

森本 大介<sup>1,2</sup>, 兵頭 朋子<sup>3</sup>, 齋藤 茂芳<sup>2</sup>, 近江 雅人<sup>2</sup>

1. 近畿大学病院 中央放射線部

2. 大阪大学大学院 医学系研究科 保健学専攻 生体物理工学講座

3. 近畿大学医学部放射線医学教室 放射線診断学部門

## 1 はじめに

磁気共鳴胆道膵管撮影 (magnetic resonance cholangiopancreatography: MRCP) は, 胆道系・膵の非侵襲的な検査として重要な役割をもつ. 臨床医が求める画像を提供するためには, 検査の目的の理解のみならず撮像技術の情報のアップデートは必要不可欠である. 例えば, 2018 年の *European Radiology* 誌の Editorial Comment “Breath-holding 3D MRCP: the time is now?” によると<sup>1)</sup>, 装置の高性能化によって MRCP の撮像方法は呼吸同期から息止めへの転換期にあるというが, はたして完全に置き換わるのだろうか. 本稿では, MRCP の役割と撮影技術について紹介し, 今後の動向を概説する.

## 2 MRCP の役割

MRCP とは MR hydrography と呼ばれる T2 強調画像の一種である. TE を通常よりも長く設定することで水信号(T2 値の長い成分)のみを描出する方法で, 特に上腹部では胆汁や膵液のみを描出し, 胆道系や膵管の内腔情報を画像化するものである. 胆道や膵の疾患 (結石, 炎症または腫瘍など) では胆管や膵管の狭窄または拡張をきたすことが多いため, その形態的評価は診断に不可欠となる. 直接造影方法である内視鏡的逆行性胆管膵管造影(endoscopic retrograde cholangiopancreatography: ERCP)は胆膵の診療におけるゴールドスタンダードである. 分解能が高いため胆管・膵管の走行を詳細に把握できるのみならず, 内視鏡を用いて管の内腔を直接観察ないし生検, さらに採石やステント留置などの治療に移行できる. しかし本検査は侵襲性が高く, 急性膵炎などの合併症が 1.6~15.7%にみられるとの報告がある<sup>2)</sup>. また, すでに急性期の炎症(胆管炎や膵炎など)がある場合には禁忌であることや, 胆管空腸吻合術後などで内視鏡的アプローチが不可能な症例が存在するなど, 適応に制限がある. これに対して, MRCP は ERCP が困難な例や禁忌の症例に対しても施行でき, 点滴静注胆嚢造影 CT 検査 (drip infusion cholangiographic-computed tomography: DIC-CT) でしばしば問題となるような造影剤の副作用の心配がない. MRCP の利点と欠点を表にまとめる(Table 1).

Table 1 MRCP の利点と欠点

MRCP の利点	経静脈造影が不要なため, 検査時の苦痛がなく, 合併症が生じない
	* DIC-CT では静脈穿刺の苦痛, 造影剤による合併症リスクがある
	膵炎, 胆管炎などの急性期に施行可能
	* ERCP は禁忌
	消化管の術後や通過障害がある場合にも施行可能
	* ERCP は内視鏡的アプローチが困難な場合施行できない

---

膵管・胆管の全体像を描出できる  
\* DIC-CT では膵管が描出されない  
閉塞部より上流の胆管や膵管の情報が得られる  
\* DIC-CT では閉塞性黄疸時に描出不良となる  
検査の施行者の技術に左右されにくい  
\* ERCP は術者の技術に依存する  
被ばくがなく、小児や妊婦でも施行可能  
\* ERCP, DIC-CT は X 線被ばくを伴う

---

MRCP の欠点 MRI 禁忌例(閉所恐怖症、ペースメーカー留置後など)に対しては施行不可  
生検、ドレナージや結石除去といった治療は不可能  
患者要因(多量の腹水、呼吸不安定など)により評価困難となりうる

---

適応疾患の例として、代表的な胆道疾患である胆石、胆嚢炎、胆管炎では結石の検出や胆管の走行、辺縁の性状の観察が重要となるため、これらに対して優れた診断能を有する MRCP の有用性は高い<sup>3,4)</sup>。また、膵嚢胞性腫瘍は良性から悪性に転化することがあり、嚢胞と膵管の経時変化をみることで悪性転化を発見できる。例えば膵管内乳頭粘液性腫瘍 (intraductal papillary mucinous neoplasm: IPMN) の国際診療ガイドラインにて、分枝型では 3 か月ないし 1 年ごとの経過観察を推奨しており<sup>5)</sup>、その手段として MRCP が第一選択となる。これらの疾患や膵胆合流異常において、膵胆管の走行および病変の位置関係を観察する必要がある。後述するシングルスライス法や MIP (maximum intensity projection: 最大強度投影法)で全体像を把握すると同時に、3D MRCP の元画像で詳細な評価を行うことがあり、このために高い空間分解能が求められる。

MRCP の欠点の 1 つとして、消化管の蠕動、呼吸の不安定性といった患者因子によって良質な MRI 取得が困難な場合があることを念頭に置く必要がある。

### 3 MRCP の撮影技術

MRCP の撮像方法にはシングルスライス法とマルチスライス法の 2 種類があり、このうちのマルチスライス法の信号データ収集には 2D 法と 3D 法がある。シングルスライス法は目的部位を厚めのスライス厚(20~70 mm 程度)で撮像するもの。マルチスライス法は目的部位を 3~5 mm 程度の薄いスライス厚で撮像し、得られた画像を MIP 処理し、再構成した projection 画像を取得する方法である。3D 法は 2D 法よりも高い信号ノイズ比 (signal to noise ratio : SNR)とより薄いスライス厚での画像取得が可能のため高い空間分解能を実現でき、多断面再構成(multiplanar reconstruction: MPR)も行えることから、マルチスライス法では一般的である(Fig. 1)。

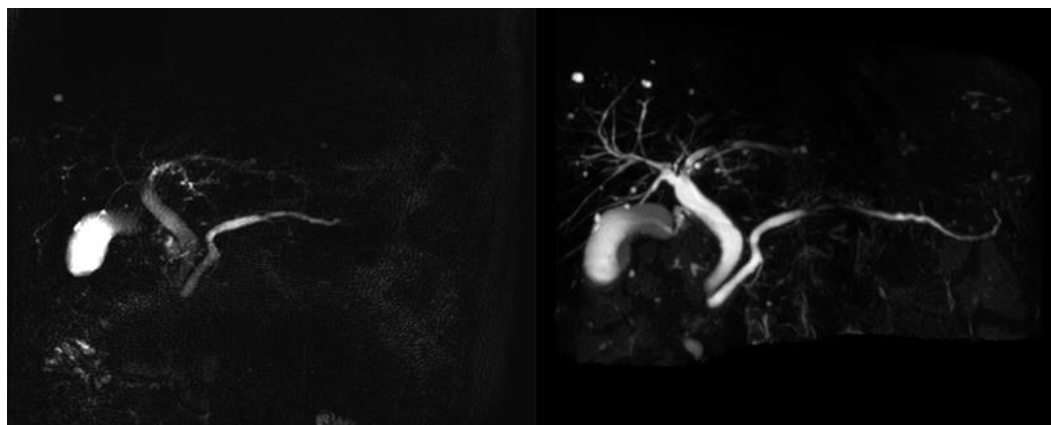


Fig.1 シングルスライス法とマルチスライス法.

a シングルスライス法 (撮像時間 9 秒, スライス厚 60 mm)

b 3D のマルチスライス法 (撮像時間 5 分 24 秒, スライス厚 1.2 mm)

シングルスライス法では非常に短い撮像時間で撮像を行えるが、厚いスライス厚で撮像するため部分容積効果によって細かい構造を描出できないことがある。3D のマルチスライス法では撮像時間が長いものの空間分解能が高い。

現在、3D 法での撮像には呼吸によるブラーリングの影響を少なくするために腹壁や横隔膜の動きに対する同期を行うことが多い<sup>6,7)</sup>。呼吸波形を観察し、trigger point, trigger delay, trigger window, TR などといったパラメータをコントロールすることで、最適なタイミングでデータ収集を行うことが重要となる<sup>8)</sup>。なお、trigger point, trigger delay, trigger window などの定義は各ベンダーによって異なるので、確認するのが望ましい。これらの手法による最大のデメリットは、呼気相でのみデータ収集を行うことによる撮像時間の延長である。近年はパラレルイメージング、echo train length (ETL) の選択、k-space のデータ充填方法などの組み合わせの自由度が上がったため、撮像時間も短縮されつつあるが、依然として 5~6 分程度の時間を要する。一方で、呼吸周期が不規則な場合には呼吸同期が不良になり、さらなる撮像時間の延長と著しいモーションアーチファクトによる画質不良という結果になる。実際、Schreiber-Zinaman らは MRCP 検査における追加撮像の最も多い理由がモーションアーチファクトで 31.9%を占めていると述べている<sup>9)</sup>。そのため、3D 撮像での撮像時間短縮と画質不良の対策が求められ、これまで gradient and spin echo (GRASE), steady-state free precession (SSFP), fast recovery fast spin-echo (FRFSE) といったシーケンスを利用して 1 回の息止めにて 3D MRCP を撮像するという試みがなされてきた<sup>10-12)</sup>。さらに、近年は圧縮センシング(compressed sensing)が臨床でも使用可能になったことでパラレルイメージングを用いる際に設定していた倍速よりも高い倍速を設定できるようになり、呼吸同期撮像は高分解能を維持したまま、撮像時間をこれまでの半分以下にすることも可能になった<sup>13-16)</sup>。また、パラメータを調整すれば、息止め撮像も可能である<sup>14, 17-19)</sup>(Fig. 2)。

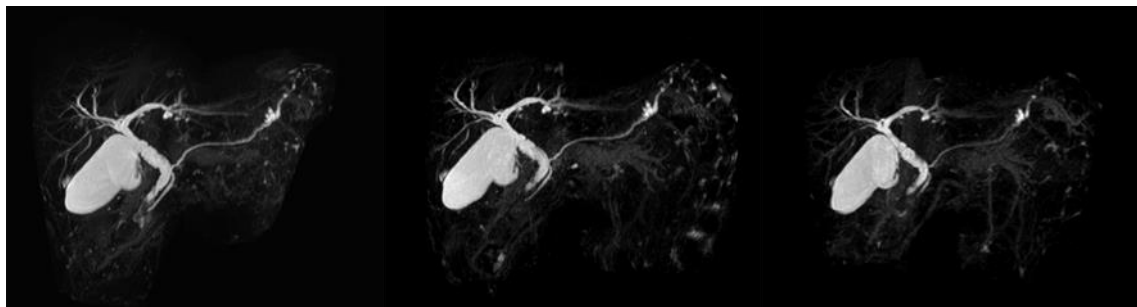


Fig.2 高速撮像法を使用した 3D MRCP.

a | b | c

76 歳女性

a: パラレルイメージングを併用した呼吸同期 3D MRCP (撮像時間 7 分 22 秒)

b: 圧縮センシングを併用した呼吸同期 3D MRCP (撮像時間 3 分 33 秒)

c: 圧縮センシングを併用した息止め 3D MRCP (撮像時間 18 秒)

いずれの撮像法でも膵尾部にある病変(分枝型 IPMN)が明瞭に示されている

しかし、圧縮センシングを利用した撮像法で注意すべきことは、いずれにおいても高速 SE 法ベースのシーケンスであるため、胆道描出が不良になる場合があるということである<sup>20)</sup>。これは、胆道が濃縮された胆汁や血性成分を含んでいることが原因の一つと考えられる。通常よりも T2 値が短くなっていることと、MRCP の撮像条件の設定が、長めの TE の設定となっているからである。このような時は、TE を短く設定することや SSFP 系

のシーケンスを利用することが対策としてあげられるが<sup>21, 22)</sup>、その他の方法の一つに GRASE を用いた息止め撮像法があり、このシーケンスを用いた撮像が再注目を浴びている<sup>23, 24)</sup>(Fig. 3)。

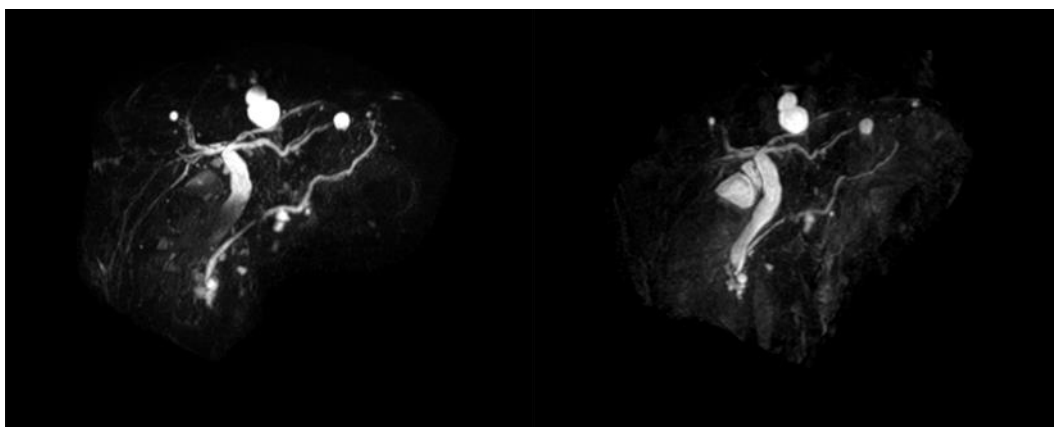


Fig.3 シーケンスによる胆道の描出能の違い

a | b

a: 圧縮センシング併用息止め 3D MRCP (TE = 650 ms)

b: GRASE を利用した息止め 3D MRCP (TE = 104 ms)

撮像シーケンスの違いによる胆嚢と中下部胆管の描出能の差がみてとれる。

装置の高性能化の恩恵で歪みの影響を受けにくくなったことと SNR の向上が好影響を与えている。現在、様々なシーケンスで、3D MRCP の撮像を行えるようになったが、大切なことは状況に応じて最適な撮像シーケンスを選択することである。このことは最近盛んに議論されている<sup>25, 26)</sup>。つまり、検査対象が胆道疾患か膵疾患のいずれなのかと患者の状態によって、呼吸同期や息止めのいずれで撮像するか、ならびに高速 SE 法・GRASE・SSFP のいずれをベースにしたシーケンスを優先すべきかを考慮するのが良いのではないかとということである。Morimoto らは、圧縮センシングを併用した 3D MRCP について呼吸同期法と息止め法のいずれの画質が優れるか、被験者に関連する因子との関係を探した<sup>26)</sup>。結果として、年齢が若い場合、検査当日の体調不良がある場合、難聴などで撮像者との意思疎通が困難な場合には呼吸同期法が息止め法よりも良好な画質を得やすいことが分かった(Table 2)。

Table.2 撮影法と画質の関係 (文献 26 より改変して転載)

被験者の因子	圧縮センシング併用呼吸同期法 (%)	圧縮センシング併用息止め法 (%)
年齢		
<65 歳	100 (13/13)	54 (7/13)
≥65 歳	79 (30/38)	82 (31/38)
性別		
女性	91 (21/23)	83 (19/23)
男性	79 (22/28)	68 (19/28)
手術歴		
なし	79 (26/33)	70 (23/33)
あり	94 (17/18)	83 (15/18)
胸水または腹水		
なし	85 (41/48)	75 (36/48)
あり	67 (2/3)	67 (2/3)
呼吸器または心疾患		
なし	86 (32/37)	70 (26/37)
あり	79 (11/14)	86 (12/14)
MRI 検査当日の体調不良*		
なし	83 (34/41)	80 (33/41)
あり	90 (9/10)	50 (5/10)

コミュニケーション不良\*\*

なし

83 (40/48)

77 (37/48)

あり

100 (3/3)

33 (1/3)

5段階評価(1:最低, 5:最高)で3以上を臨床上有効な画質とし, その割合を示している。( )内は症例数.

\*問診で確認.

\*\*難聴または認知機能低下があり意思疎通が困難となりうる状態.

また, Heらは, 圧縮センシングを併用した高速SE法とGRASEのそれぞれをベースにした息止め3D MRCPの画質の比較を行い, 胆道疾患はGRASE, 膵疾患は高速SE法で撮像を行うと良好な画像を得やすいと述べている<sup>25)</sup>. 撮像シーケンスを決定するにあたっては, このような因子も踏まえ, 臨床医と協議を行うことが望ましい.

#### 4 Abbreviated MRI 検査

先に述べたように, MRCP撮像における様々なシーケンスや技術の有用性が報告されているが, これらは既存のシーケンスと置き換えるのではなく, 追加シーケンスとして扱われることが多い. 1つのシーケンスの撮像時間を短縮できても, 1つの検査全体としての時間は変わらないということも起こり得る. 標準的な検査プロトコルに変わりうるものとして短縮プロトコル(Abbreviated MRI)を試みた報告がなされている<sup>27, 28)</sup>. その特徴は, 対象疾患や目的(初回検査用・フォローアップ用など)によって異なるプロトコルを設けることである. 現状, 膵嚢胞性病変のフォローアップで有効ではないかと言われている<sup>28)</sup>. ただ, 腹部領域ではまだ報告が少なく, シーケンスの最適化とプロトコルの検証が模索されている.

#### 5 最後に

MRCPの役割をERCPなどと比較しながら述べ, 撮像技術と世界で取り組まれている研究の紹介を行った. 今後は人工知能(Artificial Intelligence: AI)が臨床応用されるなど, 新しい撮像やオプション技術がさらに登場してくると思われる. そのような知見を検査に取り入れてゆくことで, 患者の苦痛を和らげ, 同時に必要な情報を得られるように努めたい. 本稿が日常臨床に役立てば幸いである.

#### 謝辞

今回このような機会を与えてくださった編集委員の先生方に御礼申し上げます. また, 本稿で紹介した結果の一部は, 近畿大学医学部放射線医学教室放射線診断学部門の先生方, ならびに同病院中央放射線部の宮越技術科長, 福島弘之技師, 伊藤洵技師のご協力のもと行った研究内容を含みます. この場を借りて皆様に厚く御礼を申し上げますとともに心より感謝申し上げます.

- 1) Zins M. Breath-holding 3D MRCP: the time is now? *Eur Radiol* 2018;28(9):3719-3720.  
doi:10.1007/s00330-018-5550-8
- 2) Otazo R, Kim D, Axel L, Sodickson DK. Combination of compressed sensing and parallel imaging for highly accelerated first-pass cardiac perfusion MRI. *Magn Reson Med* 2010;64(3):767-776. doi:0.1002/mrm.22463
- 3) 日本消化器病学会. 胆石診療ガイドライン 2016 (改訂第2版): 南江堂, 2016.
- 4) 急性胆管炎・胆嚢炎診療ガイドライン改訂出版委員会. 急性胆管炎・胆嚢炎診療ガイドライン 2018 (第3版): 医学図書出版, 2018.
- 5) Tanaka M, Fernandez-Del Castillo C, Kamisawa T, Jang JY, Levy P, Ohtsuka T, Salvia R, Shimizu Y, Tada M, Wolfgang CL. Revisions of international consensus Fukuoka guidelines for the management of IPMN of the pancreas. *Pancreatol* 2017;17(5):738-753. doi: 10.1016/j.pan.2017.07.007
- 6) Morita S, Ueno E, Suzuki K, Machida H, Fujimura M, Kojima S, Hirata M, Ohnishi T, Imura C. 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* 2008;28(3):673-677. doi: 10.1002/jmri.21485
- 7) Schindera ST, Miller CM, Ho LM, DeLong DM, Merkle EM. Magnetic resonance (MR) cholangiography: quantitative and qualitative comparison of 3.0 Tesla with 1.5 Tesla. *Investigative radiology* 2007;42(6):399-405. doi: 10.1097/01.rli.0000261940.98762.20
- 8) 木藤, 他. 体動との闘い—アーチファクト低減に向けた撮像技術の開発と将来展望. *INNERVISION* 2020;35(4):4-12.
- 9) Schreiber-Zinaman J, Rosenkrantz AB. Frequency and reasons for extra sequences in clinical abdominal MRI examinations. *Abdominal radiology (New York)* 2017;42(1):306-311. doi: 10.1007/s00261-016-0877-6
- 10) Wielopolski PA, Gaa J, Wielopolski DR, Oudkerk M. Breath-hold MR cholangiopancreatography with three-dimensional, segmented, echo-planar imaging and volume rendering. *Radiology* 1999;210(1):247-252. doi: 10.1148/radiology.210.1.r99ja05247
- 11) Glockner JF, Saranathan M, Bayram E, Lee CU. Breath-held MR cholangiopancreatography (MRCP) using a 3D Dixon fat-water separated balanced steady state free precession sequence. *Magnetic resonance imaging* 2013;31(8):1263-1270. doi: 10.1016/j.mri.2013.06.008
- 12) Sodickson A, Mortelet KJ, Barish MA, Zou KH, Thibodeau S, Tempany CM. Three-dimensional fast-recovery fast spin-echo MRCP: comparison with two-dimensional single-shot fast spin-echo techniques. *Radiology* 2006;238(2):549-559. doi: 10.1148/radiol.2382032065
- 13) Seo N, Park MS, Han K, Kim D, King KF, Choi JY, Kim H, Kim HJ, Lee M, Bae H, Kim MJ. Feasibility of 3D navigator-triggered magnetic resonance cholangiopancreatography with combined parallel imaging and compressed sensing reconstruction at 3T. *J Magn Reson Imaging* 2017;46(5):1289-1297. doi: 10.1002/jmri.25672
- 14) Yoon JH, Lee SM, Kang HJ, Weiland E, Raithel E, Son Y, Kiefer B, Lee JM. Clinical Feasibility of 3-Dimensional Magnetic Resonance Cholangiopancreatography Using Compressed Sensing: Comparison of Image Quality and Diagnostic Performance. *Investigative radiology* 2017;52(10):612-619. doi: 10.1097/rli.0000000000000380
- 15) Kwon H, Reid S, Kim D, Lee S, Cho J, Oh J. Diagnosing common bile duct obstruction: comparison of image quality and diagnostic performance of three-dimensional magnetic resonance cholangiopancreatography with and without compressed sensing. *Abdominal radiology (New York)* 2018. doi: 10.1007/s00261-017-1451-6
- 16) Furlan A, Bayram E, Thangasamy S, Barley D, Dasyam A. Application of compressed sensing to 3D magnetic

resonance cholangiopancreatography for the evaluation of pancreatic cystic lesions. *Magnetic resonance imaging* 2018. doi: 10.1016/j.mri.2018.05.015

- 17) Chandarana H, Doshi AM, Shanbhogue A, Babb JS, Bruno MT, Zhao T, Raithel E, Zenge MO, Li G, Otazo R. Three-dimensional MR Cholangiopancreatography in a Breath Hold with Sparsity-based Reconstruction of Highly Undersampled Data. *Radiology* 2016;280(2):585-594. doi: 10.1148/radiol.2016151935
- 18) Zhu L, Wu X, Sun Z, Jin Z, Weiland E, Raithel E, Qian T, Xue H. Compressed-Sensing Accelerated 3-Dimensional Magnetic Resonance Cholangiopancreatography: Application in Suspected Pancreatic Diseases. *Investigative radiology* 2018;53(3):150-157. doi: 10.1097/rli.0000000000000421
- 19) Chen Z, Sun B, Duan Q, Xue Y, Zheng E, He Y, Li G. Three-Dimensional Breath-Hold MRCP Using SPACE Pulse Sequence at 3 T: Comparison With Conventional Navigator-Triggered Technique. *AJR Am J Roentgenol* 2019;213(6):1247-1252. doi: 10.2214/AJR.19.21399
- 20) Irie H, Honda H, Kuroiwa T, Yoshimitsu K, Aibe H, Shinozaki K, Masuda K. Pitfalls in MR cholangiopancreatographic interpretation. *Radiographics : a review publication of the Radiological Society of North America, Inc* 2001;21(1):23-37. doi: 10.1148/radiographics.21.1.g01ja0523
- 21) Itatani R, Namimoto T, Takaoka H, Katahira K, Noda S, Toyonari N, Yamashita Y. Clinical impact of 3-dimensional balanced turbo-field-echo magnetic resonance cholangiopancreatography at 3 T: prospective intraindividual comparison with 3-dimensional turbo-spin-echo magnetic resonance cholangiopancreatography. *Journal of computer assisted tomography* 2015;39(1):19-24. doi: 10.1097/rct.0000000000000163
- 22) Itatani R, Namimoto T, Kusunoki S, Mizuguchi T, Ohtsuka S, Yamashita Y. Usefulness of the Short-Echo Time Cube Sequence at 3-T Magnetic Resonance Cholangiopancreatography: Prospective Comparison With the Conventional 3-Dimensional Fast Spin-Echo Sequence. *Journal of computer assisted tomography* 2016;40(4):551-556. doi: 10.1097/rct.0000000000000401
- 23) Nam JG, Lee JM, Kang HJ, Lee SM, Kim E, Peeters JM, Yoon JH. GRASE Revisited: breath-hold three-dimensional (3D) magnetic resonance cholangiopancreatography using a Gradient and Spin Echo (GRASE) technique at 3T. *Eur Radiol* 2018. doi: 10.1007/s00330-017-5275-0
- 24) Yoshida M, Nakaura T, Inoue T, Tanoue S, Takada S, Utsunomiya D, Tsumagari S, Harada K, Yamashita Y. Magnetic resonance cholangiopancreatography with GRASE sequence at 3.0T: does it improve image quality and acquisition time as compared with 3D TSE? *Eur Radiol* 2018;28(6):2436-2443. doi: 10.1007/s00330-017-5240-y
- 25) He M, Xu J, Sun Z, Wang S, Zhu L, Wang X, Wang J, Feng F, Xue H, Jin Z. Comparison and evaluation of the efficacy of compressed SENSE (CS) and gradient- and spin-echo (GRASE) in breath-hold (BH) magnetic resonance cholangiopancreatography (MRCP). *J Magn Reson Imaging* 2020;51(3):824-832. doi: 10.1002/jmri.26863
- 26) Morimoto D, Hyodo T, Kamata K, Kadoba T, Itoh M, Fukushima H, Chiba Y, Takenaka M, Mochizuki T, Ueda Y, Miyagoshi K, Kudo M, Ishii K. Navigator-triggered and breath-hold 3D MRCP using compressed sensing: image quality and method selection factor assessment. *Abdominal radiology (New York)* 2020. doi: 10.1007/s00261-020-02403-y
- 27) Canellas R, Rosenkrantz AB, Taouli B, Sala E, Saini S, Pedrosa I, Wang ZJ, Sahani DV. Abbreviated MRI Protocols for the Abdomen. *Radiographics : a review publication of the Radiological Society of North America, Inc* 2019;39(3):744-758. doi: 10.1148/rg.2019180123
- 28) Kang HJ, Lee DH, Lee JM, Yoo J, Weiland E, Kim E, Son Y. Clinical Feasibility of Abbreviated Magnetic

Resonance With Breath-Hold 3-Dimensional Magnetic Resonance Cholangiopancreatography for Surveillance of Pancreatic Intraductal Papillary Mucinous Neoplasm. *Investigative radiology* 2020;55(5):262-269.

doi: 10.1097/RLI.0000000000000636