

エキスパートに学ぶMR撮像技術 —腹部:MRCPの道はつながる その先へ—

仙台オープン病院 診療支援部診療放射線室 ○星 英樹(Hoshi Hideki)

【はじめに】

本講義では、腹部領域の中でも胆道、膵管の形態を描出するMRCP (magnetic resonance cholangiopancreatography) にテーマを絞って解説をした。MRCPは強い T_2 強調シーケンスを用いて撮像することで、 T_1 値、 T_2 値の長い水成分を多く含む胆汁、膵液が高信号として描出される。非造影、非侵襲的に胆道・膵管の形態情報を得ることができるため、内視鏡治療や手術前の術前情報を得る目的や、スクリーニングなど広く利用されている。近年ではIPMN (intraductal papillary mucinous neoplasm) など膿胞性疾患が増加傾向にあり、国際診療ガイドライン¹⁾に基づく経過観察によりMRCPの検査件数も増加の一途をたどっている。このため、限られた予約枠時間の中で、画質を担保しながら検査時間の短縮が求められている。MRCPは装置の性能を問わず撮像できる一方で、撮像シーケンスのパラメータは各施設で既に決められており、安易に変更できない場合もあると思われる。ここでは初学者やMR専任ではない方に向けて、撮像技術の解説の前に上腹部の撮像では必須であるモーションアーチファクトを抑制するための準備や対応など、幾つか注意点やノンテクニカルな“コツ”を紹介する。続いて2Dや3D、同期撮像や息止め撮像の特徴を解説し、最後に幾つか代表的なピットフォールを提示する。詳細なシーケンスの解説や推奨パラメータは、関連書籍や日本磁気共鳴専門技術者認定機構 (<https://plaza.umin.ac.jp/~JMRTS/index.html>) の推奨撮像法を参照されたい。

【撮像の前に】

撮像に入る前の呼吸の説明は、画質の良し悪しにつながるため非常に重要である。呼吸は成人で12~20回/分程度である。呼吸により横隔膜が上下することで腹腔内臓器の位置も変動するため、変動が安定する呼吸停止期間にエコーを収集することが望ましい。呼吸同期時は、眠ってしまうと深くゆっくりした呼吸になりやすいため、眠らず軽い呼吸を続けるよう説明する。やせ型の患者の場合、呼吸センサーを臍部中心付近に設置すると大

動脈の拍動を検知してしまう場合があるため、右季肋部付近に設置することで拍動の混入を防ぎやすい。呼吸センサーでモニターした波形は安定していても、膵尾部側の膵管がブレるというケースに度々遭遇する。自由呼吸下での4D CTによる膵臓位置の変動を検証した検討によると、膵頭部より尾部の方が腹腔内で頭尾方向により大きく動くとの報告がある²⁾。このため、腹腔内臓器の呼吸変動を抑制するよう腹帯やタオルを用いた腹部の圧迫が有効である。当院では装置付属のマジックテープが付いた幅広で柔らかい素材の患者固定ベルトを用い、呼吸の状態で呼吸センサーとともにきつく巻き付けている (Fig.1)。比較的きつく巻き付けても苦痛の訴えはほとんど無いが、必ず苦しくないかの確認は必要である。また、息止撮像時は深呼吸をせず軽い呼吸で合わせるよう説明する。余裕があれば、腹部に手を当てて息止めの練習をすると理解が得られやすい。



Fig.1 腹帯による圧迫

【各種MRCP撮像法の特徴】

●Single-shot 2D MRCP

一度の励起パルスの後、反転パルスを繰り返して印加することでk空間データを埋めるため、撮像時間が1~2秒と短い。一般的に40~50 mm程度の厚いスラブで角度を変えて撮像する。呼吸の協力が得られない場合でも最低限の画像が得られるが、エコー収集中の T_2 減衰によるブラーリング (ボケ) の発生に注意が必要である。また、



Fig.2 2D MRCP

撮像後に任意の角度で観察できないことや、厚いスラブで撮像するために胃液や腸液、脳脊髄液などの重なりを排除できないなどのデメリットもある (Fig.2)。

●3D MRCP (総論)

3D撮像はSNRが高いため、高い分解能で薄いスライス画像をギャップレスで得ることができる。このため3D構築が容易であり、スラブ内の消化管や嚢胞、脳脊髄液など高信号となる不要な信号の除去 (Fig.3) や、任意の角度での表示や回転ができる。一方、single-shot 2D撮像に比べて撮像時間が長いため、呼吸変動によるモーションアーチファクトが出現しやすい。しかし、近年では高速撮像法である圧縮センシング (CS: compressed sensing) の併用により、同期撮像の時間短縮はもとより、無理のない息止時間でブレの少ない3D MRCPが撮像できるようになった。

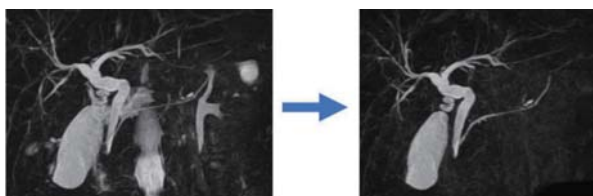


Fig.3 3D MRCPの画像処理

●呼吸同期 3D MRCP (respiratory trigger: RT)

呼吸センサーから得られた腹壁の動きの波形から、エコー収集開始のトリガーを得る。トリガーポイントは装置メーカーにより異なる場合がある。例として当院のPhilips社製装置では、吸気と呼気の50%がトリガーポイントであるため、呼気が安定するまでの時間をディレイとして設定する。撮像時間やコントラストに影響する実効TRは呼吸の速さに依存するため、安定した呼吸の指導が必要となる。呼吸が不安定な場合は収集ごとの呼気位置がずれることで、また頻呼吸では収集タイミングが吸気、呼気中にかかってしまうことで、特に膵管のブレが発生しやすい。

●横隔膜同期 3D MRCP (navigator echo: NV)

肝ドーム付近に設定したナビゲーターからエコー信号を取得することで、横隔膜の位置を得る。横隔膜の位置をモニタリングしながら、既定の域値に入ったタイミングで収集する。横隔膜位置を直接モニタリングするため、呼気位置がずれた場合に収集を除外することで安定した画

像を得やすい (Fig.4)³⁾。しかし、不安定な呼吸では除外が増えることで、撮像時間が増加する場合もある。

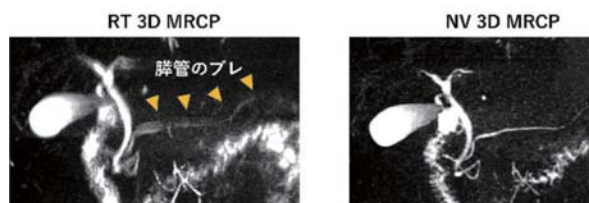


Fig.4 RT vs NV

●息止め 3D MRCP (breath hold: BH)

撮像時のアナウンスに対する患者の呼吸は様々である。「息を吸って」「息を吐いて」に依るタイムラグや、吸気、呼気量の傾向を呼吸モニター波形で把握しておき、呼気停止が安定してから収集を開始することが重要である (Fig.5)。BHは一度の呼吸停止で収集が終了するため、同期撮像に比べて検査時間短縮に極めて効果的であり (Fig.6)、呼吸性アーチファクトの低減にも有効である⁴⁾。しかし、実用的な息止時間とするためには、分解能 (スライス枚数、位相エンコード数) を下げる必要がある。また、CSの加速係数 (acceleration factor: AF) を大きく上げることでSNR (signal-to-noise ratio) が低下し、膵管の描出が悪化しやすい^{5,6)}。このため、画質を担保するためには、適宜同期撮像に切り替えるなどの対応も考慮すべきである。

GraSEはgradient echoとspin echoのハイブリッドシーケンスで、濃縮胆汁や血性胆汁症例での胆道系の描出に優れている⁷⁾。しかし、GraSEは分解能の低さから小病変の検出感度が低く、また膵体・尾部膵管の描出が劣る⁸⁾。また、経口造影剤による消化管の信号が残存しやすく背景抑制効果が劣る⁹⁾。

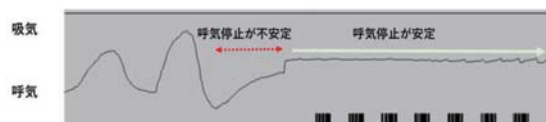


Fig.5 R息止め時の呼吸波形

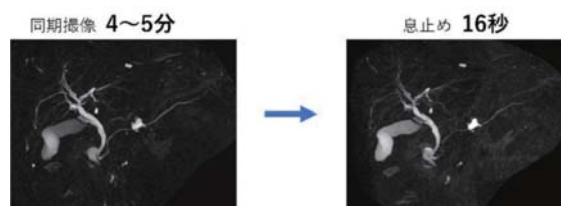


Fig.6 BHでの撮像時間の短縮

【CSのAFと画質の関係】

講演ではファントムを用いた実験を紹介し、AFと細管信号の関係を説明した。AFが高倍速となるBHでは、大きい嚢胞や緊満した胆嚢由来のゴーストの増加や、S/NRの低下による膵管や胆嚢管の描出低下に注意が必要である (Fig.7)。

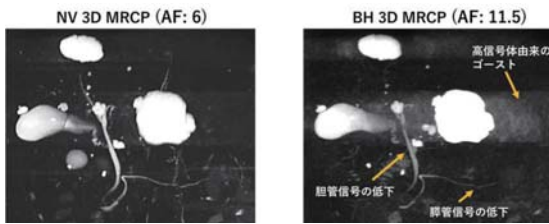


Fig.7 AF増加による画像の劣化

【MRCPのピットフォール】

●Gd-EOB-DTPA (プリモビスト) 静注後の胆道信号の低下

Gd-EOB-DTPAは胆汁中に移行するため、T₂強調の胆管信号は消失する。このため、MRCPは薬剤投与前に撮像しなければならない。

●MIP像を処理する際の注意

Fig.8aは1年前の3D MRCP MIP画像であり、経過観察で撮像したMIP画像がFig.8bである。小腸の不要な高信号を除いたところ、膵頭部に分枝型のIPMNを認めた (Fig.8c)。Fig.8aの原画像を確認したところ、MIP像のカッティング (トリミング) により膵管より足側に離れ、腸管と重なるIPMNの存在に気づかず削除していたことが判明した。Fig.8dは膵頭部と十二指腸水平脚の位置関係を示した冠状断である。MIP等の後処理の際は、病態や原画像、他の断面の確認は必須である。

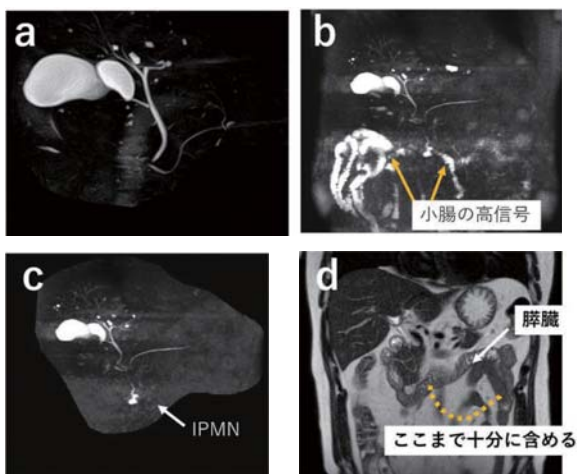


Fig.8 MIP 像の処理による病変の削除

●MIP画像での陰影欠損の消失

MIP画像は最大信号値の投影であるため、拡張した胆管内の小結石は描出されにくい (Fig.9)。3D撮像では、原画像の確認が必須である。

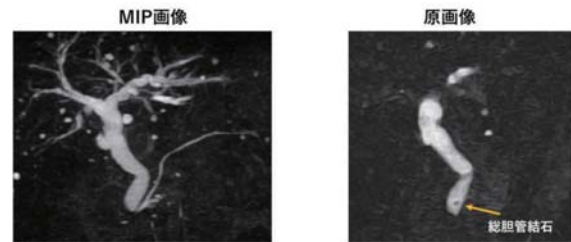


Fig.9 MIP像で確認できない総胆管結石

●胆管内の陰影欠損

MRCPで胆管内に陰影欠損を認めても、内視鏡的乳頭括約筋切開術 (endoscopic sphincterotomy: EST) 後や胆道のドレナージ後では胆管内に入り込んだ空気である場合があり、胆管結石との鑑別が必要である。また、EST後は乳頭括約筋の機能が失われるため、経口造影剤が乳頭部から胆管内に入り込むと、MRCPで胆管信号が消失する場合がある。Fig.10はT₂強調横断像で陰影欠損を示す例である。空気は管腔内の上方、結石は下方となり、中心部の陰影欠損は胆汁の流れによるフローボイドである。

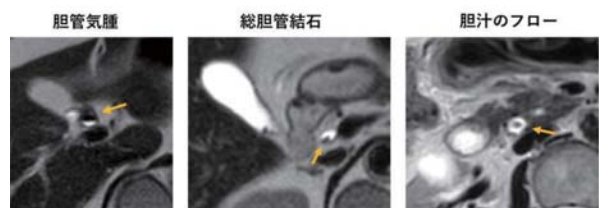


Fig.10 T₂強調横断像で見る総胆管の陰影欠損

●肝門部付近の胆管の偽狭窄

肝門部付近の総胆管が、傍を走行する右肝動脈に圧排されることで陰影欠損のように見えることがある (Fig.11)。

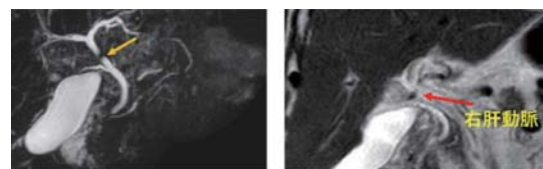


Fig.11 右肝動脈による総胆管の偽狭窄

【まとめ】

MRCPは胆道、膵管の形態情報を、非造影、非侵襲で得ることができる。息止め不良や、不安定

な呼吸によるブレやモーションアーチファクトを抑えるには、撮像前の説明を丁寧にして、リラックスして検査を受けてもらうことが非常に重要である。また、息止め時のオートボイスやRT、NVに頼り切らず、安定した呼吸のタイミングで収集できるような呼吸の傾向を注意深く観察し、適切な声掛けやディレイの設定をする必要がある。3D MRCPはBHやRT、NVなど撮像法があり、CSを併用すると検査時間短縮に非常に有用だが、画質の劣化に注意が必要である。最後に、ピットフォールを知ることは、再撮像の判断に窮する場面を減らすことにもつながるため、今後より多くの臨床画像に触れて頂きたい。

【参考文献】

- 1) 大塚隆 他:IPMN国際診療ガイドライン—次期改訂に向けて— 膵臓 36(4) 38-244 2021
- 2) Mori S, Hara R, Yanagi T, et al. : Four-dimensional measurement of intrafractional respiratory motion of pancreatic tumors using a 256 multi-slice CT scanner. *Radiother Oncol*, 92(2), 231-237, 2009
- 3) Morita S, Ueno E, Suzuki K, et al. : Navigator-triggered prospective acquisition correction (PACE) technique vs. conventional respiratory-triggered technique for free-breathing 3D MRCP: an initial prospective comparative study using healthy volunteers. *J Magn Reson Imaging*, 28(3), 673-677, 2008
- 4) Tokoro H, Yamada A, Suzuki T, et al. : Usefulness of breath-hold compressed sensing accelerated three-dimensional magnetic resonance cholangiopancreatography (MRCP) added to respiratory-gating conventional MRCP. *Eur J Radiol*, 122, 108765, 2020
- 5) Mannes I, Dallongeville A, Badat N, et al. : Breath-hold compressed-sensing 3D MR cholangiopancreatography compared to free-breathing 3D MR cholangiopancreatography: prospective study of image quality and diagnostic performance in pancreatic disorders. *Abdominal radiology (New York)*, 45(4), 1082-1091, 2020
- 6) Zhu L, Wu X, Sun Z, et al. : Compressed-Sensing Accelerated 3-Dimensional Magnetic Resonance Cholangiopancreatography: Application in Suspected Pancreatic Diseases. *Invest Radiol*, 53(3), 150-157, 2018
- 7) Morimoto-Ishikawa D, Hyodo T, Takenaka M, et al. : Comparison between gradient and spin-echo (GRASE) and compressed sensing sequences for single breath-hold three-dimensional magnetic resonance cholangiopancreatography in patients with T(1) hyperintense bile. *Eur J Radiol*, 150, 110279, 2022
- 8) Jang W, Song JS, Kim SH, Yang JD. : Comparison of Compressed Sensing and Gradient and Spin-Echo in Breath-Hold 3D MR Cholangiopancreatography : Qualitative and Quantitative Analysis. *Diagnostics (Basel, Switzerland)*, 11(4), 2021
- 9) Chien CP, Chiu FM, Shen YC, et al. : Magnetic resonance cholangiopancreatography at 3T in a single breath-hold: comparative effectiveness between three-dimensional (3D) gradient- and spin-echo and two-dimensional (2D) thick-slab fast spin-echo acquisitions. *Quantitative imaging in medicine and surgery*, 10(6), 1265-1274, 2020