

Original

高速撮像法を用いた
fluid-attenuated inversion recovery 画像における
無症候性白質病変の描出能の検討

千葉大志^{1), 2)}, 山下典生³⁾,
佐々木真理³⁾, 吉岡邦浩¹⁾

¹⁾ 岩手医科大学医学部, 放射線医学講座

²⁾ 市立角館総合病院, 放射線科

³⁾ 岩手医科大学医歯薬総合研究所,
超高磁場 MRI 診断・病態研究部門

(Received on February 2, 2022 & Accepted on March 11, 2022)

要旨

磁気共鳴画像の一つである fluid-attenuated inversion recovery (FLAIR) は, 無症候性白質病変 (white matter hyperintensity, WMH) 等の脳病変の検出に用いられるが, 撮像時間が長い点が課題である。そこで, 高速撮像可能な multishot echo planar imaging FLAIR (MSEPI-FLAIR) における WMH の描出能を明らかにする。脳病変を疑う患者 45 名を前方視的に登録し FLAIR と MSEPI-FLAIR を撮像

し, WMH のコントラスト比と体積を算出し比較検討した。WMH のコントラスト比は MSEPI-FLAIR にて FLAIR に比し有意な高値を示した ($p < 0.01$)。MSEPI-FLAIR の WMH コントラスト比・体積は FLAIR と良好な相関を示したが ($\rho = 0.81, 0.92$), 有意な正の固定誤差・比例誤差を認めた ($p < 0.01$)。MSEPI-FLAIR は FLAIR に比し WMH のコントラストは向上するが, 体積を過大評価しうる。

Key words : *magnetic resonance imaging, white matter hyperintensity, fluid-attenuated inversion recovery, multishot echo planar imaging*

I. 緒 言

磁気共鳴画像 (magnetic resonance imaging, MRI) において高齢者の脳に偶発的に認められる所見として無症候性白質病変 (white matter hyperintensity, WMH) がある。中等度以上の白質病変の存在は, 脳卒中のみならず認知障害の危険因子の一つであることが知られており¹⁾, WMH を明瞭に描出し客観的評価を行うこ

とは, 脳卒中や認知症の発症予測・予防に重要と考えられている^{2, 3)}。

MRI には種々の画像があるが, WMH の検出には fluid-attenuated inversion recovery (FLAIR) 画像が優れているとされ, ガイドラインでもその重要性が強調されている⁴⁾。しかし, FLAIR は一般に撮像時間が他の画像に比し長い為, 体動によるアーチファクトによってしばしば画質が劣化し, 病変の評価が困難となることがある。

Corresponding author: Taishi Chiba
renji6481@yahoo.co.jp

MRI の高速撮像法として echo planar imaging (EPI) が知られており, FLAIR の撮像時間短縮にも応用されている. 一度の励起で全データを収集する single-shot EPI FLAIR (SSEPI-FLAIR) は, 撮像時間の大幅短縮と体動アーチファクトの抑制に効果的であるが^{5,6)}, 画像歪みが大きく病変のコントラストも劣化することが指摘されている⁷⁾. 一方, 数回の励起を行う multishot EPI FLAIR (MSEPI-FLAIR) は, 撮像時間短縮効果はやや劣るものの, 画質やコントラストは FLAIR とほぼ同等と報告されている^{8,9)}. しかしながら, MSEPI-FLAIR における WMH の描出能については十分な検討は未だ行われておらず, FLAIR の代替として使用可能か否かは明らかとなっていない.

そこで, 我々は MSEPI-FLAIR と FLAIR における WMH のコントラストを計測するとともに, 近年普及しつつある WMH の体積計測¹⁰⁻¹²⁾ を実施し, MSEPI-FLAIR における WMH の描出能を FLAIR と比較検討した.

II. 対象と方法

本研究は, 著者の一人 (T.C.) が所属する医療機関にて倫理委員会の承認 (R3-220 号) を得て実施し, 対象者全員から書面によるインフォームドコンセントを得た. 2021 年 5 月から 2021 年 9 月の期間に頭部 MRI の撮像を予定された 50 歳以上の患者を前方視的に募集し, 同意の得られた 45 名 (年齢 50-92 歳, 中央値 79 歳, 男性 23 名, 女性 22 名) を対象とした. 疾患 (疑い例含む) の内訳は, 脳梗塞 17 名, 意識障害 7 名, 脳動脈瘤 4 名, 脳動脈狭窄 3 名, 認知障害 4 名, 頭痛 3 名, てんかん 2 名, そのほか 5 名である.

MRI の撮像は, 1.5T 装置 (Signa Explorer, GE Healthcare, Waukesha, USA) と附属の 12 チャンネル頭部用コイルで行った. 通常の撮像である T1 強調画像, T2 強調画像, FLAIR, 拡散強調画像, T2* 強調画像等に加え,

MSEPI-FLAIR を撮像した. 基準線は橋延髄移行部と鼻根部を結ぶ線を用いた.

FLAIR と MSEPI-FLAIR の撮像条件は, field of view 220 mm², repetition time (TR) 10,000 ms, echo time (TE) 110 ms, slice thickness/spacing 6/1.2 mm, average 1.0, parallel imaging factor 2 とした. Inversion time (TI) は脳脊髄液の信号が最も低くなる値を予備実験にて計測してそれぞれ 2,600 ms, 2,100 ms とし, matrix は画質を考慮してそれぞれ 320 × 224, 256 × 192 とした. また, MSEPI の shot 数は 4 とした. 撮像時間はそれぞれ 2 分 50 秒, 1 分 25 秒である.

得られた画像について, 著者の 1 人 (T.C.) が画像処理ソフトウェア (ImageJ, <https://imagej.net/Fiji>) を用いて中脳, 大脳白質, WMH の信号強度を手動的に計測した. 中脳では中脳被蓋に楕円型 region-of-interest (ROI) を可能な限り大きく配置し (60.6 ± 7.2 mm²), 連続する 2 スライス の計測値を平均し信号値とした. 大脳白質では, 両側前頭葉の深部白質に WMH を避けて楕円型もしくは正円 ROI を可能な限り大きく配置し (36.9 ± 11.8 mm²), 左右の計測値を平均し信号値とした. WMH では, 両側側脳室前角周囲の病変に楕円型もしくは正円の ROI を可能な限り大きく配置し (右 10.9 ± 6.7 mm², 左 12.7 ± 6.5 mm²), 左右の計測値を平均し信号値とした (図 1A, B). EPI に起因する歪みを考慮し, 目視にて同一部位となるよう ROI の位置を調整した. 得られた信号値から大脳白質/中脳比, WMH/中脳比, WMH/大脳白質比を算出した.

さらに, FLAIR, MSEPI-FLAIR 画像における WMH の自動体積計測を著者の 1 人 (F.Y.) が行った. 過去の著者らの報告の手法に準じ¹³⁾, SPM12 (Wellcome Department of Imaging Neuroscience, University College London, UK) を用いて画像の信号不均一補正と白質・灰白質・脳脊髄液への分割を実施した

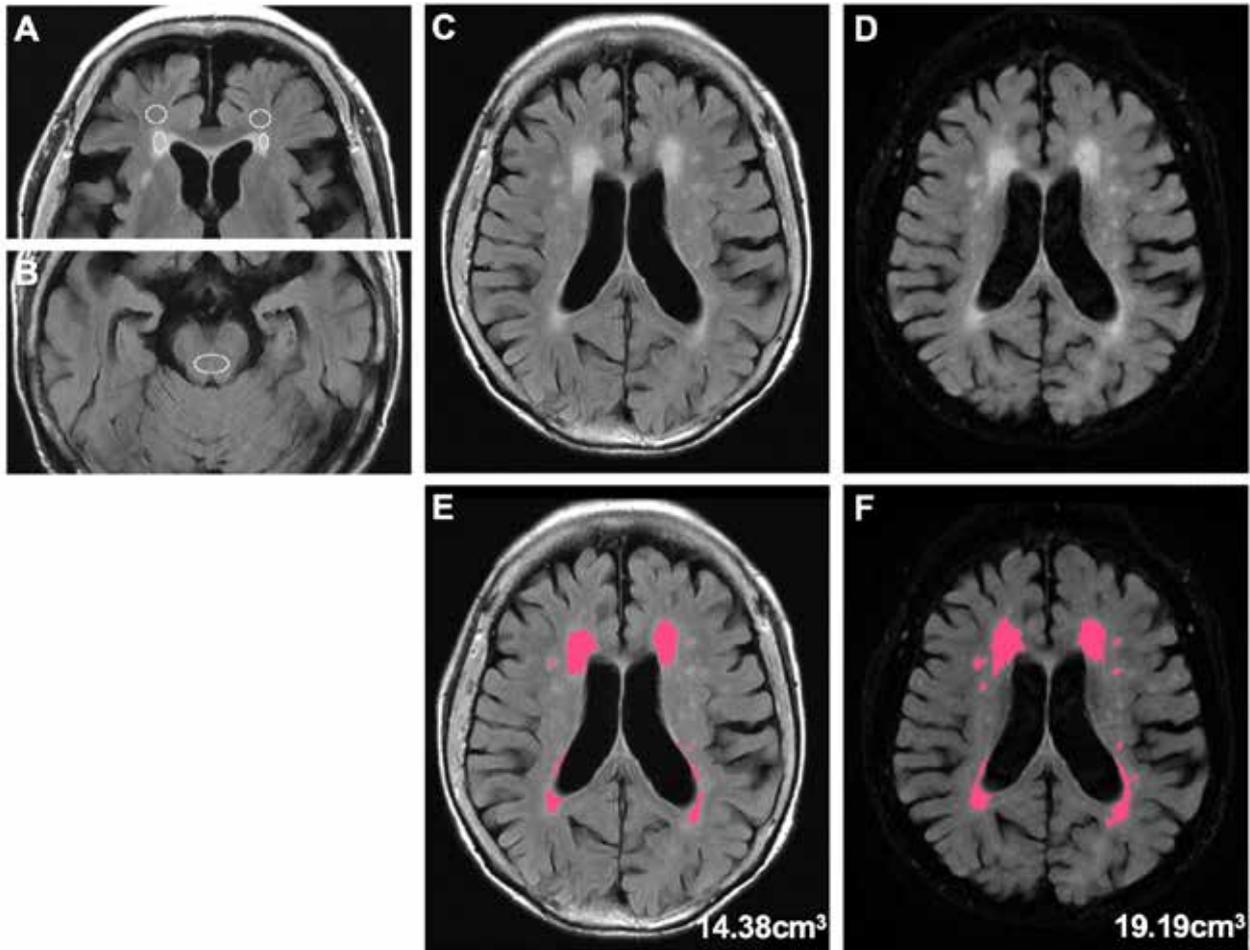


図1. FLAIR と MSEPI-FLAIR における ROI 計測と WMH の所見

A, B: ROI の形状と配置. C, E: FLAIR 画像, D, F: MSEPI-FLAIR 画像.

両側前頭葉白質, 両側前角周囲の白質病変(WMH) (A) および中脳被蓋(B)の信号強度を, 楕円形 ROI を用いて計測した. WMH は, FLAIR と MSEPI-FLAIR において高信号領域としてほぼ同等に描出されている (C, D). WMH の領域 (赤色) は, FLAIR, MSEPI-FLAIR とともに良好に自動抽出されているが, 後者の体積がやや大きい値となっている (E, F).

後, ANTs (<http://stnava.github.io/ANTs/>) を用いて標準テンプレート空間へ解剖学的に正規化し, 白質の基準領域として作成した中小脳脚 ROI を用いて同部位の平均が 1000, 標準偏差が 100 になるように画像全体の信号値を規格化した. サンプル画像を用いた予備実験によりあらかじめ最適化した閾値 (FLAIR, 1610; MSEPI-FLAIR, 1390), ならびに探索領域としてあらかじめ作成したマスクを用いて WMH を自動抽出し, 体積を算出した (図 1C-F).

FLAIR, MSEPI-FLAIR における ROI 計測によるコントラスト比を Wilcoxon の符号付順位検定で比較するとともに, Spearman 相関解析, Bland-Altman 解析を行った. WMH の体積についても Spearman 相関解析と Bland-Altman 解析を行った. 有意水準は $\alpha = 0.05$ とし, 統計解析ソフトは EZR (The R Foundation for Statistical Computing)¹⁴⁾ を用いた.

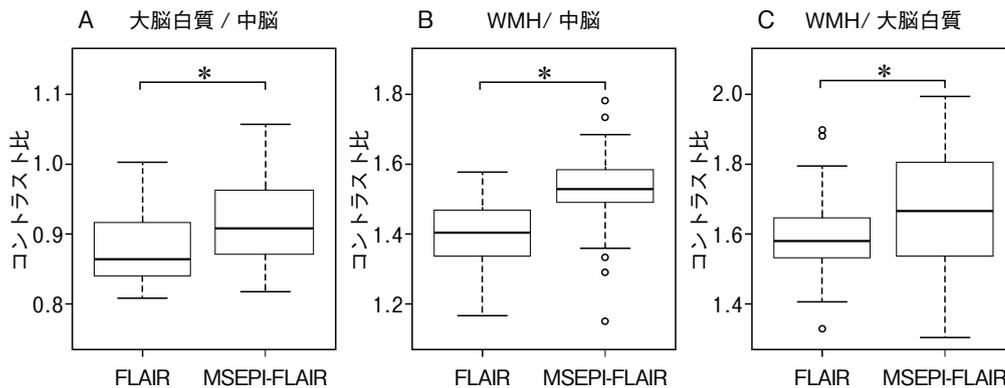


図2. FLAIRとMSEPI-FLAIRにおけるWMHのコントラスト比
大脳白質/中脳比(A), WMH/中脳比(B), WMH/大脳白質比(C)のいずれも,
MSEPI-FLAIRにおいてFLAIRに比し有意な高値を示している (* $p < 0.01$).

III. 結 果

45例中全例でMRIを撮像したが, 粗大な脳梗塞を認めた例 ($n = 8$), 体動アーチファクトが顕著だった例 ($n = 2$), 他のアーチファクトが顕著だった例 ($n = 2$), FLAIRまたはMSEPI-FLAIRが撮像できなかった例 ($n = 2$)を除外したため, 解析対象例は31名(69%)であった(年齢50-91歳, 中央値76歳, 男性16名, 女性15名).

ROI計測では, WMHを認めないため計測不能であった例 ($n = 2$)を除外し, 29名でコントラスト比を検討した. MSEPI-FLAIRでは, 大脳白質/中脳比[中央値0.91(四分位範囲0.87-0.96)](図2A), WMH/中脳比[1.53(1.49-1.58)](図2B), WMH/大脳白質比[1.66(1.53-1.80)](図2C)のいずれにおいてもFLAIR[0.86(0.84-0.92), 1.40(1.34-1.47), 1.58(1.53-1.64)]に比し有意な高値を示した($p < 0.01$). また, MSEPI-FLAIRのWMH/大脳白質比はFLAIRと良好な相関を示したが($\rho = 0.81, p < 0.01, 95\%$ 信頼区間0.71-0.93)(図3A), Bland-Altman解析では, 有意な正の固定誤差(平均0.07, $p < 0.01, 95\%$ 信頼区間0.04-0.11)と正の比例誤差($r = 0.55, p < 0.01$)を認めた(図3C).

WMHの体積計測では, 頭蓋外巨大腫瘍例 ($n = 1$), 頭蓋骨金属プレート例 ($n = 1$)を解析不能のため除外し, 29名で検討した. MSEPI-FLAIRにおけるWMHの体積は, FLAIRと強い相関を示したが($\rho = 0.92, p < 0.01, 95\%$ 信頼区間0.89-0.98)(図3B), Bland-Altman解析では有意な正の固定誤差(平均2.99, $p < 0.01, 95\%$ 信頼区間0.84-5.15)と正の比例誤差($r = 0.71, p < 0.01$)を認めた(図3D).

IV. 考 察

本研究によって, MSEPI-FLAIRにおけるWMHの大脳白質に対するコントラスト比が従来のFLAIRに比し有意に高く, かつ高い相関を示すことが明らかとなった. この結果より, MSEPI-FLAIRはより短時間かつ明瞭にWMHを描出可能であり, FLAIRの代替撮像法となりうることを示唆された.

MSEPI-FLAIRのWMH/大脳白質比はFLAIRと正の固定誤差・比例誤差を伴う相関を有しており, 信号強度によらずWMHのコントラストが安定して向上していることを示している. MSEPI-FLAIRにおいてWMHのコントラストが向上した第一の理由に磁化移動

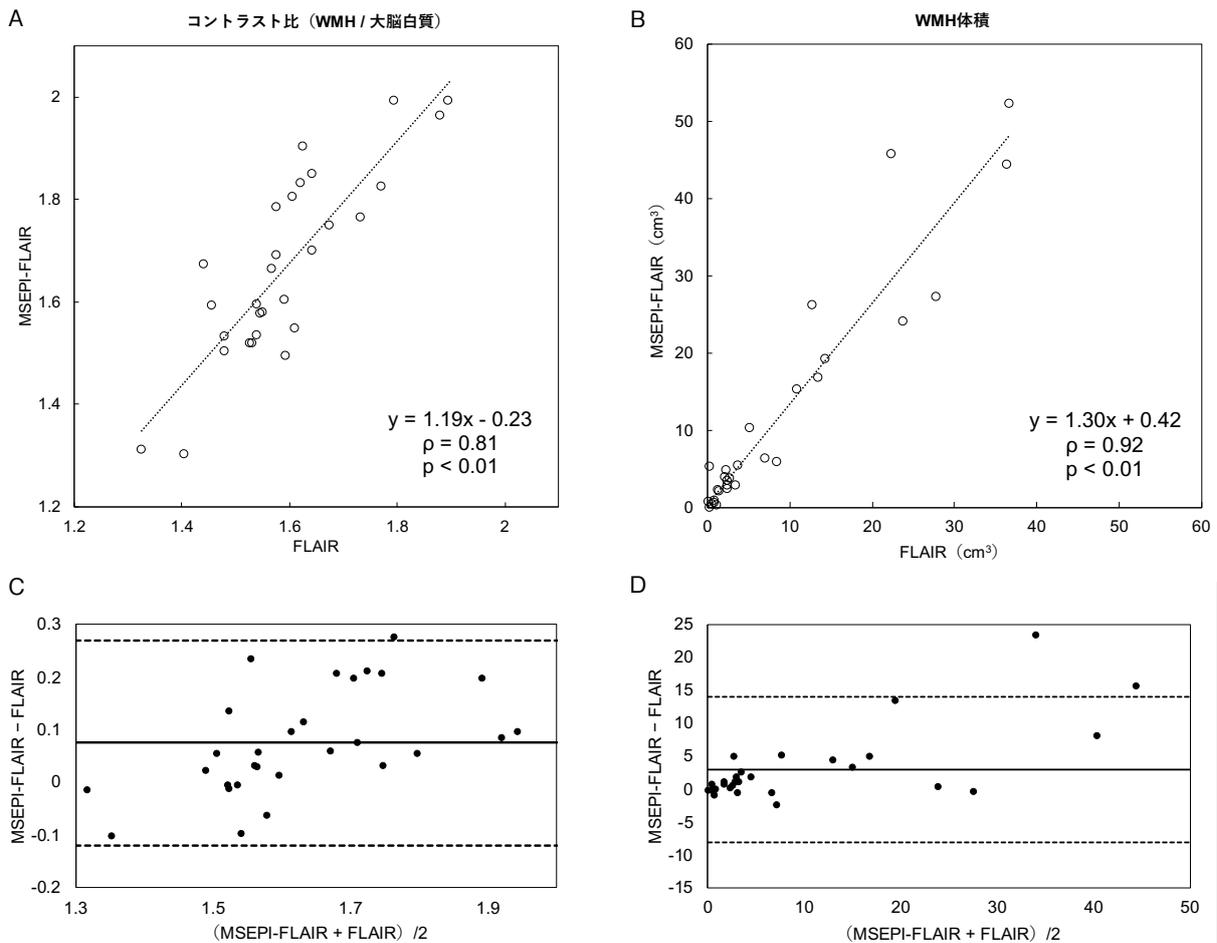


図3. FLAIR と MSEPI-FLAIR における WMH/ 大脳白質比および WMH 体積の関連
 MSEPI-FLAIR における WMH/ 大脳白質比 (A) および WMH 体積 (B) は FLAIR
 と良好な正の相関を示しているが ($p < 0.01$), いずれも有意な正の固定誤差・比例誤
 差を認める ($p < 0.01$) (C, D). C, D の Bland-Altman 解析は, 実線が差の平均値,
 破線が誤差の許容範囲を表す.

(magnetization transfer, MT) 効果が挙げられる。通常の FLAIR では、マルチスライス撮像下で多数の再収束パルスによってエコーを取得する。これらのパルスによって広い周波数帯域を有する高分子プロトンが励起され、自由水プロトンとの間で MT が起こり、自由水プロトン由来の信号を減衰させる。高分子の多い脳実質では、MT 効果によって信号減衰をきたすことが広く知られている¹⁵⁾。一方、MSEPI は単一スライス撮像であり、かつ 1 shot あたりの再収束パルスが 1 回のみであるため、MT 効果による信号減衰は軽微である¹⁶⁾。一般に脳幹

に比し大脳の MT 効果が高いことが知られており¹⁷⁾、今回の検討でも大脳白質、WMH の中脳に対するコントラスト比は MSEPI-FLAIR にていずれも向上した。一方で、WMH の MT 効果は大脳白質に比し低く、含水量の増加のためとされている¹⁸⁾。MT 効果以外のコントラスト変化の要因として、k 空間内での T2 減衰がコントラストに影響すると考えられる。MSEPI-FLAIR では T2 減衰が FLAIR に比し軽度であるため⁹⁾、WMH の信号減衰軽減によって WMH/ 大脳白質比が向上したと考えられる。

MSEPI-FLAIRにおけるWMHの描出能に関する過去の報告では、MSEPI-FLAIRのコントラストがFLAIRに比し劣るとされており¹⁹⁾、今回の結果とは異なる。一般に、FLAIRはTR、TE、TIの設定でコントラストが大きく変化することが知られており、適切な撮像条件を用いることが推奨されている⁴⁾。過去の報告では、MSEPI-FLAIRのTR、TEがFLAIRに比し明らかに短く設定されており¹⁹⁾、そのため前者におけるWMHのコントラストが低下したと考えられる。また、TIについて最適化が実施されていない点も影響している可能性がある。本研究では、MSEPI-FLAIRとFLAIRで同一のTR、TEを用い、TIについても予備実験によって最適化した値を用いた。従って、より適切な撮像条件下で両者を比較することができたと考えられる。なお、両撮像法間でTIに差異があるのは、inversion recoveryパルス特性の差異によるものであり、コントラストへの影響は軽微であることが推察される。

今回、WMH体積の自動計測を実施したが、両撮像法における体積は良好な相関を示したものの、MSEPI-FLAIRでは体積を有意に大きく評価する傾向があった。これは、WMHのコントラストが向上したことにより、FLAIRで抽出できなかった淡い病変や小さな病変を拾い上げたことが主な原因と考えられる。また、MSEPI-FLAIRは信号雑音比が低く、FLAIRに比し空間分解能を低く設定する必要がある。そのため、部分容積効果が体積計測に影響した可能性もある。今回の検討では、体積計測における閾値等を両撮像法にそれぞれ最適化した上で解析を実施したが、解析法の最適化のみでは系統誤差の解消は困難と考えられる。WMH体積計測は近年普及しつつあり、撮像法が異なる場合は、相関解析等の結果を元に数値を補正した上で比較する必要があると考えられる。

今回、高速撮像法としてMSEPIを用いた。MSEPIは、従来のSSEPIと比し撮像時間が

shot数に比例して延長するが、EPIの欠点である画像歪みや磁化率アーチファクトを改善することが可能である²⁰⁾。SSEPI-FLAIRを用いた過去の報告では、WMHなどの脳病変の描出能はFLAIRに比し有意に不良であり⁵⁻⁷⁾、MSEPIによる画質向上効果がWMHの描出能向上に大きく寄与したと考えられる。

MSEPI-FLAIRの画像特性はFLAIRと必ずしも同等ではない。前述の通り画像歪みや磁化率アーチファクトはFLAIRに比し強く、空間分解能は低い。また、EPIでは脂肪抑制あるいは選択的水励起が必須のため、脂肪組織が低信号を呈する。従って、MSEPI-FLAIRがFLAIRに完全に置き換わることはできない。一方、FLAIRはマルチスライス撮像のため、撮像中の体動が多くのスライスの画質劣化に直結するのに対し、MSEPI-FLAIRはシングルスライスのスナップショット撮像のため、特定のスライスにしか影響しない。単に全体の撮像時間が半減するのみならず、強力な体動アーチファクト抑制効果を有している。そのため、非協力的な患者や、不随意運動または意図しない体動を起こす患者に対して特に有効な撮像法であるといえる。

FLAIRのそのほかの高速撮像法としては、single-shot fast spin-echoを応用した方法が報告されている²¹⁾。しかし、一部の装置でのみ撮像が可能であり、汎用性の点において問題がある。一方、MSEPI-FLAIRは多くの装置で撮像可能であり、日常診療で広く利用可能な点でも優れている。

この研究にはいくつかの限界がある。1点目は、短期間の前向き研究で、かつ脱落例が多かったため、サンプルサイズが比較的小さくなったことが挙げられる。しかしながら、MSEPI-FLAIRにおけるWMHのコントラストや体積の特性を有意差をもって明らかにすることができ、サンプルサイズの影響は小さいと考える。2点目としては静磁場強度の問題が挙げら

れる。本研究では 1.5T 装置を用いたため、近年普及しつつある 3T 装置での MSEPI-FLAIR の意義は明らかでない。一般に、3T では 1.5T に比し磁化率効果および MT 効果は増強するため、MSEPI-FLAIR の画像歪みや磁化率アーチファクトは顕著になるものの、WMH のコントラストは改善する可能性があるが、体積計測にどのような影響をあたえるかは不明である。3 点目として、本研究では WMH のみを対象病変としたため、他の脳病変の描出能にどのような影響が生じるかは未検証である。MSEPI-FLAIR の FLAIR 代替法としての意義を確立するには、3T 装置や WMH 以外の種々の脳病変に関するさらなる検討が必要である。

本研究により、MSEPI-FLAIR は FLAIR と比し WMH に関して良好なコントラストを有し、コントラスト・体積とも高い相関を示すこ

と、ただし体積を過大評価する傾向があることが明らかとなった。MSEPI-FLAIR は、撮像時間が短くコントラストが高いため、FLAIR の代替法として有望と考えられるが、体積計測などの定量解析では FLAIR との差異が生じうる点を考慮する必要がある。

稿を終えるにあたり、本研究の機会を与えてくださいました市立角館総合病院の伊藤良正病院長、データ集積にご協力を賜りました市立角館総合病院の医師、放射線科の診療放射線技師諸氏に心から御礼申し上げます。

利益相反：著者らには開示すべき利益相反はない。

References

- 1) 日本脳卒中学会：脳卒中治療ガイドライン 2021. 一般社団法人日本脳卒中学会 脳卒中ガイドライン委員会, pp. 180-182, 協和企画, 東京, 2021.
- 2) **Shinohara Y, Tohgi H, Hirai S, et al.**: Effect of the Ca antagonist nilvadipine on stroke occurrence or recurrence and extension of asymptomatic cerebral infarction in hypertensive patients with or without history of stroke (PICA Study). 1. Design and results at enrollment. *Cerebrovasc Dis* **24**, 202-209, 2007.
- 3) **Debette S, Beiser A, DeCarli C, et al.**: Association of MRI markers of vascular brain injury with incident stroke, mild cognitive impairment, dementia, and mortality: the Framingham Offspring Study. *Stroke* **41**, 600-606, 2010.
- 4) 日本脳ドック学会：脳ドックのガイドライン 2019, 第 5 版, pp. 34-41, 響文社, 札幌, 2019.
- 5) **Meshksar A, Villablanca JP, Khan R, et al.**: Role of EPI-FLAIR in patients with acute stroke: a comparative analysis with FLAIR. *AJNR Am J Neuroradiol* **35**, 878-883, 2014.
- 6) **Benzakoun J, Maïer B, Calvet D, et al.**: Can a 15-sec FLAIR replace conventional FLAIR sequence in stroke MR protocols? *J Neuroradiol* **44**, 192-197, 2017.
- 7) 的場宗孝, 利波久雄, 横田 啓, 他: 脳疾患における EPI-FLAIR- 高速 SE 法 T2 強調画像, 高速 FLAIR との比較. *日本医放会誌* **58**, 129-136, 1998.
- 8) **Tomura N, Kato K, Takahashi S, et al.**: Multi-shot echo-planar flair imaging of brain tumors: comparison of spin-echo T1-weighted, fast spin-echo T2-weighted, and fast spin-echo flair imaging. *Comput Med Imaging Graph* **26**, 65-72, 2002.
- 9) 高倉 有, 臼庭 等, 村中博幸: 自作ファントムを用いた FLAIR と multi shot EPI-FLAIR における高信号領域検出能の比較. *日放技学誌* **71**, 1180-1188, 2015.
- 10) **Hirao K, Yamashita F, Tsugawa A, et al.**: Association of serum cystatin C with white matter abnormalities in patients with amnesic mild cognitive impairment. *Geriatr Gerontol Int* **19**, 1036-1040, 2019.
- 11) **Yoshida J, Yamashita F, Sasaki M, et al.**: Adverse effects of pre-existing cerebral small vessel disease on cognitive improvement after carotid endarterectomy. *Int J Stroke* **15**, 657-665, 2020.
- 12) **Hirao K, Yamashita F, Tsugawa A, et al.**: Association of white matter hyperintensity progression with cognitive decline in patients

- with amnesic mild cognitive impairment. *J Alzheimers Dis* **80**, 877-883, 2021.
- 13) **Park K, Nemoto K, Yamakawa Y, et al.:** Cerebral white matter hyperintensity as a healthcare quotient. *J Clin Med* **8**, 1823, 2019.
 - 14) **Kanda Y:** Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZR' for medical statistics. *Bone Marrow Transplantation* **48**, 452-458, 2013.
 - 15) **Melki PS and Mulkern RV:** Magnetization transfer effects in multislice RARE sequences. *Magn Reson Med* **24**, 189-195, 1992.
 - 16) **Ranjeva JP, Franconi JM, Manelfe C, et al.:** Magnetization transfer with echo planar imaging. *Magn Reson Mater Phys Biol Med* **5**, 259-265, 1997.
 - 17) 羽生春夫: 脳疾患への Magnetization Transfer 法の応用とその解釈. *脳循環代謝* **13**, 217-225, 2001.
 - 18) **Wong KT, Grossman RI, Boorstein JM, et al.:** Magnetization transfer imaging of periventricular hyperintense white matter in the elderly. *AJNR Am J Neuroradiol* **16**, 253-258, 1995.
 - 19) **Tomura N, Kato K, Takahashi S, et al.:** Comparison of multishot echo-planar fluid-attenuated inversion-recovery imaging with fast spin-echo fluid-attenuated inversion-recovery and T2-weighted imaging in depiction of white matter lesions. *J Comput Assist Tomogr* **26**, 810-814, 2002.
 - 20) **Skare S, Newbould RD, Clayton DB, et al.:** Clinical multishot DW-EPI through parallel imaging with considerations of susceptibility, motion, and noise. *Magn Reson Med* **57**, 881-890, 2007.
 - 21) **Kubota Y, Yokota H, Sakai T, et al.:** Clinical feasibility of single-shot fluid-attenuated inversion recovery with wide inversion recovery pulse designed to reduce cerebrospinal fluid and motion artifacts for evaluation of uncooperative patients in acute stroke protocol. *J Magn Reson Imaging* **53**, 1833-1838, 2021.

Depiction of white matter hyperintensity
using fluid-attenuated inversion recovery
with a rapid imaging technique:
a comparison with the conventional technique

Taishi CHIBA^{1),2)}, Fumio YAMASHITA³⁾,
Makoto SASAKI³⁾ and Kunihiro YOSHIOKA¹⁾

¹⁾Department of Radiology, School of Medicine,
Iwate Medical University, Yahaba, Japan

²⁾Department of Radiology, Kakunodate General Hospital, Kakunodate, Japan

³⁾Division of Ultrahigh Field MRI, Institute for Biomedical Sciences,
Iwate Medical University, Yahaba, Japan

(Received on February 2, 2022 & Accepted on March 11, 2022)

Abstract

Fluid-attenuated inversion recovery (FLAIR), one of the cardinal sequences in magnetic resonance imaging (MRI), is widely used to visualize various cerebral lesions. Such lesions include asymptomatic white matter hyperintensity (WMH), a known risk factor for stroke and dementia. However, FLAIR has a very long acquisition time, which sometimes results in profound image deterioration due to motion artifacts. Hence, we investigated whether FLAIR with a rapid imaging technique, i.e., multishot echo planar imaging FLAIR (MSEPI-FLAIR), can more readily depict WMH when compared with FLAIR. We performed MRI scans of 45 prospectively-

enrolled patients and calculated contrast ratios (CRs) and WMH volumes by manual and automated measurements, respectively. MSEPI-FLAIR showed high WMH CR as compared with FLAIR ($p < 0.01$) and good correlations with FLAIR in the CR and WMH volume ($\rho = 0.81$ and 0.92 , respectively). However, MSEPI-FLAIR tended to overestimate WMH volume, with significant fixed and proportional biases ($p < 0.01$). MSEPI-FLAIR may be used as a rapid and high-contrast substitute for FLAIR to depict WMH and other cerebral lesions, although quantitative assessments are influenced by substantial biases.
