肝 MRI による脂肪定量の撮像・管理指針

公益社団法人日本医学放射線学会
一般社団法人日本磁気共鳴医学会

１．肝 MRI による脂肪定量のエビデンス

肝細胞内のトリグリセリド含有量を非侵襲的に定量化する手法として、confounder-corrected chemical shift–encoded（CSE）MRI により算出される MRI-PDFF は、組織学的脂肪化評価（肝生検）と強い相関を示し、^{1}H-MR spectroscopy（^{1}H-MRS）とも良好な一致を示すことが多くの研究およびメタアナリシスで報告されている(1, 2)。

Proton Density Fat Fraction (PDFF)

PDFF は、脂肪（トリグリセリド）由来の可動プロトン密度を、水および脂肪由来の可動プロトン密度の総和で除した割合であり、百分率で表される物理量である(3)。

- **高精度・高再現性の証明：**複数のメタアナリシスにおいて、MRI-PDFF は肝生検による脂肪化グレードと強い相関を示し、軽度から高度の脂肪肝を高い精度で診断可能であることが確認されている(2, 4)。また、同一装置・同一プロトコルを用いた場合には良好な反復再現性を示すことが多施設研究で報告されている(5)。
- **標準化の進展：**異なるメーカーの装置および磁場強度（1.5T／3T）によらず、高い直線性と低いバイアスを示すことが証明されており(1, 6)、国際的な標準化（RSNA-QIBA PDFF Profile）に基づく撮像・解析・精度管理が推奨されている(7)。国内においても J-QIBA 等の定量画像標準化活動との整合性を踏まえた運用が望まれる(8)。
- **臨床試験における役割：**近年の MASH／MASLD 関連臨床試験では、治療による肝脂肪量変化を感度良く評価できる非侵襲的画像バイオマーカーとして、MRI-PDFF が主要または副次的評価項目、あるいは探索的エンドポイントとして広く用いられている(9)。

- **本指針の対象：**PDFF 以外の MRI バイオマーカー（cT1、MR エラストグラフィ等）を組み合わせたマルチパラメトリック評価も報告されているが(10, 11)、本指針が対象とするのは PDFF による肝脂肪定量である。

MR Spectroscopy (MRS)

MRS は、水および脂肪に由来する MR 可視プロトン信号をスペクトル上で分離し、適切な緩和補正および脂肪スペクトルモデルを用いて、局所の MRS による脂肪分画（MRS-based fat fraction）を推定する手法である(12)。

- **参照法としての役割：**従来から脂肪定量の比較参照法と見なされており(12)、MRI-PDFF の妥当性を検証する際の参照標準として広く用いられてきた(1, 13)。
- **測定特性：**関心領域を限定したスペクトル解析により、水と脂肪の信号の重なりを排して両者を分離できる(12, 14)。一方、単一ボクセルのサンプリングであること、取得および解析に専門性を要することに留意する。

２．PDFF の推奨

臨床および研究における肝脂肪定量には、交絡因子を補正したマルチエコーchemical shift–encoded（CSE）MRI による PDFF を推奨する。

技術的推奨の根拠

- **T2*効果の補正：**肝臓内の鉄沈着は信号の減衰（T2*効果）を引き起こす。脂肪含有量の正確な算出には、複数エコーの取得により T2*減衰を数学的に推定・補正することが必要であり(15, 16)、6 エコー以上の取得を推奨する。ただし、RSNA-QIBA PDFF Profile の性能要件を満たすことが検証された実装においては、これより少ないエコー数による取得を妨げるものではない(7)。
- **マルチピーク脂肪モデル：**脂肪（トリグリセリド）は複数の共鳴ピークを持つ(17, 18)。これらを考慮した信号モデルを採用することで、測定精度が向上する(19, 20)。

- **T1 バイアスの抑制：**水と脂肪の T1 値の違いによる信号の歪みを防ぐため、原則として低フリップ角を用いることが望ましい(21, 22)。
- **2-point Dixon 法の限界：**従来の 2-point Dixon 法または in-phase／opposed-phase 画像に基づく signal fat fraction は、T2*減衰、マルチピーク脂肪スペクトル、T1 バイアスなどの交絡因子を十分に補正できないため(23, 24)、定量的 PDFF の代替としては推奨されない。なお、粗い脂肪肝スクリーニング目的での利用を妨げるものではない。

解析および運用に関する推奨事項

- **解析用関心領域（ROI）の設置：**ROI は、PDFF マップ上で大血管、主要胆管、肝表近傍、局所病変、アーチファクト、高 R2*（低 T2*）領域を避け、可能な限り大きく設定する。RSNA-QIBA PDFF Profile では、直径 1 cm 相当の円を超える面積の ROI が推奨され、4 cm^2以上がより望ましいとされている(7, 25)。肝全体の脂肪化を反映する目的では、両葉および複数区域に複数の ROI を配置する。なお、本指針では、肝生検が通常右葉から採取されることを踏まえ、生検との対比の有無にかかわらず、右葉の ROI を含めることを推奨する。
- **鉄沈着の同時評価：**PDFF 撮像時に同時に得られる R2*（T2*）マップを併用し、鉄沈着による PDFF 測定への影響を評価・報告することが望ましい(15, 24)。R2*が高値（T2*が低値）を示す領域では PDFF の信頼性が低下するため、RSNA-QIBA PDFF Profile が示す除外目安に従い、当該領域は ROI から除外する(7)。なお、この目安は PDFF 測定の信頼性を確保するための技術的基準であり、鉄過剰症の臨床的重症度を判定する閾値ではない。また、R2*（T2*）は肝脂肪化の程度によっても変化することが報告されており(26)、R2*（T2*）単独での解釈には注意を要する。なお、R2*と T2*は R2*＝1000／T2* の逆数関係にあり、R2*高値は T2*低値に相当する。

関連ガイドラインの遵守

- **MASLD 診療ガイドライン 2026（改訂第 3 版）：**CQ4-2 において、非侵襲的脂肪化診断法（超音波 B-mode、MRI-PDFF、超音波減衰法）は脂肪性肝疾患の診断に有用であり検査を行うことが推奨されている（推奨の強さ：強、エビデンスレベル：A）。なかでも MRI-PDFF は病理学的脂肪量との相関が最も高く、精度の高い評価法として推奨されている(27, 28)。
- **国際的な診療ガイドライン：**画像に基づく非侵襲的肝疾患評価に関する診療ガイドラインにおいて、MRI-PDFF および MRS は血液検査に基づく評価法より優れた脂肪化評価法と位置づけられ、組織学との高い相関が明記されている(29)。
- **RSNA-QIBA PDFF Profile：**PDFF は標準化された定量イメージングバイオマーカー（Quantitative Imaging Biomarker, QIB）であり、RSNA-QIBA PDFF Profile に準拠した撮像・解析・精度管理を行うことが望ましい(7)。また、国内においても J-QIBA 等の定量画像標準化活動との整合性を踏まえた運用が望まれる(8)。

３．MRS の位置づけ

本指針では、MRS を肝脂肪定量の妥当性検証における比較参照法として位置づける。臨床的には、CSE-MRI による PDFF を第一選択とし、MRS は PDFF と臨床像に乖離がある症例、脂肪酸組成・不飽和度などの詳細評価を目的とする研究、または技術検証において補助的に用いることが望ましい(12, 30)。

- **適応：**PDFF と臨床像が乖離する症例の評価や、技術検証における参照測定に有用である(12, 30)。脂肪の不飽和度など詳細な質的評価を目的とする場合には、その目的に応じて妥当性が確認された取得・解析法を用いる必要がある。
- **留意点：**単一ボクセルのサンプリングであること、ボクセル配置ならびに取得・解析に専門性を要することから、日常診療における肝脂肪定量の第一選択とはしない。

参考文献

1. Yokoo T, Serai SD, Pirasteh A, et al; RSNA-QIBA PDFF Biomarker Committee. Linearity, bias,

and precision of hepatic proton density fat fraction measurements by using MR imaging: a meta-analysis. Radiology 2018;286(2):486–498.

2. Azizi N, Naghibi H, Shakiba M, et al. Evaluation of MRI proton density fat fraction in hepatic steatosis: a systematic review and meta-analysis. Eur Radiol 2025;35(4):1794–1807.

3. Reeder SB, Hu HH, Sirlin CB. Proton density fat-fraction: a standardized MR-based biomarker of tissue fat concentration. J Magn Reson Imaging 2012;36(5):1011–1014.

4. Gu J, Liu S, Du S, et al. Diagnostic value of MRI-PDFF for hepatic steatosis in patients with non-alcoholic fatty liver disease: a meta-analysis. Eur Radiol 2019;29(7):3564–3573.

5. Fowler KJ, Venkatesh SK, Obuchowski N, et al; NIMBLE Consortium. Repeatability of MRI biomarkers in nonalcoholic fatty liver disease: the NIMBLE Consortium. Radiology 2023;309(1):e231092.

6. Hernando D, Sharma SD, Aliyari Ghasabeh M, et al. Multisite, multivendor validation of the accuracy and reproducibility of proton-density fat-fraction quantification at 1.5T and 3T using a fat-water phantom. Magn Reson Med 2017;77(4):1516–1524.

7. QIBA Proton Density Fat Fraction Biomarker Committee. MRI-Based Proton Density Fat Fraction (PDFF) of the Liver. Quantitative Imaging Biomarkers Alliance. Profile Stage: Consensus. Maintenance version. June 19, 2024. Available at: https://qibawiki.rsna.org/index.php/Profiles

8. 藤田翔平, 萩原彰文, 立石宇貴秀, 青木茂樹. 医用画像の定量化と標準化：QIBA/J-QIBA の概説と組織緩和時間定量化の動向. 日磁医誌 2020;40(4):143–148.

9. Caussy C, Reeder SB, Sirlin CB, Loomba R. Noninvasive, quantitative assessment of liver fat by MRI-PDFF as an endpoint in NASH trials. Hepatology 2018;68(2):763–772.

10. Banerjee R, Pavlides M, Tunnicliffe EM, et al. Multiparametric magnetic resonance for the non-invasive diagnosis of liver disease. J Hepatol 2014;60(1):69–77.

11. Andersson A, Kelly M, Imajo K, et al. Clinical utility of magnetic resonance imaging biomarkers for identifying nonalcoholic steatohepatitis patients at high risk of progression: a multicenter pooled data and meta-analysis. Clin Gastroenterol Hepatol 2022;20(11):2451–2461.e3.

12. Reeder SB, Cruite I, Hamilton G, Sirlin CB. Quantitative assessment of liver fat with magnetic resonance imaging and spectroscopy. J Magn Reson Imaging 2011;34(4):729–749.

13. Idilman IS, Aniktar H, Idilman R, et al. Hepatic steatosis: quantification by proton density fat

fraction with MR imaging versus liver biopsy. Radiology 2013;267(3):767–775.

14. Szczepaniak LS, Nurenberg P, Leonard D, et al. Magnetic resonance spectroscopy to measure hepatic triglyceride content: prevalence of hepatic steatosis in the general population. Am J Physiol Endocrinol Metab 2005;288(2):E462–E468.

15. Yu H, McKenzie CA, Shimakawa A, et al. Multiecho reconstruction for simultaneous water-fat decomposition and T2* estimation. J Magn Reson Imaging 2007;26(4):1153–1161.

16. Kühn JP, Hernando D, Mensel B, et al. Quantitative chemical shift-encoded MRI is an accurate method to quantify hepatic steatosis. J Magn Reson Imaging 2014;39(6):1494–1501.

17. Hamilton G, Yokoo T, Bydder M, et al. In vivo characterization of the liver fat ^{1}H MR spectrum. NMR Biomed 2011;24(7):784–790.

18. Kuroda K, Oshio K, Mulkern RV, Jolesz FA. Optimization of chemical shift selective suppression of fat. Magn Reson Med 1998;40(4):505–510.

19. Yu H, Shimakawa A, McKenzie CA, Brodsky E, Brittain JH, Reeder SB. Multiecho water-fat separation and simultaneous R2* estimation with multifrequency fat spectrum modeling. Magn Reson Med 2008;60(5):1122–1134.

20. Reeder SB, Robson PM, Yu H, et al. Quantification of hepatic steatosis with MRI: the effects of accurate fat spectral modeling. J Magn Reson Imaging 2009;29(6):1332–1339.

21. Liu CY, McKenzie CA, Yu H, Brittain JH, Reeder SB. Fat quantification with IDEAL gradient echo imaging: correction of bias from T1 and noise. Magn Reson Med 2007;58(2):354–364.

22. Kukuk GM, Hittatiya K, Sprinkart AM, et al. Comparison between modified Dixon MRI techniques, MR spectroscopic relaxometry, and different histologic quantification methods in the assessment of hepatic steatosis. Eur Radiol 2015;25(10):2869–2879.

23. Westphalen AC, Qayyum A, Yeh BM, et al. Liver fat: effect of hepatic iron deposition on evaluation with opposed-phase MR imaging. Radiology 2007;242(2):450–455.

24. Kühn JP, Hernando D, Muñoz del Rio A, et al. Effect of multipeak spectral modeling of fat for liver iron and fat quantification: correlation of biopsy with MR imaging results. Radiology 2012;265(1):133–142.

25. Hong CW, Wolfson T, Sy EZ, et al. Optimization of region-of-interest sampling strategies for hepatic MRI proton density fat fraction quantification. J Magn Reson Imaging 2018;47(4):988–994.

26. Obmann VC, Marx C, Berzigotti A, et al. Liver MRI susceptibility-weighted imaging (SWI) compared to T2* mapping in the presence of steatosis and fibrosis. Eur J Radiol 2019;118:66–74.

27. 日本消化器病学会・日本肝臓学会編. MASLD 診療ガイドライン 2026（改訂第 3 版）―代謝機能障害関連脂肪性肝疾患―. 東京：南江堂, 2026. ISBN 978-4-524-27332-4.（CQ4-2, pp.53–54）

28. Akuta N, Kogiso T, Ikejima K, et al. Evidence-based clinical practice guidelines for metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease (MASLD) 2026. J Gastroenterol 2026;61(6):693–710.

29. Sterling RK, Duarte-Rojo A, Patel K, et al. AASLD Practice Guideline on imaging-based noninvasive liver disease assessment of hepatic fibrosis and steatosis. Hepatology 2025;81(2):672–724.

30. Curtis WA, Fraum TJ, An H, Chen Y, Shetty AS, Fowler KJ. Quantitative MRI of diffuse liver disease: current applications and future directions. Radiology 2019;290(1):23–30.

指針の改正

令和 8 年 5 月 7 日　指針案作成
令和 8 年 5 月 8 日　日本磁気共鳴医学会医療経済委員会による意見を募集
令和 8 年 9 月 4 日　指針案を一部改正
令和 8 年 9 月 5 日　日本磁気共鳴医学会医療経済委員会による意見を再募集
令和 8 年 9 月 7 日　日本医学放射線学会保険委員会による意見を募集
令和 8 年 10 月 13 日　日本磁気共鳴医学会理事会による意見を募集
令和 8 年 10 月 14 日　指針案を一部改正
令和 8 年 10 月 20 日　日本磁気共鳴医学会理事会承認
令和 8 年 10 月 29 日　日本医学放射線学会理事会承認
令和 8 年 10 月 30 日　日本磁気共鳴医学会ホームページ、日本医学放射線学会ホームページにて公開

以上