資料

3T-MRIにおける2つの異なる水選択励起法 併用拡散強調画像のオフレゾナンスでの 脂肪抑制法の検討

Evaluation of Fat Suppression of Diffusion-weighted Imaging Using Two Different Spectral Spatial Radio Frequency Techniques in Off-resonance on 3T-MRI

川瀬 俊浩*,中山 修

掛川市・袋井市病院企業団立 中東遠総合医療センター 診療放射線室

Key words: diffusion-weighted imaging (DWI), fat suppression technique, spectral spatial radio frequency (SSRF), off-resonance, 3T-MRI

[Abstract]

The present study evaluates the effectiveness of fat suppression in phantom images on a 3 Tesla magnetic resonance imaging (3T-MRI) using the Spectral Spatial Radio Frequency (SSRF) for both on- and off-resonance Diffusion-weighted Imaging (DWI). Two variants of SSRF, which are the Normal SSRF (SSRF_{Nor}) and Breast SSRF (SSRF_{Bre}), were utilized. The efficacy of fat suppression was investigated by concurrently applying SSRF_{Nor} and SSRF_{Bre} with short tau inversion recovery, chemical shift selective saturation, and adiabatic spectral inversion recovery . We calculated the fat suppression effects, coefficient of variance (CV) in the mean of synthetic value of fat and sucrose aqueous solution, and signal decrease in aqueous solutions. The combined use of the SSRF_{Bre} method reduced chemical shift artifacts in both on- and off-resonance. The CV obtained from using SSRF_{Bre} and SSRF_{Bre} consistently maintained a low CV value in off-resonance (p<0.05). Using the SSRF_{Bre} technique improved the signal decrease in off-resonance aqueous solutions. DWI using the SSRF_{Bre} technique has been suggested as effective for both on- and off-resonance imaging on a 3T-MRI.

【要旨】

3T-MRIで自作ファントムを用い、DWIの脂肪抑制効果をオンレゾナンス・オフレゾナンスに対し、SSRF_{Nor}とSSRF_{Bre}の2種類の水 選択的励起法を用い、STIR、CHESS、ASPIRに併用し脂肪抑制効果、CV、水溶液の信号低下率を評価した。SSRF_{Bre}を併用すると オフレゾナンスでもケミカルシフトアーチファクトが減少した。SSRF_{Bre}とSSRF_{Nor}のCVはオンレゾナンスでは低かったが、SSRF_{Nor} はオフレゾナンスでは悪化し、SSRF_{Bre}はオフレゾナンスでも低く保った。SSRF_{Bre}法を併用したDWIは、オンレゾナンス・オフレゾ ナンスで脂肪抑制効果の向上が示唆された。

緒言

Magnetic resonance imaging (MRI) では, 拡 散強調画像 (diffusion-weighted imaging, DWI) の有用性が報告されており, 画像診断には欠かせない ものとなっている. 救急の撮像においても急性期脳 梗塞の診断に有用とされている¹⁾. 特に3Tesla (3T) -MRIでは, 1.5T-MRIと比較して高分解能の画像が 得られる, 高い信号強度が得られるといったメリット がある²⁾. 一方, DWIには脂肪抑制が不可欠で磁場不 均一の影響を受けやすい, 脂肪抑制不良による画像の 不均一が生じやすい, ケミカルシフトアーチファクト

KAWASE Toshihiro $^{\ast},~$ NAKAYAMA Osamu

Department of Radiology, CHUTOEN GENERAL MEDICAL CENTER

* E-mail : toshihiro.xxkawase@gmail.com

Received August 19, 2023; accepted May 1, 2024

が診断の妨げとなる可能性があるといった問題を生じ る³⁾. 特に3T-MRIでは, 磁場強度が高いことからケ ミカルシフトが大きくなる.比較的磁場が均一な部位, 例えば頭部や膝の撮像においても,皮下脂肪が多い場 合には、3T-MRIでは1.5T-MRIと比較して脂肪組織 からの信号が強くなるという問題が生じる.特に脂肪 と空気との境界では磁場不均一が生じ、これが脂肪抑 制を難しくする.従って3T-MRIにおいて高品質な画 像を得るためには,脂肪抑制技術の工夫が必要となる. DWIによるマルチスライス撮像では、中心スライス の撮像では高い脂肪抑制効果が得られるが、中心スラ イスから離れるほど脂肪抑制効果不良を経験する.こ れらのことにより、特に3T-MRIでは高い脂肪抑制効 果が求められ、脂肪抑制の均一性向上に関してはさま ざまな方法が報告されている4). 周波数選択的パルス を使用した方法, inversion time (TI)の差を利用し た方法,水選択的励起法,水/脂肪分離法がある.周 波数選択的パルスを使用した方法にchemical shift selective saturation (CHESS) 法, 周波数選択的パ ルスとTIの差を併用した方法にadiabatic spectral inversion recovery (ASPIR) 法, TIの差を利用した 方法に short tau inversion recovery (STIR) 法,水 選択的励起を使用した方法に spectral spatial radio frequency (SSRF) 法がある. 3T-MRIにおいては, 一つの脂肪抑制法では十分な脂肪抑制効果を得ること が困難で、複数の脂肪抑制法を併用することで効果の 向上が期待され、CHESS、ASPIR、STIR法にSSRF を併用して均一な脂肪抑制効果を得ることができたと いったことが報告されている⁵⁾. しかしながら, SSRF を併用すると磁場の不均一な所では信号ムラが発生 した報告もある⁶. 当施設が使用している 3T-MRI に は、SSRFを用いた脂肪抑制法にNormal (SSRF_{Nor}) と Breast (SSRF_{Bre}) の2種類のモードが使用可能で ある. SSRF_{Nor}は、励起パルスを二項パルスで分割照 射し水信号を選択的に励起する方法で,均一な静磁場 部位である頭部や骨盤などで使用している方法であ る⁷⁾. SSRF_{Bre}は, 乳腺撮像に使用されている方法であ る.乳房は脂肪を多く含む臓器であり、水に近い共鳴 周波数を持つolefinic fatプロトンを含むと報告され ている⁸⁾. SSRF_{Bre}は,水の共鳴周波数に近いolefinic fat プロトンの脂肪抑制も考慮した撮像法である.また 乳房は、磁場不均一を生じやすい肺野に近い臓器で脂 肪抑制不良を生じやすい. SSRF_{Bre}は、磁場不均一を 生じやすい乳房で使用されていて、マルチスライス撮 像においても中心から離れたスライスほど磁場不均一 を生じており、共鳴周波数の変化を生じる⁹⁾.そこで われわれは、中心から離れたスライスでも SSRF_{Bre}を 他の脂肪抑制法に併用することで、磁場不均一から生 じる脂肪抑制不良の向上に期待できるのではないかと 考えた、本研究では、3T-MRIを使用して磁場不均一 な中心から離れたスライスの脂肪抑制効果を, STIR, CHESS, ASPIR にSSRF_{Bre}を併用したシークエンスで 自作ファントムを用いて, SSRF_{Bre}を他の脂肪抑制法 と併用することにより脂肪抑制効果の向上が得られる かを定量評価したので報告する.

1. 方法

1-1 自作ファントム

自作ファントムには,精製水(健栄製薬,大阪)に スクロース(米山薬品工業,大阪)を加えた1wt%ス クロース水溶液上に油を底面正方形一辺38 mm,高 さ95 mmの四角柱型プラスチック容器に封入したも

А	А	А	А	А	
В	в	в	в	В	← C

Fig.1 Figure of the phantom structure.

Table 1 The phantom composition of Fig.1.

	Phantom	T1 value (ms)	T2 value (ms)
А	Peanut oil	228	78
В	Sucrose aqueous solution	1610	840
С	Gelatin	1597	764

の5個を、スライス方向に14 mm間隔で並べた容器 を幅180 mm, 奥行250 mm, 高さ115 mmのポリ プロピレン容器に入れ,磁化率の影響を軽減させる目 的で周囲を水道水と市販のゼラチン(森永製菓,東京) を2 wt%で固定してファントムとした.油は,人体の 脂肪と magnetic resonance spectroscopyのピー クが近似すると報告のあるピーナツオイル(ユウキ食 品,東京)を使用した¹⁰⁾.ファントムの構成とファン トム材料のT₁値, T₂値を**Fig.1**, **Table 1**に示す.

DWIの頭部や膝の横断像では, 頭尾方向 (SI方向) の長さを150-200 mm程度にすることが多い. 中心 から離れたスライスでは共鳴周波数の変化によってゆ がみを生じ,ファントム撮像では,250 mmの有効視 野ではゆがみが小さいことが報告されている⁹⁾. 当施 設における臨床撮像時は,SI方向の長さを200 mm程 度に基準を設定しており,36 mm四角柱型容器5個を 14 mm間隔で並べ長さを200 mmで作成した.DWI によるマルチスライス撮像ではファントムをSI方向 に配置し,ファントムの中心の容器はオンレゾナンス の脂肪抑制効果を,ファントム両端の容器は中心から 離れたオフレゾナンスの脂肪抑制効果を検討するため に配置し検討を行った.

1-2 撮像方法

使用装置は、3T-MRI (3T Discovery 750w DV 26.1, GE HealthCare, Milwaukee, WI, USA). 受 信 コイルは、quadrature head (QD-HEAD) コ イルを使用した. 撮像シークエンスは、3軸別印加法 の spin echo型 single shot echo planar imaging (EPI)、周波数マトリクス×位相マトリクス 100× 100, repetition time (TR) 8000 ms, echo time (TE) 80 ms, field of view (FOV) 200 mm, slice thickness 4 mm, phase FOV ratio 0.5, receive band width (rBW) \pm 250 kHz, b-value 1000 s/mm², 位相方向A/P, 周波数方向R/L, 撮像 枚数5枚, 加算回数4とした. 各エレメントの中心を通 るようなスライスを測定した. 各撮像において送受信 のgainや中心周波数は一定とした. SSRFを使用の場 合はSSRF_{Nor}のみが使用可能であり, SSRF_{Bre}単独では 脂肪抑制効果の評価はできない. SSRF_{Bre}進DWIのみ で使用可能である. SSRF_{Bre}は最小スライス厚が増加 するため, 今回は最小スライス厚の4 mmを採用した. TIの設定は, 過去の報告を参考に250 msとした¹¹⁾. 本研究における撮像断面は全て横断像で行った.

1-3 脂肪抑制効果の検討

脂肪抑制法10種類 (STIR, STIR+SSRF_{Nor}, STIR+ SSRF_{Bre}, CHESS, CHESS+SSRF_{Nor}, CHESS+ SSRF_{Bre}, ASPIR, ASPIR+SSRF_{Nor}, ASPIR+SSRF_{Bre}, SSRF_{Nor}) で, ファントムをSI方向に配置して, 尾側 をAエレメントとし頭側をEエレメントとして, Cエ



Fig.2 Phantom placement in SI direction.

レメントをオンレゾナンスとし、AおよびEエレメントをオフレゾナンスとして脂肪抑制効果を評価した(Fig.2).

佐藤らの報告を参考に脂肪抑制効果の評価を行 い¹²⁾,スクロース水溶液に生じたケミカルシフト位置 において面内1エレメントの中心に1スライス,5エ レメント計5カ所,撮像回数9回,全部で45カ所に region of interest (ROI)を設定し信号強度を測定 した.同様に,スクロース水溶液上にもROIを設定し た.ROIの設定は可能な範囲で他の信号を含まない場 所を選択した (Fig.3).

MRI経験年数が10年の1人の磁気共鳴専門技術者 がROIの設定を行った.有効性を確認するため,数式 を用いて評価指標を算出し定量的に評価した.

スクロース水溶液に生じたケミカルシフト測定値に はスクロース水溶液と油の信号が含まれるため、以下 の式(1)により油の信号強度比(signal intensity ratio, SIR)を求め脂肪抑制効果の程度を評価した.

 $SIR = |SI_M - SI_W| / SI_W \times 100 (\%)$ (1)

SI_Mはスクロース水溶液+油の信号強度, SI_Wはスク ロース水溶液の信号強度を表す.

1-4 均一性の評価

均一性の評価をするために、10種類の異なる脂肪 抑制法により撮像したDWIから同じ断面に、5カ所 のエレメントそれぞれの中心スライスにROIを設定 し、9回の撮像をした計45個の信号強度を得た。ROI の設定は、脂肪抑制効果の検討と同様にスクロース水 溶液+油に設定した、以下の式(2)により変動係数 (coefficient of variance, CV)を求め脂肪抑制効果 のバラツキを評価した。





Fig.3 ROI setting method.

Sはスクロース水溶液+油の標準偏差, xはスクロース 水溶液+油の信号強度の平均値である.

1-5 オフレゾナンスにおける水溶液信号低下の評価

スクロース水溶液のオフレゾナンスにおける信号低 下率を評価するために、10種類の異なる脂肪抑制法 により撮像したDWIから5カ所のエレメントそれぞ れの1スライスにROIを設定し、9回の撮像をした計 45個の信号強度を得た。ROIの設定は、脂肪抑制効 果の検討と同様にスクロース水溶液に設定した.以下 の式(3)によりエレメントごとにオンレゾナンスの スクロース水溶液信号強度に対する各エレメントのス クロース水溶液信号低下率(signal decrease rate, SDR)を求め、各脂肪抑制法の影響におけるオンレゾ ナンスのスクロース水溶液信号強度に対して各エレメ ントの信号低下率を求め水溶液信号強度の程度を評価 した.値が1に近いほど信号低下がないことを示す.

 $SDR=S_{off}/S_{on}$ (3)

Soffは各エレメントにおけるスクロース水溶液の信号 強度, SonはオンレゾナンスのCエレメントにおけるス クロース水溶液の信号強度である.

1-6 統計評価

差の検定として,分散分析にKruskal-Wallis,多重 比較にSteel-Dwassを用いた. 統計学的有意水準を 0.05で検討し,解析にはEZR v.1.61(自治医科大学 附属さいたま医療センター)を使用した.

2. 結果

2-1 脂肪抑制効果について

SI方向に配置したときの結果をFig.4に示す.STIR とSSRF_{Nor}は、Aエレメント、Eエレメントのオフレゾ ナンスでCエレメントのオンレゾナンスより脂肪信号 が高くなった (p=0.002).STIRは、STIR+SSRF_{Nor} とSTIR+SSRF_{Bre}に対して全てのエレメントで有意に 高くなった (p=0.002-0.031).STIR+SSRF_{Nor}は、A エレメント、EエレメントのオフレゾナンスとCエレ メントのオンレゾナンスで有意差は見られなかった.

CHESS, CHESS+SSRF_{Nor}, CHESS+SSRF_{Bre}, SSRF_{Nor}は, AからEの全てのエレメントで有意差は 認められなかった. またAエレメント, Eエレメント のオフレゾナンスでCエレメントのオンレゾナンスよ り脂肪信号が高くなったが, 有意差が見られたのは SSRF_{Nor}のみであった (p=0.008).

ASPIRとSSRF_{Nor}は、Aエレメント、Eエレメント







Fig.5 Images of fat suppression in A element.



Fig.6 Results of coefficient of variance in SI direction. (a) STIR (b) CHESS (c) ASPIR

のオフレゾナンスでCエレメントのオンレゾナンス より脂肪信号が高くなった (p=0.002). ASPIRは, ASPIR+SSRF_{Nor}とASPIR+SSRF_{Bre}に対して全ての エレメントで有意に高くなった (p=0.002-0.016). ASPIR+SSRF_{Nor}は、Aエレメント、Eエレメントのオ フレゾナンスとCエレメントのオンレゾナンスで有意 差は見られなかった.

Aエレメントにおける各脂肪抑制法の画像をFig.5 に示す.

2-2 均一性の評価について

SI方向に配置したときの結果をFig.6に示す.STIR +SSRF_{Bre}は、全てのエレメントでSTIRに対して変動 係数が有意に低下し(p=0.002)、STIR+SSRF_{Nor}と SSRF_{Nor}に対してAエレメント, Eエレメントで有意 に低下した (p=0.002-0.040). STIRは, BからD エレメントで他の脂肪抑制法に対して有意に上昇した (p=0.002).

CHESS+SSRF_{Bre}は、全てのエレメントでCHESS に対し変動係数が有意に低下し(p=0.002-0.004), CHESS+SSRF_{Nor}とSSRF_{Nor}に対してAエレメント, Eエレメントで有意に低下した(p=0.002). CHESS は、BからDエレメントで他の脂肪抑制法に対して有 意に上昇した(p=0.002).

ASPIR+SSRF_{Bre}は、全てのエレメントでASPIR に対し変動係数が有意に低下し(p=0.002-0.035), ASPIR+SSRF_{Nor}とSSRF_{Nor}に対してAエレメント, Eエレメントで有意に低下した(p=0.002-0.035).



Fig.7 Results of coefficient of variance for 9 ROIs in A element. (a) STIR (b) CHESS (c) ASPIR





学術

ASPIRは, BからDエレメントで他の脂肪抑制法に対 して有意に上昇した (p=0.002-0.016).

Aエレメントの脂肪抑制法のバラツキの結果を Fig.7に示す.STIR+SSRF_{Bre}は,STIR,STIR+SSRF_{Nor}, SSRF_{Nor}に対し変動係数が有意に低下した(p=0.002).

CHESS+SSRF_{Bre}は、CHESS、CHESS+SSRF_{Nor}、 SSRF_{Nor}に対し変動係数が有意に低下した(p=0.002).

ASPIR+SSRF_{Bre}は、ASPIR、ASPIR+SSRF_{Nor}、 SSRF_{Nor}に対し変動係数が有意に低下した(p=0.002).

2-3 オフレゾナンスにおける水溶液信号低下の評価 について

SI方向に配置したときの結果をFig.8に示す.STIR とSTIR+SSRF_{Bre}は、Aエレメント、Eエレメントで STIR+SSRF_{Nor}とSSRF_{Nor}に対し水溶液の信号を有意 に高いレベルで保つことができた(p=0.002).他の エレメント間、脂肪抑制法で全てp>0.05で有意差は 認めなかった.

CHESS と CHESS+SSRF_{Bre}は、Aエレメント、E エレメントで CHESS+SSRF_{Nor} と SSRF_{Nor}に対し水 溶液の信号を有意に高いレベルで保つことができた (p=0.002).他のエレメント間、脂肪抑制法で全て p>0.05で有意差は認めなかった.

ASPIR と ASPIR+SSRF_{Bre}は、Aエレメント、Eエレ メントでASPIR+SSRF_{Nor}と SSRF_{Nor}に対し水溶液の信 号を有意に高いレベルで保つことができた (p=0.002). 他のエレメント間、脂肪抑制法で全て p>0.05 で有意 差は認めなかった.

3. 考察

脂肪抑制を用いた撮像は、特に画像の中心から離れ た撮像の両端、つまり画像の周辺では脂肪の信号が抑 制されず、また脂肪以外の組織信号が抑制される可能 性がある、撮像の周辺ではオフレゾナンス効果により ケミカルシフトアーチファクトが生じ診断の妨げとな る可能性がある¹³⁾. 3T-MRIでは磁化率効果とケミカ ルシフトアーチファクトが強くなる、spin echo型 single shot EPIを使用したDWIでは、位相エンコー ド方向にケミカルシフトが観察される、spin echoで は各TRが独立しているためケミカルシフトは発生し にくいが、EPIの場合は連続する位相方向の傾斜磁場 により、位相差が積算されてしまう. これにより大き な位相差が生じ、ケミカルシフトアーチファクトが発 生する. SSRF_{Bre}法を併用することでSTIR、CHESS、 ASPIR法の全てで先行研究の結果⁵⁾と同様,脂肪抑 制効果が改善された. STIR, CHESS, ASPIR法に SSRFBre法を併用することにより、オンレゾナンス・ オフレゾナンス共にケミカルシフトアーチファクトが 減少し、均一性の向上、水溶液信号の低下を改善する ことができた.この理由として,撮像時の中心周波数 は中心スライスの中心部で調整される. オンレゾナン スでは、中心周波数を適切に調整することで高い脂肪 抑制効果が得られる.一方オフレゾナンスでは、中心 スライスから離れるほど共鳴周波数にズレを生じ脂肪 抑制効果が低下したと考える。通常、水選択的励起法 (SSRF_{Nor}) は二項パルスを(1, 1) または(1, 2, 1) のかたちで使用されており¹⁴⁾, radio frequency (RF)の不均一には強いが静磁場の不均一には弱い¹⁵⁾. 二項パルスの数が少ないとオフレゾナンスでは共鳴周 波数にズレを生じ、このズレにより励起される周波数 帯域が脂肪の共鳴周波数に近づく可能性があり脂肪抑 制効果が低下したと考える. 今回, ファントムの油部 分が空気に接していたことも磁化率の違いで静磁場の 不均一性を助長し¹⁶⁾, SSRF_{Nor}を併用するとオフレゾ ナンスでさらに脂肪抑制不良や水抑制画像となること で、スクロース水溶液の信号の低下が起きたと考えら れる. SSRF_{Nor}を併用した際の脂肪抑制効果の検討で は、オフセンターで脂肪抑制効果が見られなかったの は、オフセンターではオンセンターと比べて中心周波 数がズレることにより水抑制が生じ、ケミカルシフト 測定値とスクロース水溶液の信号強度差が縮小したた めと考えられる. これは脂肪信号が減少したのではな く、スクロース水溶液の信号が低下した結果と考える.

これに対し、SSRF_{Bre}は詳細な内容は公開されて いないが、過去の報告ではbalanced steady state free precession にガウシアンサブパルスの数を3× 720 µs(サブパルス数×サブパルス間隔)から5× 720 usに増加することで脂肪抑制効果が高くなる. transition width も小さくなるとの報告がある¹⁷⁾.ま た spectral spatial (SPSP) を用いた複合パルスがあ り、スライス選択のサブパルスでRF振幅と位相を変 調することによりスペクトル選択励起をし、オフセン ターでも水をより正確に励起できる¹⁸⁾との報告があ る.励起パルスの形がよりシャープになることでサイ ドローブも小さくなり¹⁹⁾,水と脂肪のオフセット周波 数よりも非常に小さくなることで水を正確に選択励起 できたと考える.多くの複合パルスを用いることで, SSRF_{Bre}を併用するとオンレゾナンス・オフレゾナン ス共に脂肪信号抑制効果の向上、均一性の向上、スク

ロース水溶液の信号が高く保たれたと考える.パルス 持続時間が長くなることでspecific absorption rate (SAR)の上昇が危惧されるが,DWIではEPIが主流 であり²⁰⁾,1回のRF励起で高速読み取り傾斜磁場を 何回も反転して1画像分の全データを収集撮像する方 法で,再収束の180度パルスを使用しないためSARの 大きな上昇がないなど影響は限定的であることから, SSRF_{Bre}の有効性は高いと考える.

STIR, ASPIRの脂肪信号抑制が不均一になった理 由としては, 脂肪に多く含まれるaliphatic fatプロ トン (ケミカルシフト0.8-3.0 ppm) の脂肪は抑制 されているが, 水のケミカルシフト4.7 ppmに近い olefinic fatプロトン (ケミカルシフト5.4 ppm) の 信号が消え残ったこと^{21,22)}, STIRに対しては, RF パルスが正しく180度倒されていないとTIがnull pointからのズレが生じ均一な脂肪抑制ができなかっ たこと, 3T-MRIではolefinic fatプロトンのnull pointは240 ms程度であること, CH₂のnull point は230 ms程度と報告されている²³⁾. 今回, TIの設定 を250 msの固定値を使用したため, ピーナツオイル とのnull pointとの間に差異が生じた可能性がある.

CHESSに対しては、オフセンターでは磁場不均一 により中心周波数がズレたことで、aliphatic fatプロ トンに対し脂肪抑制 RFパルスが当たらなかったため 脂肪抑制不良になったと考える.また油部分が空気に 接していたことから、磁化率の違いで静磁場均一性が 悪化したことも考えられる.

ASPIRは、RF励起の不均一による影響を排除する ために、反転パルスとして断熱パルスを使用する。断 熱パルスは、周波数や振幅を変調することにより正確 に180度反転できるRFパルスであり、RF励起の不均 一性に強いとされている²⁴⁾。断熱パルスを使用して いるASPIRと多くの複合パルスを用いているSSRF_{Bre} を併用したことにより、オフセンターで変動係数が低 くなったと考える。

3T-MRIにおける DWIは、ケミカルシフトアーチ ファクトが問題となるが、SSRF_{Bre}を併用することでオ フレゾナンスでも脂肪信号抑制の向上、均一性の改善、 スクロース水溶液信号の低下が改善した.このことは、 中心周波数のズレにより脂肪抑制不良の影響を受けや すいオフレゾナンスにおいても、SSRF_{Bre}を併用するこ とで脂肪抑制効果の向上が期待できると考える.

リミテーションとしては、第一に信号対雑音比 (signal-to-noise ratio, SNR)の評価をしていない. しかし、以前の研究によれば、乳腺MRIにおいて異 なる脂肪抑制方法を用いた場合でも,悪性腫瘍のSNR に差異は見られなかったと報告されている²⁵⁾.また SNRが約5を下回るとライスノイズの影響が増大す るため、撮像条件としてはSNRが5以上であることが 推奨されている²⁶⁾.本研究の撮像条件はこの基準を満 たしているため、結果に大きな影響はないと考えられ る。第二にゆがみの評価が行われていない点が挙げら れる.しかし,有効視野が250 mmの場合,ゆがみは 小さいとされている⁹⁾.本研究の撮像条件は有効視野 が200 mmであるためゆがみの影響は限定的である と考える. 第三に実際の臨床状況における評価が不足 しているという制約がある。これらの制約を考慮に入 れ、本研究の結果を解釈する必要がある.

また本研究は、GE HealthCare社製の3T-MRI 1 機種のみで評価を行ったため、別の同社製3T-MRIで 行った場合、ソフトウエアのバージョンなどの違いに より結果が異なる可能性がある.

4. 結 論

水選択的励起法の一つであるSSRF_{Bre}を併用した DWIは、オンレゾナンス・オフレゾナンス共に脂肪信 号抑制の向上、均一性の改善、スクロース水溶液信号 低下の改善が確認できた.本研究によってSSRF_{Bre}を 併用したDWIは、中心周波数のズレにより脂肪抑制 不良によるアーチファクトの影響を受けやすいオフレ ゾナンスにおいて、その有用性が示唆された.

5. 利益相反

筆頭著者および共著者全員に開示すべき利益相反は ない.

謝 辞

本論文の要旨は第11回中部放射線医療技術学術大会(2018年,富山)で発表した。

表の説明

Table 1 Fig.1のファントム組成

図の説明

Fig.1	ファントム構造の図
Fig.2	SI方向のファントム配置
Fig.3	ROI設定方法
Fig.4	SI方向における脂肪抑制効果の結果
	(a) STIR (b) CHESS (c) ASPIR
Fig.5	Aエレメントにおける脂肪抑制の画像
Fig.6	SI方向における変動係数の結果
Fig.7	Aエレメントにおける9ROIの変動係数の結果
	(a) STIR (b) CHESS (c) ASPIR
Fig.8	SI方向における水溶液信号低下率の結果
	(a) STIR (b) CHESS (c) ASPIR

参考文献

- M G Lansberg, et al.: Comparison of diffusionweighted MRI and CT in acute stroke. Neurology, 54 (8), 1557-61, 2000.
- 2)渡辺淳也,他:MRIによる関節軟骨の画像診断の新たな展開,臨床画像,11,1210-1218,2010.
- 3) 高原太郎,他:MRI応用自在 第4版.メジカルビュー社, 東京,27-30,2021.
- 中村昌文:脂肪抑制効果の評価、日放技学誌、77, 1231-1237,2021.
- 5) 野島佑太,他:3T MRIでの拡散強調画像におけるIR併用 水選択励起による脂肪抑制法の基礎的検討.日本放射線 技術学会東北支部雑誌,24,136,2015.
- 台丸谷 卓眞,他:拡散強調画像における脂肪抑制法の基礎的検討.日本放射線技術学会東北支部雑誌,27,159-160,2018.
- 7) 高原太郎,他:MRI応用自在 第4版.メジカルビュー社, 東京,70-71,2021.
- C J Fallone, et al.: Fat unsaturation measures in tibial, subcutaneous and breast adipose tissue using short and long TE MRS at 3T. Magn Reson Imaging, 86, 61-69, 2022.
- 9) 高橋光幸,他:拡散強調画像における歪みの検討.日放技 学誌,65,1494-1501,2009.
- Huanzhou Y, et al.: Multiecho water-fat separation and simultaneous R2* estimation with multifrequency fat spectrum modeling. Magn Reson Med, 60, 1122-1134, 2008.

- 11) 福島啓太,他:3T MRIにおけるTime-spatial labeling inversion pulse (Time-SLIP) 法を用いた腎動脈至適撮像 条件と血管描出能の検討-1,5T MRIと3T MRIの比較-. 日放技学誌,72(11),1113-1121,2016.
- 12) 佐藤章子,他:3T MRIにおける拡散強調画像の脂肪抑制 法の比較.日本放射線技術学会東北支部雑誌,26,236-237,2017.
- 13) 仁藤真吾: 全身撮像から考える全身MRI撮像の基本. 埼玉 放射線, 71, 230-234, 2023.
- 14) Chen Lin, et al.: Fat suppression techniques in breast magnetic resonance Imaging: a critical comparison and state of the art. Reports in Medical Imaging, 8, 37-49, 2015.
- 15) Thorsten A Bley, et al.: Fat and water magnetic resonance imaging. J Magn Reson Imaging, 31(1), 4-18, 2010.
- 16) Dietrich O, et al.: Artifacts in 3-T MRI: physical background and reduction strategies. Eur J Radiol, 65 (1), 29-35, 2008.
- 17) Jing Yuan, et al.: Fat-water selective excitation in balanced steady-state free precession using short spatial-spectral RF pulses. Journal of Magnetic Resonance, 208, 219-224, 2011.
- 18) Zur Y: Design of improved spectral-spatial pulses for routine clinical use. Magn Reson Med, 43(3), 410-420, 2000.
- 19) Bauer C, et al.: Gaussian Pulses. Journal of Magnetic Resonance, 58(3), 442-457, 1984.
- 20) 青木茂樹,他:新版 これでわかる拡散MRI. 学研メディカ ル秀潤社,東京,57,2005.
- 21) Takayuki Abe: Frequency-Selective Fat Suppression Radiofrequency Pulse Train to Remove Olefinic Fats. Appl Magn Reson, 44, 1213-1221, 2013.
- 22) He Zhu, et al.: Sequence design and evaluation of the reproducibility of water selective diffusion weighted imaging of the breast at 3T. NMR Biomed, 27(9), 1030-1036, 2014.
- 23)南広哲,他:DWIBSを前提としたファントムによる脂肪抑 制の検討.日本磁気共鳴医学会雑誌、40(3)、118-127、 2020.
- 24) 高原太郎,他: MRI応用自在 第4版.メジカルビュー社, 東京, 79-83, 2021.
- 25) Sofia Brandão, et al.: Fat suppression techniques (STIR vs. SPAIR) on diffusion-weighted imaging of breast lesions at 3.0T: preliminary experience. Radiol Med, 120(8), 705-713, 2015.
- 26) Hákon Gudbjartsson, et al.: The rician distribution of noisy mri data. Magn Reson Med, 34(6), 910-914, 1995.