulder images from a 1.5T scanner -comparison between 1.5T with compressed sensing and 3T without compressed sensing.
3. 学会等名 International Skeletal Society 45th annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2018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