

心臓 MRI 検査における DLR が T1map に及ぼす 影響の基礎的検討

佐用 将隆 山本 哲也

概 要：近年，心筋症診断における心臓Magnetic Resonance Imaging（以下CMR）の有用性が高くなっている。その中でも，非造影で撮像が可能であるT1mapやT2mapといった定量 mapping 技術は，心筋の線維化，炎症などを推測することが可能なシーケンスである。またDeep Learningを用いた再構成技術（Deep Learning Reconstruction：以下DLR）は，短時間で高分解能な3D撮像が可能となりCMRにおいてもその活用が期待される。

この度，1.5T MRI装置においてDLRを使用し，CMRでT1mapを撮像する機会を得たので，臨床使用を目的にDLR使用時と非使用時でT1mapの数値がどのように変化するか検討を行った。DLRの使用による画質劣化はなかったが，DLRのReduction Factorを上げすぎることによる信号低下の可能性が示唆された。DLRを使用する場合は，あらかじめ健常心筋のT1map値を把握しておく必要があると考えられた。

索引用語：心臓MRI, T1map, Deep Learning

Examination of imaging conditions for T1map using DLR in cardiac MRI

Masataka SAYO and Tetsuya YAMAMOTO

Key words : Cardiac MRI, T1map, Deep Learning

【はじめに】

近年，心筋症診断における心臓Magnetic Resonance Imaging（以下CMR）の有用性が高くなっている。撮像シーケンスの中でも特に注目されているのが，T1mapやT2mapといった定量 mapping 技術である。これらは心アミロイドーシスには特に有用とされ，造影剤を使用せずに撮像が可能で腎機能を考慮する必要がないことが特長の一つである¹⁾。

また，MRI検査においてはDeep Learningを用いた再構成技術（Deep Learning Reconstruction：以下DLR）が活用されるようになってきており，その有用性は計

り知れないものである。例えば，撮像に時間がかかる傾向にあった3D撮像は，短時間で高分解能化が可能となり，また，2D撮像においては信号対雑音比（Signal to Noise Ratio：以下SNR）を担保しながらの短時間撮像が可能となった。CMRにおいてもDLRを活用することで，高分解能化や息止め時間短縮といった恩恵が期待できる。

この度，1.5T MRI装置においてDLRを使用し，CMRでT1mapを撮像する機会を得た。信号を取得する時間（Duration Time）が短くなり，心拍動によるモーションアーチファクトの影響が少なくなることが予想できたが，従来のParallel Imagingの手法で撮像し

たT1mapの数値との妥当性を確認できていなかったため、すぐに臨床使用するに至らなかった。そこで、臨床使用を目的にDLR使用時と非使用時でT1mapの数値がどのように変化するか検討を行った。

【方 法】

〔使用機器〕

1.5T MRI装置 Ingenia ver. 11.1 (Philips社製)、自作ファントム (T1値：1007.4ms, T2値：161.2ms)

蒸留水と塩化マンガン四水和物にて作成した自作ファントムのT1mapを撮像した。従来のPhilips社のParallel Imagingの手法であるSENSEのReduction Factorを1, DLRを用いたParallel Imagingの手法であるAI-CS SENSE (AI-Compressed SENSE：以下AI-CS) のReduction Factorを2, 3, 4と設定した。また, AI-CSについてはDenoising Levelを3段階に変化させたT1mapを撮像した。

①信号値

撮像した画像のファントム内に図1のように関心領域 (ROI) を設定し, Meanの信号を比較した。各条件について5回の撮像を行なっている。

②PSNR

SENSE Factor1を基準としたピーク信号対雑音比 (Peak Signal to Noise Ratio：PSNR) を5回の撮像データから算出した。PSNRは式 (1) によって表され, 2画像間のピクセル差に基づいて算出される²⁾。

$$PSNR=10\log(L^2/MSE) \cdots (1)$$

Lは画像の取りうる最大ピクセル値, MSE (平均2

乗誤差) は, 2画像のピクセル強度差を2乗した平均値である。

〔撮像条件〕

TR：750ms, TE：0.89ms,

FOV：300×300mm,

Acquisition Matrix：176×158,

Slice thickness：10mm,

FA：35°,

Band Width：1076.0Hz,

Parallel Imaging Method：SENSE, AI-CS,

Denoising Level：weak, medium, strong

〔統計解析〕

①Dunnetの多重比較検定 (p <0.05)

②Steel-Dwassの多重比較検定 (p <0.05)

【結 果】

①信号値

それぞれの撮像条件におけるmap上の信号値を図2に示す。AI-CSの使用, AI-CSのReduction Factorを増加させることによって信号は低下する傾向にあった。AI-CS4 (Reduction Factorが4) に至ってはDenoising Levelを上げることで信号が低下した。また, どの条件間においても有意差はなかった。

②PSNR

以下にDenoising Level毎のPSNRを示す (図3)。PSNRはAI-CS4においては低下したが, Denoising Levelによる傾向はなかった。また, どの条件間においても有意差はなかった。

【考 察】

CMRにおいて, T1mapの信号値とはその心筋のT1値として認識される。そのために, 自身の装置, 撮像条件における平均値とSDを健常ボランティアスキャンによって算出し, 臨床データと健常心筋数値との差異を見ていくこととなる。したがって, 信号の平均やバラツキがとても重要である。

今回検証した撮像条件においては, AI-CSを使用すると信号値が低下する傾向にあり, Reduction Factorを上げるにつれてより低下していった。これはParallel Imagingによって取得信号が低下したことによるSNR低下が原因であると考えられる。しかし, DLRを使用することによりReduction Factor増加によるノイズの



図1 自作ファントムに設定したROI

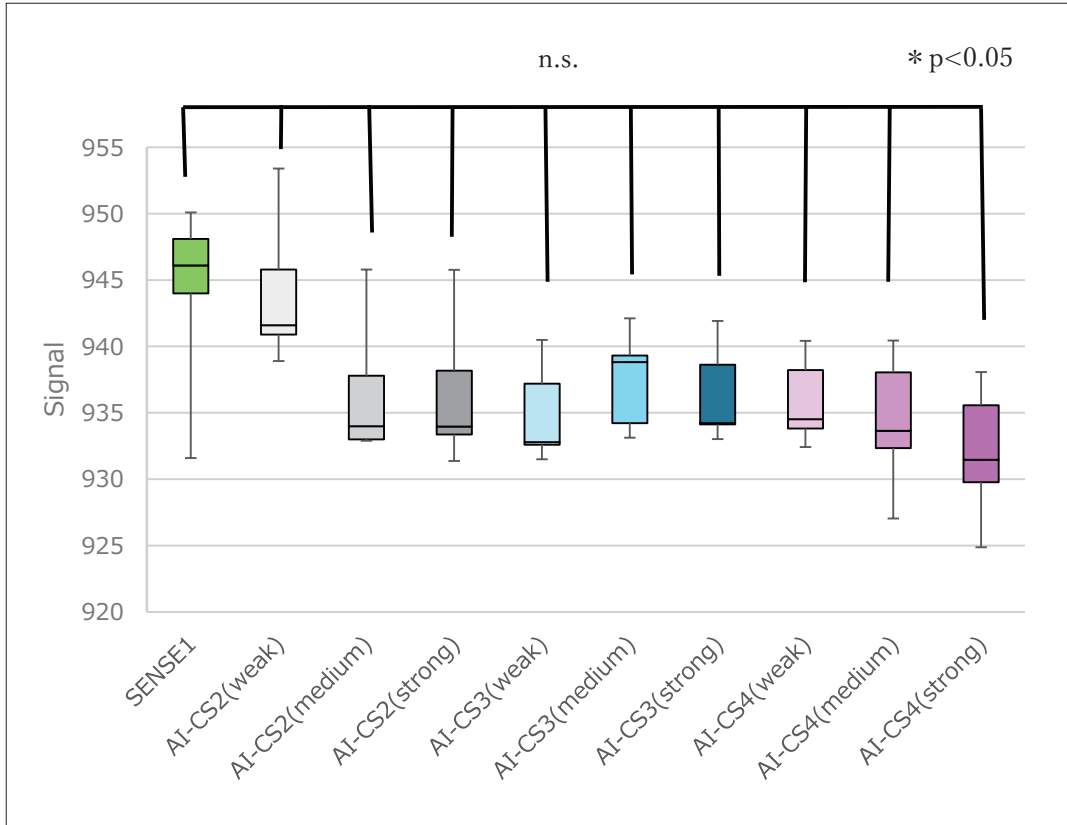


図2 各条件におけるT1mapの信号値

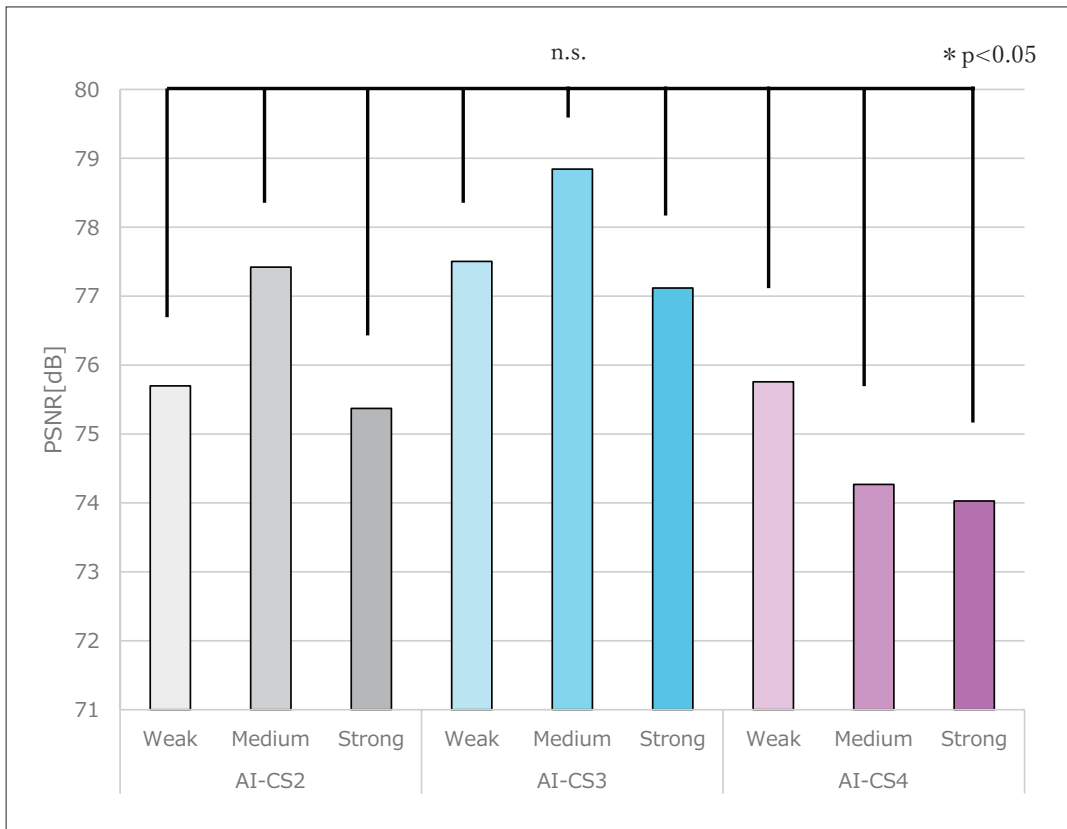


図3 各 Denoising LevelにおけるPSNR

影響が低減されており、Reduction Factor間の信号差が少なくなっている。一方で、AI-CS4ではDenoising Levelを上げることで信号値が低下してきている。これはSNRが低すぎる状況でDeep Learningを強く作用させたことで低値になってしまったためである。以上より、臨床のT1mapでAI-CSを使用すると従来法での健常者の平均値とSDよりも低値となることが懸念される。図2からも、SENSE1とAI-CS使用時の箱の位置が重複するところが少ないため、信号の分布が異なる事がよくわかる。これは、健常者の平均値とSDを基に診断するT1mapにおいては問題となるため、AI-CS使用時の健常者のデータを新たに取得する事が必要であると考えられる。

PSNRにおいて、最も低かったのはAI-CS4 (strong)、最も高かったのはAI-CS3 (medium) である。AI-CS4が最も低値となったことから、AI-CSのReduction Factorをさらに上げると画質劣化が起こってくる事が懸念される。また、式(1)におけるMSEは2画像間の平均2乗誤差であるため、結果①における最大値と最小値の差が少ないAI-CS3がDenoising Levelに関わらず高値となった。数値が低下するほど画質劣化が起こっているといわれるPSNRであるが、非可逆画像における一般値は30-50dBである³⁾ため、今回の結果は一般値と比べても高いものであり、画質劣化の恐れはないと判断することができるため臨床使用しても問題ないものといえる。

【結 語】

心臓MRIにおける定量mapにてDLRを使用することは、モーションアーチファクトの低減、画質の安定を図ることが可能であるが、DLR使用時の健常心筋信号の平均値とSDを再確認してから臨床使用する必要がある。

【参考文献】

- 1) 日本循環器学会, 日本アミロイドーシス学会, 日本血液学会, 他: (循環器病ガイドラインシリーズ) 2020年改訂版心アミロイドーシス診療ガイドライン 5. 1心臓MRI, https://www.j-circ.or.jp/cms/wp-content/uploads/2020/02/JCS2020_Kitaoka.pdf 【2025-08-02】
- 2) AI-Najjar Y, Soong DC: Comparison of Image Quality Assessment: PSNR, HVS, SSIM, UIQI. Int J Sci Eng Res, 2012; 3(8): 1-5
- 3) S Anitha, BS Nagabhushana: Quality Assessment of Resultant Images after Processing. Comput Eng Intell Syst, 2012; 3(7): 105-112

(受付日: 2025年8月20日, 掲載決定日: 2025年11月14日)