



Utility of Thin-slice Fat-suppressed Single-shot T2-weighted MR Imaging with Deep Learning Image Reconstruction as a Protocol for Evaluating the Pancreas

島田, 隆史

(Degree)

博士 (医学)

(Date of Degree)

2025-03-25

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第9051号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100496332>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



(課程博士関係)

学位論文の内容要旨

Utility of Thin-slice Fat-suppressed Single-shot T2-weighted MR Imaging with Deep Learning Image Reconstruction as a Protocol for Evaluating the Pancreas

膵臓プロトコルにおける深層学習画像再構成を用いた薄層脂肪抑制併用
シングルショット T2 強調画像の有用性

(指導教員：神戸大学大学院医学研究科医科学専攻放射線医学分野
先進医用画像診断学 村上 卓道 教授)

島田 隆史

【 目的 】

腹部 MRI において、T2 強調画像 (T2WI) は日常的に使用される重要なシーケンスの 1 つである。膵臓 MRI では、膵臓がんの検出、膵管の連続性の評価、膵臓の形状評価、肝転移の評価等に用いられる。従来の T2WI シーケンス (FSE) では、撮像時間が長いこと、呼吸の動きや臓器の蠕動運動に伴うアーチファクトが発生し、比較的小さい膵臓のような臓器に対して、精度の高い画像取得が困難な例を経験する。Single-Shot T2WI (SSFSE) は、エコートレイン数を大幅に増やし撮像時間を短縮することで、動きによるアーチファクトを大幅に改善することが可能である。しかし、T2 減衰やエコートレインの延長に伴い、Signal-to-Noise Ratio (SNR) の低下、T2 コントラストが悪くなるというトレードオフがある。また、病変の相対的コントラストの向上や、腹壁脂肪からのアーチファクト軽減のため、脂肪抑制を併用すると SNR が低下し画像の劣化を認める。さらに、膵臓に合わせてスライス厚を薄くすると、さらに SNR が低下してしまうというのが現状であった。近年、深層学習画像再構成 (DLIR ;Deep Learning Image Reconstruction) が MRI の臨床機にも導入され、AI 技術によってノイズを大幅に軽減し、画質の劣化を抑えることが可能となった。先行研究として、肝臓において DLIR を使用した SSFSE の臨床的有用性が報告されており、画質および病変の視認性の向上が報告されている。しかし我々が知る限り、膵臓を目的とした DLIR を使用した脂肪抑制 SSFSE の報告はない。本研究では、DLIR を併用した薄層脂肪抑制 SSFSE が、画質および膵臓がんの病変コントラストをどのように改善するかを調査することを目的とした。

【 方法 】

・対象

本研究は、単一施設で実施された後ろ向き研究で、2021 年 1 月から 2022 年 9 月の間に膵臓がんと診断された 42 名の患者 (男性 27 名、女性 15 名、平均年齢 70.2 ± 10.8 歳、範囲 43~90 歳) を対象とした。全ての患者において、ガドキセト酸ナトリウムを用いた MRI 検査 (EOB-MRI) が施行され、内視鏡超音波ガイド下生検や手術により膵臓がん (膵頭部 31 例、膵体尾部 11 例) が確認されている。

・MRI 撮像方法

MRI 検査は、3.0T の MRI スキャナー (SIGNA Premier, GE Healthcare) を用いて行われ、21 チャンネルの Anterior Coil と 60 チャンネルの Posterior Coil を使用して撮像した。各患者に対して、(1) FSE 6mm スライス厚 (従来型シーケンス)、(2) SSFSE 6mm スライス厚、(3) SSFSE 3mm スライス厚の 3 種類のシーケンスにおいて、脂肪抑制を併用した T2WI を取得した。これらの画像は、ガドキセト酸ナトリウム (造影剤、Primovist, Bayer Pharma) を投与してから 3 分後に取得し、撮影順序をランダム化する。

ることで、造影剤による T2 短縮効果のタイミングバイアスがないように配慮した。SSFSE の撮影では、可変リフォーカスフリップアングルとパラレルイメーシング技術を用いて T2 減衰を最小限に抑える撮像条件とした。撮影後、全ての元画像に対して DLIR を使用した画像再構成を行い、3 シーケンスで合計 6 種類の画像を取得した。

・定量的画像解析

定量的画像解析では、診療放射線技師と腹部画像診断の経験を持つ放射線科医が行った。各患者の 6 種類の画像に対して、肝臓、脾臓、脾臓がん、脊髄傍筋、腹腔内脂肪に楕円形の関心領域 (ROI) を設定し、信号強度 (SI) と標準偏差 (SD) を測定した。これらの測定値より、DLIR を使用した場合と使用しない場合の SNR を算出し、DLIR 適用による SNR 増加率を算出した。また、脾臓と脾臓がんのコントラスト比を算出した。

・定性的画像解析

定性的画像解析では、21 年および 17 年の経験を持つ 2 名の腹部放射線科医が、DLIR を適用した各シーケンスの画像を 5 段階で評価した。評価項目は、呼吸によるモーションアーチファクト、脾実質の鮮明度、脾管の明瞭性、病変の視認性、脂肪抑制の均一性、および全体的な画像品質とした。読影には、各画像の取得順序や脾臓がんの位置情報に関する情報を付与せず、完全に盲検化した。

・統計解析

各データの正規性は Shapiro-Wilk 検定で確認し、測定された連続変数は平均 $\pm$ 標準偏差で表示した。DLIR を使用した場合と使用しない場合において、各シーケンスの SI および SNR の比較に、対応のある t 検定を用いた。また、脾臓と脾臓がんのコントラスト比は Friedman 検定と Dunn の多重比較検定で解析した。また、読影者間の一致度 (ICC) を Cohen の加重カッパ統計量で算出した。

【 結果 】

・定量的画像解析の結果

DLIR を使用した T2WI は、全ての撮影シーケンスにおいて、使用しない場合と比較して SNR が有意に向上した ($P < 0.001$)。DLIR を併用することで、脾臓における SNR は FSE 6 mm で 19%、SSFSE 6 mm で 30%、SSFSE 3 mm で 63% の向上を認めた。SSFSE 3 mm の SNR 増加率は、脾臓や脾臓がんにおいて、他のシーケンスよりも高値となった。また、脾臓と脾臓がんのコントラスト比も SSFSE 3 mm が最も高く、FSE 6 mm と SSFSE 6 mm と比較して有意に高値であった ($P=0.03$, $P < 0.001$)。

・定性的画像解析の結果

定性的評価では、視覚評価のすべての項目において、FSE 6mm と SSFSE 6mm と比較して SSFSE 3 mm が有意に高い結果であった ($P < 0.001$)。呼吸によるモーションアーチファクトは、SSFSE 3 mm および SSFSE 6 mm が FSE 6 mm よりも少なくなった。脂肪抑制の均一性については、SSFSE 3 mm および SSFSE 6 mm が FSE 6 mm よりも良い値となった。

【 考察 】

DLIR は、MRI 画像の SNR を向上させ、特に SSFSE 3 mm ではその効果が顕著であった。これは SSFSE 3mm が元画像の SNR が低いため、ノイズ低減効果が高くなったためだと考える。また、SSFSE 3mm において、膵臓と膵臓がんのコントラスト比が向上した理由は、薄いスライス厚にすることでパーシャルボリューム効果が軽減されたためだと考える。SSFSE は視覚評価からも、動きに対して強いロバスト性を持ち、呼吸や腸管の蠕動運動によるモーションアーチファクトを最小限に抑えることが可能であることが示唆される。また、膵実質の鮮鋭度や膵管の明瞭性の向上は、病変の詳細な評価につながることを示唆される。DLIR を使用することで、薄いスライス厚の画像でも SNR が高く保持できることから、診断精度を向上させる可能性があると考えられる。これらのことから、SSFSE 3 mm の画像は、膵臓がんの早期発見や病態評価の精度の向上に寄与し、患者の治療方針決定にも貢献することができると考えられる。今後は、さらなる大規模な研究や他施設での検証が必要となるが、本研究の結果は膵臓 MRI における新しい可能性を示す重要な知見であり、膵臓 MRI における新しい標準シーケンスとしての可能性があると考えられる。

【 結論 】

本研究では、DLIR を用いた薄層脂肪抑制併用 SSFSE 3 mm の有効性が明らかにした。SSFSE 3 mm は、従来のシーケンスと比較して、膵臓や膵臓がんの SNR および病変コントラストを向上させ、全体的な画像品質を大幅に改善する。また、動きに対するロバスト性も高く、呼吸や消化管の動きによるアーチファクトを抑制しつつ、高解像度の画像を取得可能である。本研究の結果から、DLIR を使用した薄層脂肪抑制併用 SSFSE 3 mm は、膵臓の MRI プロトコルにおいて非常に有効なシーケンスであることが示された。

論文審査の結果の要旨			
受付番号	甲 第 3431 号	氏 名	島田 隆史
論文題目 Title of Dissertation	Utility of Thin-slice Fat-suppressed Single-shot T2-weighted MR Imaging with Deep Learning Image Reconstruction as a Protocol for Evaluating the Pancreas 膵臓プロトコルにおける深層学習画像再構成を用いた薄層脂肪抑制併用シングルショット T2 強調画像の有用性		
審査委員 Examiner	主 査 福 本 巧 Chief Examiner 副 査 篠 原 正 和 Vice-examiner 副 査 児 玉 裕 之 Vice-examiner		

（要旨は1，000字～2，000字程度）

[目的]

腹部 MRI において、T2 強調画像は日常的に使用される重要なシーケンスの 1 つである。膵臓 MRI では、膵臓がんの検出、膵管の連続性の評価、膵臓の形状評価、肝転移の評価等に用いられている。従来の T2WI シーケンス (FSE) では、撮像時間が長いため、呼吸の動きや臓器の蠕動運動に伴うアーチファクトが発生し、膵臓のような比較的小さな臓器に対して精度の高い画像取得が困難な例を経験する。Single-Shot T2WI (SSFSE) は、撮像時間を短縮することで、動きによるアーチファクトを大幅に改善することが可能であるが、T2 減衰やエコートレインの延長に伴い、Signal - to - Noise Ratio (SNR) の低下や、T2 コントラストが悪くなるという側面を持つ。近年、深層学習画像再構成 (Deep Learning Image Reconstruction; DLIR) が MRI 臨床機に導入され、AI 技術によってノイズを大幅に軽減し、画質の劣化を抑えることが可能となっている。本研究では、DLIR を併用した薄層脂肪抑制 SSFSE が、画質および膵臓がんの病変コントラストを改善するかどうかを調査することを目的とした。

[方法]

1. 対象と MRI 撮像方法

2021 年 1 月から 2022 年 9 月の間に膵臓がんと診断された 42 名の患者 (男性 27 名、女性 15 名、平均年齢 70.2 ± 10.8 歳) を対象とした。MRI 検査は 3.0T の MRI スキャナーを使用し、ガドキセト酸ナトリウムを用いた MRI 検査 (EOB-MRI) が施行された各患者に対して、(1) FSE 6mm スライス厚 (従来型シーケンス)、(2) SSFSE 6mm スライス厚、(3) SSFSE 3mm スライス厚の 3 種類のシーケンスにおいて、脂肪抑制併用 T2WI を取得した。撮影後、全ての元画像に対して DLIR を使用した画像再構成を行い、3 シーケンスで合計 6 種類の画像を再構成した。

[結果]

I. 定量的画像解析

各患者の 6 種類の画像に対して、肝臓、膵臓、膵臓がん、脊髄傍筋、腹腔内脂肪に楕円形の関心領域 (ROI) を設定して、信号強度と標準偏差を測定し DLIR 有無での SNR の算出、DLIR 適用による SNR 増加率を算出した。また、膵臓と膵臓がんのコントラスト比を算出した。DLIR を使用した T2WI は、全ての撮影シーケンスにおいて、使用しない場合と比較して SNR が有意に向上した。DLIR を併用することで、膵臓における SNR は FSE 6 mm で 19%、SSFSE 6 mm で 30%、SSFSE 3 mm で 63%、向上することが明らかとなった。SSFSE 3 mm の SNR 増加率は、膵臓や膵臓がんにおいて、他のシーケンスよりも高値であった。また、膵臓と膵臓がんのコントラスト比も SSFSE 3 mm が最も高く、FSE 6 mm と SSFSE 6 mm より有意に高くなることが明らかとなった。

II. 定性的画像解析の結果

DLIR を適用した各シーケンスの画像を 5 段階で、腹部放射線科医 2 名による視覚評価を行った。評価項目は、呼吸によるモーションアーチファクト、膵実質の鮮明度、膵管の明瞭性、病変の視認性、脂肪抑制の均一性、および全体的な画像品質とし、各画像の取得順序や膵臓がんの位置情報に関する情報はなく、完全に盲検化して行った。視覚評価のすべての項目において、FSE 6mm と SSFSE 6mm と比較して SSFSE 3 mm が有意に高い結果であった。

[総括]

DLIR は MRI 画像の SNR を向上させ、特に SSFSE 3 mm ではその効果が顕著であることが明らかになった。これは SSFSE 3mm が元画像の SNR が低いため、ノイズ低減効果が高くなったためだと考えられる。また、SSFSE 3mm において、膵臓と膵臓がんのコントラスト比が向上しており、薄いスライス厚にすることでパーシャルボリューム効果が軽減されたためだと考えられた。SSFSE は視覚評価からも、動きに対して強いロバスト性を持ち、呼吸や腸管の蠕動運動によるモーションアーチファクトを最小限に抑えることが可能であることが示唆される。また、膵実質の鮮鋭度や膵管の明瞭性の向上は、病変の詳細な評価が可能となることが示唆される。DLIR を併用することで、薄いスライス厚の画像でも SNR が高く保持できることから、診断精度を向上させる可能性がある。

本研究は、DLIR を用いた薄層脂肪抑制併用 SSFSE 3 mm の有効性について研究したものであるが、従来ほとんど行われなかった SSFSE への DLIR 応用は、膵臓がんの早期発見や病態評価の精度の向上に寄与し、患者の治療方針決定にも貢献することが示唆される。本研究の結果は、膵臓 MRI における新しい標準シーケンスとしての可能性を示す重要な知見であり、価値ある集積であると認める。

よって、本研究者は、博士（医学）の学位を得る資格があると認める。