

クローン病

MR enterography (MRE)

アトラス



はじめに	1
東邦大学医療センター 佐倉病院 内科学講座 鈴木 康夫	
序文	2
大阪市立総合医療センター 消化器内科 渡辺 憲治	
I. MRE検査法の解説	3
1. MRIの基本	3
東京医科歯科大学 放射線科 北詰 良雄	
2. MREの変遷	7
東京医科歯科大学 放射線科 北詰 良雄	
3. MR enteroclysis	9
札幌東徳洲会病院 IBDセンター 前本 篤男	
4. MREの前処置	13
東京医科歯科大学 放射線科 北詰 良雄	
5. MREの撮像法	16
慶應義塾大学 放射線診断科 奥田 茂男	
6. MREの所見解説	18
慶應義塾大学 放射線診断科 奥田 茂男	
7. MREの評価法	25
慶應義塾大学 放射線診断科 奥田 茂男	
II. クロウン病診療におけるMREの位置付け	29
慶應義塾大学 消化器内科 長沼 誠	
III. クロウン病に特徴的なMRE所見	30
東京医科歯科大学 消化器内科 大塚 和朗	
IV. 他疾患のMRE (MRI) 所見	34
大船中央病院 放射線科 屋代 香絵	
大阪市立総合医療センター 消化器内科 渡辺 憲治	
V. 他の画像診断法	39
1. 小腸造影検査	39
福岡大学筑紫病院 消化器内科 平井 郁仁	
2. 腹部超音波検査	42
川崎医科大学 検査診断学 内視鏡・超音波部門 畠 二郎	
3. CT enterography	45
東邦大学医療センター佐倉病院 消化器内科 竹内 健	
VI. クロウン病肛門周囲病変に対する骨盤MRIとCT	48
慶應義塾大学 放射線診断科 奥田 茂男	
VII. FAQ	55
自治医科大学 消化器内科 矢野 智則	

著者一覧

厚生労働科学研究費補助金 難治性疾患等政策研究事業「難治性炎症性腸管障害に関する調査研究」

研究代表者 東邦大学医療センター 佐倉病院 内科学講座 鈴木 康夫

クローン病MR enterography (MRE) アトラス作成 (Progress Study) プロジェクトメンバー (五十音順)

東京医科歯科大学 消化器内科	大塚 和朗
慶應義塾大学 放射線診断科	奥田 茂男
東京医科歯科大学 放射線科	北詰 良雄
東邦大学医療センター佐倉病院 消化器内科	竹内 健
慶應義塾大学 消化器内科	長沼 誠
福岡大学筑紫病院 消化器内科	平井 郁仁
自治医科大学 消化器内科	矢野 智則
大阪市立総合医療センター 消化器内科	渡辺 憲治

クローン病MR enterography (MRE) アトラス作成協力者 (五十音順)

兵庫医科大学 炎症性腸疾患学講座外科部門	池内 浩基
弘前大学 消化器血液内科学	櫻庭 裕丈
埼玉県立小児医療センター 総合診療科	原 朋子
滋賀医科大学 消化器内科	馬場 重樹
川崎医科大学 検査診断学 内視鏡・超音波部門	畠 二郎
札幌東徳洲会病院 IBDセンター	前本 篤男
大船中央病院 放射線科	屋代 香絵
大船中央病院 消化器・IBDセンター	吉田 篤史
防衛医科大学校 消化器内科	渡辺 知佳子
	穂苅 量太

はじめに

炎症性腸疾患 (IBD) 診療における画像診断の役割は、今後も従来以上にその重要性を増しつつあります。画像診断はIBDの確定診断に欠かせないばかりでなく、的確な治療法の選択や粘膜治癒判定に代表される治療効果の判定にとって正確な画像診断が求められる時代になっています。従来クローン病 (CD) においては、潰瘍性大腸炎 (UC) と違いレントゲン検査法以外正確な画像診断法の実施困難な小腸病変を有することが診療上の大きな課題とされてきました。しかし近年、新たに登場したバルーン小腸内視鏡検査法・カプセル内視鏡によってCDの小腸粘膜病変の直接的観察が可能になりました。さらには、cross sectional imagingが可能なCT/MRIの応用によってCDの画像診断法は飛躍的に向上しました。特に、欧米を中心にレントゲン被爆のないMR enterographyは他の診断法に比べCD画像診断法として有用性が高いことが報告されています。欧米同様、レントゲン被爆がなく繰り返し実施可能で患者負担の少ないcross sectional imagingの特性を合わせ持つMR enterographyを普及させ、欧米に遅れることなく、新規CD診断法を確立しその普及を図ることは緊急の課題であります。そのような状況から、本研究班では新規画像診断法を駆使し世界をリードする新たな画像診断法の確立を研究プロジェクトの一つとして掲げ、渡辺憲治先生を中心にワーキンググループの立ち上げをお願いいたしました。

そのプロジェクト研究の大きな目標は、従来の画像診断法によって得られる所見と新規画像診断法によって得られる所見との比較研究、新規画像診断法によって得られる所見に基づく新規CD診断基準策定の試みとその妥当性の検証を掲げました。そのプロジェクトにより作成された各種研究課題の一つとして、本邦におけるMR enterography普及を可能にするアトラスの作成がありました。そして今回、渡辺憲治先生をはじめとするプロジェクトメンバーの先生方による多大なるご尽力によって、MR enterographyアトラスが作成・刊行のはこびになりました。本邦においては未だMR enterographyが十分普及したとは言えず、原理から実施手順そして豊富な実症例における画像提示で構成され、さらにはCDに対し同じcross sectional imagingとして有用な超音波検査・CT enterographyの解説も加えた本書は、本邦MR enterographyの教科書となる素晴らしい実用的冊子に仕上がっております。このような素晴らしい冊子作成を成し遂げた渡辺憲治先生をはじめとするプロジェクトメンバーの先生方に深く感謝いたします。本冊子は必ずや、今後の新規CD診断基準作成に大きな貢献を果たすと同時に、多くの先生方のCD診療の参考になると確信いたします。

2017年2月

厚生労働科学研究費補助金 難治性疾患等政策研究事業
「難治性炎症性腸管障害に関する調査研究」研究代表者
東邦大学医療センター 佐倉病院 内科学講座 鈴木 康夫

序文

クローン病は青年期に好発し、慢性の経過を辿る疾患で、本邦の患者数は増加し続けており、消化器医の診療機会は今後も増えていくものと思われる。一方、クローン病に対する新規薬剤も開発が続いており、既存治療では効果不十分だったクローン病患者さんの予後改善が期待できるようになってきた。

どのような治療も100%の効果でない以上、治療の有効性を客観的に確認することが必要であり、慢性疾患であるが故、疾患活動性や合併症をモニタリングする必要がある。特にクローン病小腸病変は大腸病変に比べ、臨床症状やCRP等血液検査に疾患活動性が反映され難いことが知られており、客観的で計画的な画像診断の必要性が高いと言える臓器である。抗TNF- α 抗体製剤など従来治療より効果発現が早い治療が臨床現場に登場した結果、より緻密な診療が求められるようになったと考えている。

緻密な画像診断を得意とする本邦では、クローン病小腸病変は小腸造影での検査が主体であった。一方、患者数の多い欧米では近年、X線被曝の蓄積を回避するためMR enterography (MRE) が主流となってきている。私はクローン病患者さんの小腸画像診断のために、バルーン小腸内視鏡やカプセル内視鏡、パテンシーカプセルに関わってきたが、クローン病のdisability indexであるLémann scoreが小腸の評価をMREでするなど、MREが施行できなければ自分達の臨床データを海外に発信し難くなる時代が来るのではないかという危機感が芽生えてきた。

こうした状況を背景に、2012年11月、Progress Study (Prospective controlled study comparing balloon-assisted entoscopy and MR enterography for small bowel lesion in patients with Crohn's disease) は立ち上がった。先行して研究が進んでおられるプロトコール委員の御施設も沢山あるなか、御協力頂き続けていることに、心より感謝申し上げます。

渡辺班で立ち上がった本研究は、鈴木班のプロジェクト研究としても継続して頂いた。今回、鈴木班長より、国内のMRE普及に寄与するアトラス作成の機会を頂き、プロトコール委員を中心に分担執筆して頂いた。特に放射線科的内容については、慶應大学の奥田先生、東京医科歯科大学の北詰先生に精力的な原稿執筆をして頂き、深謝申し上げます。研究協力施設にも御協力頂いた他、班会議に関わっておられない川崎医科大学の畠教授、埼玉県立小児医療センターの原先生、大船中央病院の屋代先生にも御協力頂くことができ、完成を迎えることができた。改めて心より感謝申し上げます。MREの導入に寄与する有益なアトラスが完成したと確信致します。

バルーン内視鏡は本邦で開発されたMREと特性の異なる検査法であり、技術的にも日本は欧米に比べ施行し易い状況にある。本邦から発信すべき知見もある筈である。欧米の診療ストラテジーの課題を本邦からの発信で克服し、クローン病患者さんの予後改善に寄与する高精度な検査法を確立して参りたい。

2017年2月

大阪市立総合医療センター 消化器内科 渡辺 憲治

I. MRE検査法の解説

1. MRIの基本

東京医科歯科大学 放射線科 北詰 良雄

はじめに

MRIとは核磁気共鳴 (NMR) という現象を利用した医用画像診断法である。この章では、診療上必要な知識について焦点を絞り、

更にMR enterographyの理解を深めることを目標としたい。

1) MRの原理^{1, 2)}

MRの本体は筒型の構造で、大きなコイルから成っている。コイルとは、金属線を円形に巻いたものであるが、一番外側から静磁場コイル、シムコイル、傾斜磁場コイル、ラジオ周波数 (RF) コイルという複数のコイルで構成されている。更に、本体とは別に、撮像部位に特化した、患者の表面に置かれる小さなコイルを複数組み合わせで作られた、フェーズドアレイコイルを用いる (図1)。

フェーズドアレイコイルは、テレビやラジオのアンテナと構造、役割は基本的には同じである。つまり、生体から発生した電波、つまり電磁波をコイルにより受信する事で画像が得られる。コイルの中に棒磁石を出し入れすると、コイルに電流が流れるという、中学校の理科の実験がある。つまり、コイル内の磁束密度の変化によって電流が生じるが、これがファラデーの電磁誘導の法則であり、MRを理解する上でまず必要な知識である。

生体内には水・脂肪に含まれるH (プロトン) が多く存在するが、この原子核は電荷をもっており、回転しているため、コイルに電流が流れる現象と同様に小さな磁場を形成している。これを磁気モーメントと呼び、N極からS極へ方向性を持ったベクトルとして表される。何もしなければ、これらは外部の磁場を変化させることはないが、時間的に変化しない磁場 (静磁場) の中に置かれた環境で、特定の周波数の電磁波を外部から当てることにより、外部の磁束密度の変化が生じる。プロトンの核磁気共鳴と呼ばれる現象で、MRIは、この現象を画像化する装置である。



図1
体幹部のフェーズドアレイコイル。下腹部を中心にセットする。

2) 核磁気共鳴現象

核磁気共鳴現象を起こすためには、強い静磁場が必要である。MR装置のなかには、筒の出入り口の方向に強い静磁場が形成されているが、これはMR本体の一番外側にある静磁場コイルが作り出している。静磁場の大きさの単位はテスラ (T) である。MR装置には1.5T、3Tなどがあることは周知であるが、この静磁場の大きさを表している。

核磁気共鳴を起こすための電磁波の周波数は共鳴周波数といい、ラーモア方程式により以下のように表される。

$$\omega_0 = \gamma B_0$$

$$\omega_0 = \text{プロトンの歳差運動の角周波数 (ラーモア周波数 : Hz)}$$

$$\gamma = \text{磁気回転比}$$

$$B_0 = \text{磁場の強さ (T)}$$

共鳴周波数は、静磁場の大きさと、スピンの持っている固有の磁気回転比により決まる。通常のMR検査で使われる電磁波は、ラジオ波の周波数 (RF) 帯域であるため、RFパルスとも呼び、RFコイルより発生させる。また、プロトンは水と脂肪に含まれるが、その磁気回転比と共鳴周波数は若干異なっている。

生体内のプロトンは高速に自転しているが、その軸は回転速度するコマのように首振り運動 (味噌すり運動) をしている。首振り運動 (味噌すり運動)、もしくは歳差運動は、傾いたコマの回転軸の上端が、軸の角度を保ちながら、それ自体の回転運動の早さよりもゆっくりとした円を描くような運動のことをいう (図2)。プロトンの磁気モーメントはコマの回転軸に相当し、静磁場の中では、静磁場の向きを中心とした歳差運動をしている。個々の歳差運動

の速さは同じであるが、位相はバラバラである。RFパルスを外部から当てると、プロトンはエネルギーを吸収し、個々のバラバラだった磁気モーメントの向きは同じになり（位相が揃い）、大きな磁化ベクトルを形成する。はじめはその磁化ベクトルは静磁場の方向であるが、エネルギーの吸収により、静磁場に逆らうように歳差運動をしながら、横方向に倒れていく。RFパルスを当てた後は、歳差運動を起こしながら、徐々にその向きを静磁場の方向に戻していく。横に倒れた磁化ベクトルの歳差運動によって外部の磁束密度に変化を与え、受信コイルに電流を誘導し、減衰正弦曲線として信号が検出される。これが核磁気共鳴の原理である。

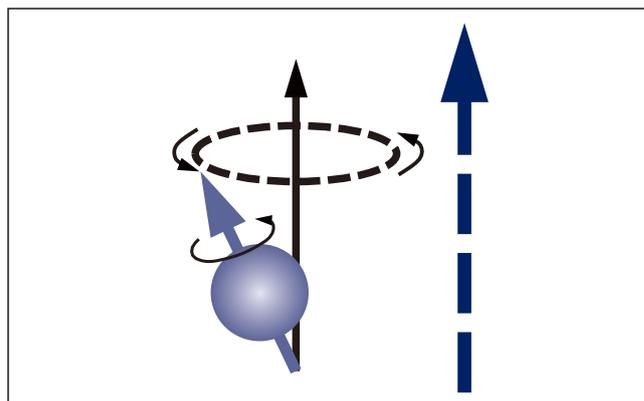


図2
プロトンの歳差運動（破線の円）。静磁場の方向（青色の破線矢印）、プロトン（青色の球）、プロトンの磁気モーメント（青色実線矢印）を示す。

3) 傾斜磁場コイルの役割

MR画像では、位置の情報が必要となってくる。ここで用いられるのが、傾斜磁場である。傾斜磁場コイルにより、位置による磁場の強さの勾配を生じさせる。縦方向に傾斜磁場がある場合

は、共鳴周波数を変化させることで、縦方向の特定の位置の信号を得ることができるようになる。

4) スピンエコー法とグラディエントエコー法

信号を得るための最初のRFパルスを励起パルスと呼ぶ。実際のMRの撮像では、励起パルスを一回当てただけでは、信号を得ることはできない。信号が減衰するのが早すぎるためである。この減衰の原因は個々のプロトンの位相が分散してしまうことが原因であるが、信号を受信するためには、その分散してしまった位相を再度収束させる必要がある。

スピンエコー法は、励起パルスの後に再収束パルスというRFパルスを追加する方法である。信号が減衰する原因は主に二つあり、個々のプロトンの間の相互作用（スピン-スピン相互作用）

と、外部磁場の不均一性がある。再収束パルスは外部磁場による位相のずれを消失させることができるため、磁化率アーチファクト、つまり局所磁場の不均一による画像の乱れの少ない画像が得られる。

再収束パルスの他にも、エコー信号を得る方法がある。傾斜磁場の反転である。この方法をグラディエントエコー法と呼ぶ。傾斜磁場の反転は、外部磁場の影響を除くことができない。従って、腸管内の空気による局所磁場の不均一の影響を強く受けてしまう。

5) T1強調画像とT2強調画像

T2、T1強調の原理の理解には、横緩和、縦緩和を知っておかなければならない。励起パルスによって横に傾いた磁化ベクトルは、位相が分散することにより横方向のベクトルは消失していき、縦方向にもどっていく。横方向の磁化ベクトルがスピン-スピン相互作用により一定の大きさまで減衰する時間を横緩和時間（T2）といい、縦方向のベクトルが、一定の大きさまで回復する時間が、縦緩和時間（T1）時間である。T2とT1は独立しており、組織はそれぞれ固有のT2、T1を持っている。その相対的な違いを強調したのが、T2及びT1強調画像である。T2強調画像では、T2の長いものが高信号、つまり白くなり、T1強調画像ではT1が短いものが高信号になる。

臨床ではT2と、T1強調画像のコントラストの違いを理解しておけばよい。水のT2とT1は共に長いので、T2強調画像では高信号、T1強調画像では低信号となる。それに対して、脂肪ではT2は長いT1は短いので、T2強調画像、T1強調画像共に高信号となる。ガドリニウム造影剤はT1を短縮させる効果があるため、T1強調画像で高信号となる。脂肪の存在は、造影剤と同じT1強調画像で高信号を示すため、造影剤によるT1短縮効果を分かり難くし得る。体幹部では、脂肪が多く存在するため、脂肪の信号を抑制した方が良い。水と脂肪の僅かな共鳴周波数の違いを利用して脂肪のみの信号を抑制する技術が周波数選択的脂肪抑制であり、造影後のT1強調画像では、必ず併用する。

6) MR enterographyで用いられる撮影法

腸管の評価目的では、呼吸停止下で撮像できる高速撮像法の利用が基本である。以下に、MR enterographyで主に使用されるシーケンスと概要を解説する。

- (1) single-shot fast spin echo sequence (以下、single-shot FSEと略す; 東芝、FASE; Philips、Single shot TSE; GE、SSFSE; Siemens、HASTE; 日立、ADA) T2強調画像である。スピネコー法の一つで、励起パルスの後の再収束パルスを連続し、一回の励起パルスで一枚の画像を得る方法である。画像の影響の少ない一部のデータを間引く(half fourier)ことにより高速化させている。スピネコー法のため、磁化率アーチファクトが少ない画像が得られ、最も重要な撮像法である。液体は高信号となるが、流速による信号消失(flow void)が生じる。
- (2) balanced steady state free precession (以下、balanced GREと略す。東芝、True SSFP; Philips、balanced FFE; GE、FIESTA; Siemens、True FISP; 日立、BASG) グラディエントエコー法の一つで、縦磁化および横磁化ベクトルの変化を一定に保たせる、定常状態歳差運動(steady state free precession、SSFP)による撮像法である。T2強調画像であるが、T1の影響も受けるため、T2/T1コントラストを示す。この撮像法は、水の流れによる位相分散を抑えるため、血管や腸管の液体が均一に高信号になる。また、エコー時間、つまり励起パルスからエコー信号を得るまでの時間が非常に短い(数ms以内)ため、水と脂肪のプロトンの共鳴周波数の差が画像に影響を与える。1.5Tの場合はTEが2.27ms前後で水と脂肪の磁化ベクトルが反対向きに

なって打ち消しあう[out of phase]になるため、一つのvoxel内に同じ量の水と脂肪が含まれる場合は信号が消失する。皮下や腹腔内脂肪織と筋、臓器との境界に縁取りのような低信号が生じ、black boundary artifactと呼ばれている。また、磁場の中心からはなれると、磁場の不均一や過電流の影響で、banding artifactが生じやすい。

- (3) 脂肪抑制併用の3次元T1強調画像(three-dimensional fat-saturated T1-weighted spoiled GRE sequences; 東芝、Quick 3Ds; Philips、e-THRIVE; GE、LAVA; Siemens、3D VIBE; 日立、TIGRE) グラディエントエコー法で、TRとTEを非常に短くし、小さいフリップ角を使用して撮像時間を短縮した撮像法である。通常は、周波数選択反転パルスを使用して脂肪抑制を行い、残留横磁化を消失させる傾斜磁場もしくはRFパルスを用いることで、T1コントラストを強調する。スピネコー法と比べて磁化率アーチファクトが強いという欠点があるが、経静脈的ガドリニウム造影との併用により腸管壁が明瞭に描出されるため、有用性は非常に高い。

そのほか、急性期脳梗塞の検出に用いられる拡散強調画像が、MR enterographyでも腸管の潰瘍病変の検出に有用であることが知られており、可能であれば追加撮影した方が良い。また、balanced GREを単一の断面で一枚一秒以下の間隔で連続撮影することで、腸管の動きを評価するcine MRIにより、蠕動運動といった機能的な評価も可能である。

7) 1.5Tと3Tの違い

MRの信号強度は静磁場の強さに比例するため、1.5Tよりも3Tの方が信号・雑音比が高い画像が得られる。しかし、局所磁場の不均一による磁化率アーチファクトの大きさは、1.5Tよりも3Tの方が強い。共鳴周波数は、3Tは1.5Tの倍になるため、in phaseのTEは1.5Tの1/2になる。MR画像の範囲は、体幹部のフェイスドアレイコイル(トルソコイル)の感度の範囲に左右されるが、一般に3Tで保障される範囲は1.5Tよりも狭いことが多い。私たちの施設の経験では、3Tは1.5Tと比べて撮像範囲に遜色はない(図3)。むしろ高い信号雑音比により、1.5Tよりも高解像度の撮像ができるため、その恩恵は大きいと考えている。

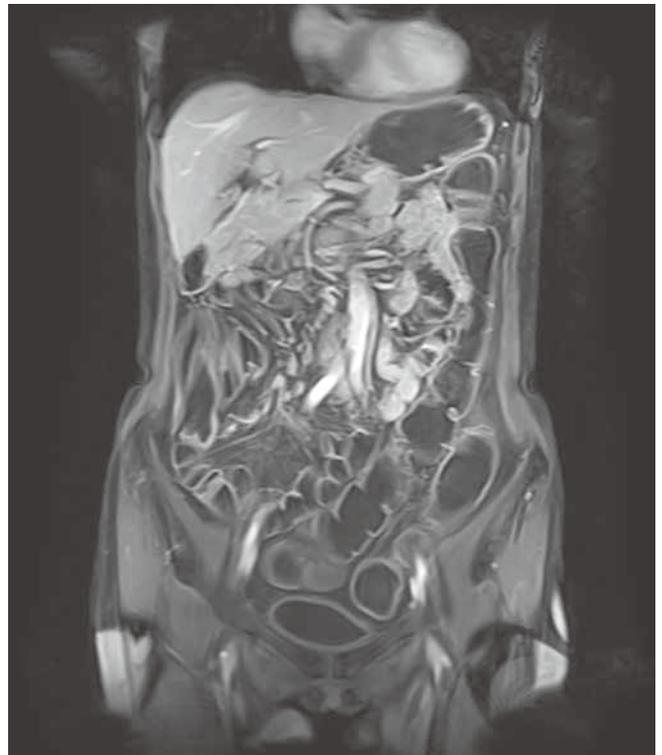


図3
3T MR (TRILLIUM OVAL, 日立) で撮像したガドリニウム造影3D T1強調冠状断像。45cmを超える範囲で撮像が可能。小腸、大腸を十分に評価できる。

8) MR enterographyの適応と禁忌

8)-1 適応について

MR enterographyは、非侵襲的な検査であり、クローン病の小腸、大腸の腸管外の病変だけでなく、潰瘍病変の評価に有用である。内視鏡検査やX線造影検査と異なり、全層性炎症の評価ができることが長所である。ECCOのガイドラインにおいてもCT・MR enterographyの役割が明記されており、初回の診断目的だけでなく、そのfollow upにも有用とされている³⁾。

8)-2 禁忌、注意事項について¹⁾

MR enterographyの禁忌および注意事項については、経口造影剤による前処置に関するものと、MR撮影自体に関するものに分けられる。主なものを以下に挙げる。

(1) 前処置に関する禁忌

穿孔や腸閉塞の可能性のある患者。経口造影剤による腸管の拡張は、病状を悪化させる可能性があるため、原則併用しない。

(2) MR撮影に関する禁忌、注意事項

医療機器のMR対応の可否については、各機器により異なるため使用説明書、添付文書を確認する必要がある。

- 1) ペースメーカー・植込み型除細動器 (ICD)。原則禁忌である。近年ではMR対応のものが使用できるようになったが、デバイスの使用説明書に記載された撮像条件で行う必要がある。

現状ではMR enterographyで使用するシークエンスについては定められていない。

- 2) 脳動脈瘤クリップ。近年ではMRI対応の製品があるが、かならず説明書を確認しなければならない。
- 3) 目のメイクアップ用品。強磁性体を含む顔料が含まれている。
- 4) 補聴器。原則取り除く。
- 5) 入れ墨。火傷のおそれがある。
- 6) 体表に金属が存在する場合。

通常安全である装着金属部品は以下のとおりである。体内の固定具。整形外科の人工関節部分など強く固定されているものであること。

8)-3 妊婦について

原則的にはMRの胎児に対する安全性は確立されていない。一般的にはMRは、検査のbenefitがdemeritを上回った時に施行すべきである。妊娠初期の3カ月については、自然流産の比率が高いため、その適応には慎重でなければならない。また、ガドリニウム造影については羊水中に排出され胎児と羊水の間で循環してしまうため、合併症などの報告はないが妊娠中のいかなる時期においても原則禁忌である。

おわりに

MRを撮影する際は、特有のアーチファクトの撮像法の理解のため、画像化のための知識(位相および周波数エンコード、k空間など)が必要であるが、ここでは省略したため他の専門書を参照

されたい。MR enterographyのシークエンスの基本的な理解とその適応について、知っておくべき最低限必要な事項を中心に概説した。

参考文献

1. 金森 勇雄, ら. MRの実践 -基礎から読影まで- (診療画像検査法). 医療科学社, 2011年
2. Ray Hashman Hashemi, ら. 荒木 力 監訳 MRIの基本 パワーテキスト 第2版. メディカル・サイエンス・インターナショナル, 2004年
3. Panes J, et al. Imaging techniques for assessment of inflammatory bowel disease: Joint ECCO and ESGAR evidence-based consensus guidelines. Journal of Crohn's and Colitis. 2013; 7: 556-585.

2. MR enterographyの変遷

東京医科歯科大学 放射線科 北詰 良雄

はじめに

Cross-sectional imagingでは、消化管は内腔が虚脱していると正しい評価が難しい。MRでは空気ではなく液体を用いて小腸を拡張させる方法が用いられてきた。その手法が、MR enterographyとMR enteroclysisである。Enterographyでは経口的に投与を行い、enteroclysisは経鼻空腸チューブを介して注入する方法と定義されている。近年では、MR enterographyの手法で、小腸

だけでなく大腸の評価を行った報告もされるようになってきており、enterocolonographyという用語を用いた文献も見られるようになってきた。その一方で、液体による注腸を用いて大腸を評価する方法がMR colonographyである。本稿では、炎症性腸疾患、主にクローン病の消化管病変に対するMR評価の変遷と現況について、これらの手法を中心に示したい。

1) MR enterography vs. MR enteroclysis

消化管のMRIは、1980年代までは、その撮像時間の長さや空間、コントラスト分解能の低さから、直腸癌の局所のstagingの他にはほとんど使用されず、クローン病の腸管病変の評価については、Cross-sectional imagingとしてはCTが先行していた¹⁾。MRでは、高速グラディエントエコー法の開発によりガドリニウム造影前後のT1強調画像を用いた臨床応用が1991年から報告されるようになり²⁾、更に1998年にsingle-shot FSE³⁾、2000年にbalanced GREによる有用性が示され⁴⁾、その後これらの3種類のシーケンスが一般的に用いられるようになった。経口の消化管造影剤については、1994年、1995年の初期のクローン病のMRの研究より検討が行われていたが、現在一般的に用いられているbiphasicな(2相性の)コントラスト、つまりT2強調画像で高信号、T1強調画像で低信号を示す消化管造影剤であるPEGの経口投与を用いた消化管のMRの研究は、2001年に健常者に対して、また2003年にクローン病患者に対してイタリアのグループにより始めて報告されている⁵⁻⁷⁾。Enterographyという用語はCTが先行しており、1997年から使用されるようになったが⁸⁾、MR enterographyという表題は2005年のフランス語の文献が最初である⁹⁾。

Enteroclysisを併用したMRは、1997年ドイツ語による報告から始まり¹⁰⁾、2000年からは成人のクローン病の評価方法として、数施設から報告されるようになる^{4, 11-22)}。しかし、MR enterographyという用語が用いられるようになってから程なく、2007年、2008年にMR enterographyとenteroclysisを比較した研究が行われ、拡張の程度については空腸、近位回腸を中心にenteroclysisの方が優れているが、病変の検出については差がないということが明らかとなった^{23, 24)}。その報告の前後より、MR enterographyによる報告が大勢を占めるようになり、2012年以降はMR enteroclysisの報告はほとんど見られなくなっている。

Enteroclysisは、拡張させるという点においては理想的であるが、チューブを挿入する事に対して患者の受け入れはあまり良くないこと、チューブを挿入する際、X線透視を用いなければならないといった欠点がある。それに対してenterographyは患者自身が飲水するため、チューブを挿入することに比べれば患者、施行医の負担が少ないことが、普及するに至った理由と考えられる。

2) MR colonographyとMR enterocolonography

MR colonographyは注腸を行う方法であり、大腸の腫瘍性病変の検出に用いられたきたが、クローン病でも2004年に初めて報告されている²⁵⁾。温水を1から1.5mの静水圧で直腸チューブを介して1000から2000mL注入する²⁵⁻²⁸⁾。Enterographyとcolonographyを併用することで、良好な診断結果が示されている^{29, 30)}。しかし、近年の文献を見る限り、colonographyを行っている施設は限られているようである^{31, 32)}。

MR enterocolonography (MREC) という用語は、2011年に初めて報告された³³⁾。経口投与のみで注腸を併用せず、大腸、小腸を同時に評価する方法として用いられており、現在日本と

フランスからの文献で使用されている³⁴⁻³⁶⁾。また、近年ではEnterographyと称して大腸も評価対象にしている報告も見られるようになった³⁷⁻⁴¹⁾。注腸を行わない場合、表層の病変の検出が低くなる可能性はあるが、クローン病において必要な全層性炎症の評価は十分可能であり、負担が少なく導入が容易であるという利点がある。特にクローン病は小児にも罹患しうるため、侵襲性のより低い検査の需要は高い⁴²⁾。経口により小腸および大腸を同時に拡張させる方法としてenterographyの前処置を2回繰り返す方法⁴³⁾や、前日夜にmagnesium citrateによる下剤を用いる方法³³⁾などが報告されている。

参考文献

1. Goldberg HI, et al. Computed tomography in the evaluation of Crohn disease. *AJR Am J Roentgenol.* 1983; 140: 277-282.
2. Semelka RC, et al. Bowel disease: prospective comparison of CT and 1.5-T pre- and postcontrast MR imaging with T1-weighted fat-suppressed and breath-hold FLASH sequences. 1991; 1: 625-632.
3. Marcos HB. MR imaging of the small bowel using the HASTE sequence. *AJR Am J Roentgenol.* 1998; 170: 1457-1463.
4. Gourtsoyiannis N, Papanikolaou N, Grammatikakis J, Maris T, Prassopoulos P. MR imaging of the small bowel with a true-FISP sequence after enteroclysis with water solution. *Invest Radiol.* 2000; 35: 707-711.
5. Magnano G, et al. Polyethylene glycol and contrast-enhanced MRI of Crohn's disease in children: preliminary experience. *Pediatr Radiol.* 2003; 33: 385-391.
6. Laghi A, et al. Polyethylene glycol solution as an oral contrast agent for MR imaging of the small bowel. *AJR Am J Roentgenol.* 2001; 177: 1333-1334.
7. Laghi A, et al. Contrast enhanced magnetic resonance imaging of the terminal ileum in children with Crohn's disease. *Gut.* 2003; 52: 393-397.
8. McNicholas MM, et al. Multiplanar helical CT enterography in patients with Crohn's disease. *AJR Am J Roentgenol.* 1997; 169: 1545-1550.
9. Godefroy C, et al. Value of contrast-enhanced MR enterography in pediatric Crohn's disease: preliminary study. *J Radiol.* 2005; 86: 1685-1692.
10. Aschoff AJ, et al. MR enteroclysis for nuclear spin tomographic diagnosis of inflammatory bowel diseases with contrast enhancement. *Rofo.* 1997; 167: 387-391.
11. Umschaden HW, et al. Small-bowel disease: comparison of MR enteroclysis images with conventional enteroclysis and surgical findings. *Radiology.* 2000; 215: 717-725.
12. Maglinte DD, et al. MR enteroclysis: the future of small-bowel imaging? *Radiology.* 2000; 215: 639-641.
13. Papanikolaou N, et al. MR enteroclysis imaging of Crohn disease. *Radiographics.* 2001; 21 Spec No: S161-S172.
14. Masselli G, et al. Assessment of Crohn's disease in the small bowel: Prospective comparison of magnetic resonance enteroclysis with conventional enteroclysis. *Eur Radiol.* 2006; 16: 2817-2827.
15. Negaard A, et al. Magnetic resonance enteroclysis in the diagnosis of small-intestinal Crohn's disease: diagnostic accuracy and inter- and intra-observer agreement. *Acta Radiologica.* 2006; 47: 1008-1016.
16. Malagò R, et al. Assessment of Crohn's disease activity in the small bowel with MR-enteroclysis: clinico-radiological correlations. *Abdom Imaging.* 2008; 33: 669-675.
17. Sailer J, et al. Anastomotic recurrence of Crohn's disease after ileocolic resection: comparison of MR enteroclysis with endoscopy. *Eur Radiol.* 2008; 18: 2512-2521.
18. Koilakou S, et al. Endoscopy and MR enteroclysis: Equivalent tools in predicting clinical recurrence in patients with Crohn's disease after ileocolic resection. *Inflamm Bowel Dis.* 2010; 16: 198-203.
19. Wiarda BM, et al. Small bowel Crohn's disease: MR enteroclysis and capsule endoscopy compared to balloon-assisted enteroscopy. *Abdom Imaging.* 2011; 37: 397-403.
20. Ziech MLW, et al. Retrospective comparison of magnetic resonance imaging features and histopathology in Crohn's disease patients. *European Journal of Radiology.* 2011; 80: e299-e305.
21. Fork F-T, et al. Small bowel enteroclysis with magnetic resonance imaging and computed tomography in patients with failed and uncertain passage of a patency capsule. *BMC Medical Imaging.* 2012; 12: 3.
22. Grieser C, et al. Magnetic resonance enteroclysis in patients with Crohn's disease: fat saturated T2-weighted sequences for evaluation of inflammatory activity. *Journal of Crohn's and Colitis.* 2012; 6: 294-301.
23. Negaard A, et al. A prospective randomized comparison between two MRI studies of the small bowel in Crohn's disease, the oral contrast method and MR enteroclysis. *Eur Radiol.* 2007; 17: 2294-2301.
24. Masselli G, et al. Comparison of MR enteroclysis with MR enterography and conventional enteroclysis in patients with Crohn's disease. *Eur Radiol.* 2007; 18: 438-447.
25. Narin B, et al. Combined small and large bowel MR imaging in patients with Crohn's disease: a feasibility study. *Eur Radiol.* 2004; 14: 1535-1542.
26. Schreyer AG, et al. Comparison of magnetic resonance imaging colonography with conventional colonoscopy for the assessment of intestinal inflammation in patients with inflammatory bowel disease: a feasibility study. *Gut.* 2005; 54: 250-256.
27. Ajaj W, et al. Small bowel hydro-MR imaging for optimized ileocecal distension in Crohn's disease: should an additional rectal enema filling be performed? Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company. 2005; 22: 92-100.
28. Akata D, et al. Magnetic resonance colonography for the evaluation of colonic inflammatory bowel disease: correlation with conventional colonoscopy. *J Comput Assist Tomogr.* 2008; 32: 848-854.
29. Ajaj WM. Magnetic resonance colonography for the detection of inflammatory diseases of the large bowel: quantifying the inflammatory activity. *Gut.* 2005; 54: 257-263.
30. Rimola J, et al. Magnetic resonance for assessment of disease activity and severity in ileocolonic Crohn's disease. *Gut.* 2009; 58: 1113-1120.
31. Quaiá E, et al. Biochemical markers and MR imaging findings as predictors of crohn disease activity in patients scanned by contrast-enhanced MR enterography. *Acad Radiol.* 2014; 21: 1225-1232.
32. Rimola J, et al. Characterization of Inflammation and Fibrosis in Crohn's Disease Lesions by Magnetic Resonance Imaging. *Am J Gastroenterol.* 2015; 110: 432-440.
33. Hyun SB, et al. Magnetic resonance enterocolonography is useful for simultaneous evaluation of small and large intestinal lesions in Crohn's disease. *Inflamm Bowel Dis.* 2011; 17: 1063-1072.
34. Buisson A, et al. Commentary: diffusion-weighted magnetic resonance imaging - a novel way to assess disease activity in Crohn's disease? Authors' reply. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics.* 2013; 37: 834-834.
35. Sato H, et al. Magnetic resonance enterocolonography in detecting erosion and redness in intestinal mucosa of patients with Crohn's disease. *J Gastroenterol Hepatol.* 2015; 30: 667-673.
36. Takenaka K, et al. Comparison of Magnetic Resonance and Balloon Enteroscopic Examination of the Small Intestine in Patients With Crohn's Disease. *Gastroenterology.* 2014; 147: 334-342.
37. Sauer CG, et al. Magnetic Resonance Enterography Healing and Magnetic Resonance Enterography Remission Predicts Improved Outcome in Pediatric Crohn Disease. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition.* 2016; 62: 378-383.
38. Sauer CG, et al. Comparison of Magnetic Resonance Enterography With Endoscopy, Histopathology, and Laboratory Evaluation in Pediatric Crohn Disease. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition.* 2012; 55: 178-184.
39. Li X-H, et al. Assessment of Activity of Crohn Disease by Diffusion-Weighted Magnetic Resonance Imaging. *Medicine (Baltimore).* 2015; 94: e1819.
40. Prezzi D, et al. Monitoring Crohn's disease during anti-TNF- α therapy: validation of the magnetic resonance enterography global score (MEGS) against a combined clinical reference standard. *Eur Radiol.* 2016; 26: 2107-2117.
41. Bhatnagar G, et al. Changes in dynamic contrast-enhanced pharmacokinetic and diffusion-weighted imaging parameters reflect response to anti-TNF therapy in Crohn's disease. *British Journal of Radiology.* 2015; 88: 20150547.
42. Gee MS, et al. MRI in patients with inflammatory bowel disease. *J Magn Reson Imaging.* 2011; 33: 527-534.
43. Ziech MLW, et al. Accuracy of abdominal ultrasound and MRI for detection of Crohn disease and ulcerative colitis in children. *Pediatr Radiol.* 2014; 44: 1370-1378.

3. MR enteroclysis

札幌東徳洲会病院 IBDセンター 前本 篤男

はじめに

クローン病の小腸の検査は従来では経口小腸造影検査、近年ではバルーンアシスト小腸内視鏡やカプセル内視鏡検査により行われている。しかし狭窄病変や腸管外への炎症波及や手術による癒着の問題で内視鏡検査の制限があることや、X線被曝の低減の観点からMRIによる小腸評価の重要性が増している。

MRIによる小腸の評価は、炎症あるいは狭窄の評価のためにcontrast mediumで充満させて小腸内腔を広げて撮像する必要がある。経口的に負荷する方法はMR enterography、経鼻

チューブを十二指腸または空腸などに留置して負荷する方法はMR enteroclysisと呼ばれる。

1990年台から2000年にかけて開発された当初は、主にMR enteroclysisによる有用性が報告^{1,2)}され確立してきた。2003年にLaghiら³⁾により小児例で経口法によるMR enterographyが登場して以来、近年ではMR enterographyが主流になりつつある。しかし鮮明な小腸病変の描出などMR enteroclysisには今なおその有益性があると思われる^{4,5)}。

1) MR enteroclysisの方法

(1) 前処置

小腸内の腸液をできるだけ大腸に移動することを目的に、前日夜にピコスルファートナトリウム水溶液10mL内服し、当日は検査まで絶飲食とする。

(2) 経鼻チューブの挿入方法

従来報告されたMR enteroclysisは、あらかじめ透視下に十二指腸あるいは空腸まで造影チューブを挿入してからMR撮像を行い、contrast mediumは用手あるいは注入ポンプを用い、80~150mL/hr1のスピードで1500~2000mLを注入する方法である。

むしろ透視下で十二指腸に留置するのが確実で、きわめて条件の良い画像がとれる。しかし日本では在宅経腸栄養療法が広く普及しているため、5~8Frの経鼻栄養チューブを胃内まで挿入し、contrast mediumを手動的に注入することもできる。この場合、透視を使わないであらかじめ胃内に留置することが可能でありX線被曝の軽減化をはかることができる。また鼻腔入り口から50~70cm挿入するが、70cm挿入できれば無透視でも十二指腸に挿入される例が増える。

(3) contrast mediumの種類と投与量

単に水を投与すると、速やかに吸収されてしまうために小腸の腸管の拡張は得られない。そのため非吸収性の水溶液がcontrast mediumとして用いられる。MR enterographyと同様にポリエチレングリコール、メチルセルロース溶液などを用いることが一般的であるが、グルコマンナン添加飲用水を用いることもある。

(4) MR enteroclysisの撮像(表1)

① MR fluorography

胃内に留置した経鼻チューブから、contrast mediumを注入しつつ、Heavy-T2 weighted image ; single shot fast spin echo (SSFSE) を8秒ごとに繰り返し撮影し、MR fluorographyといわれるバリウム充盈法に類似した像を得る(図1)。この過程で、胃からcontrast mediaが小腸に流れていく状況がよく観察

され、すでに拡張した小腸や強い狭窄、病変による小腸運動の制限、癒着などが観察される(図2)。また通過時間や流出時間をモニタリングすることができる。

また通過時間や流出時間をモニタリングすることができる。

経鼻チューブから約500~1500mLのcontrast mediumを注入し、胃内に多量の溶液が溜まっている場合には最後に吸引する。最終的には小腸には約500~1000mLほど注入するが可能な限り多くいれる方がよい画像が得られる。

注入している介助者はMR室内にいるため、撮影画像が確認できないが、操作室にももう一人の医師または放射線技師が観察し、極度に小腸に溶液がたまる場合もreal timeに観察されるため、狭窄が強い場合などは、検査室内にいる介助者に合図を送り途中で注入中止も可能である。

表1 MR enteroclysisの撮影条件の例

プロトコール例	
1	T2W SPAIR TSE, TR/TE 700/80ms, slice thickness 10mm
2	SSh heavyT2, TR/TE 8000/740, slice thickness 70mm
3	Balanced/CINE, TR/TE 2.6/1.28, slice thickness 10mm (MR Fluorography)
4	Pre Gd 3D FFE, TR/TE 3.1/1.54, slice thickness 2mm
5	Gd Dynamic 3D FFE, TR/TE 3.1/1.54, slice thickness 2mm
6	Gd 3D FFE cor, TR/TE 3.5/1.66, slice thickness 2mm
7	3D balanced, TR/TE 3.8/1.92, slice thickness 1.5mm
8	T2W SPAIR TSE cor, TR/TE 700/100ms, slice thickness 20mm



A | B | C

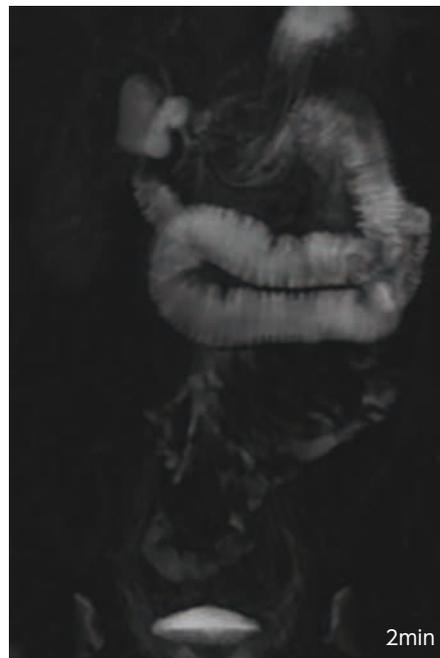
図1

MR fluorographyと小腸X線検査

MR fluorography (A) は、バリウム充盈 (B) および二重造影 (C) による小腸X線検査に類似した画像を得ることができる。



0min



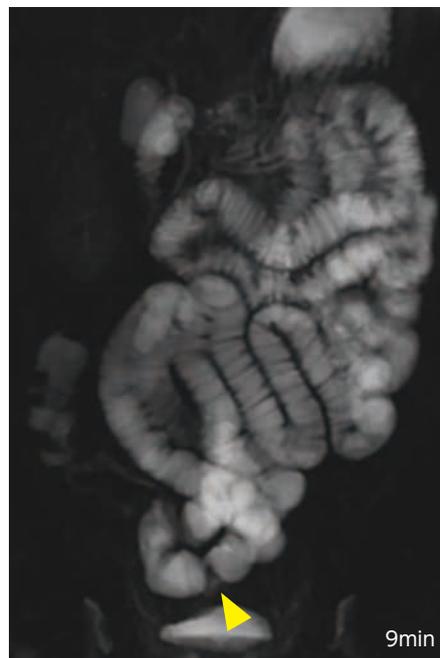
2min



3min



4min



9min

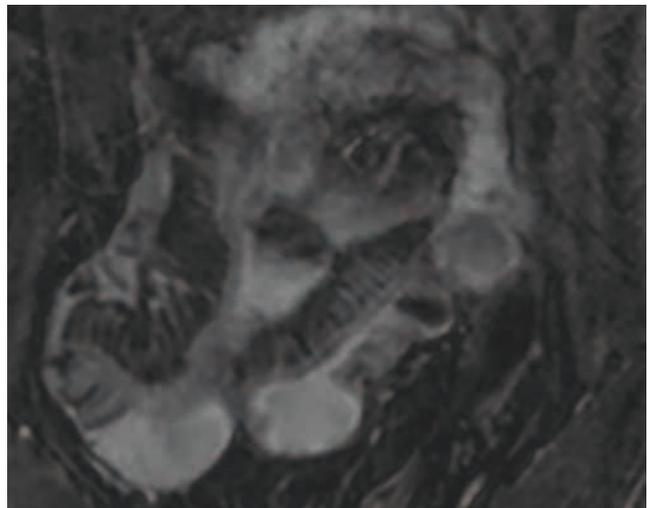
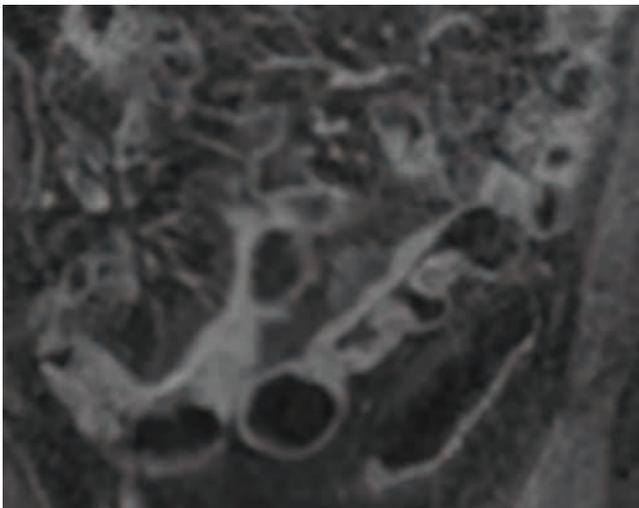
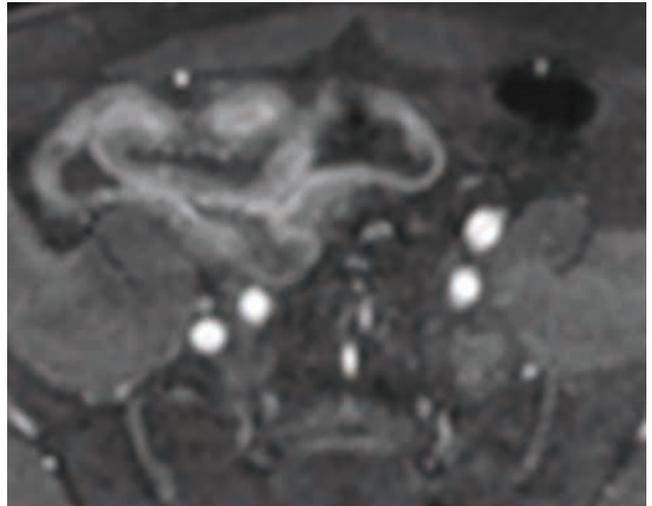
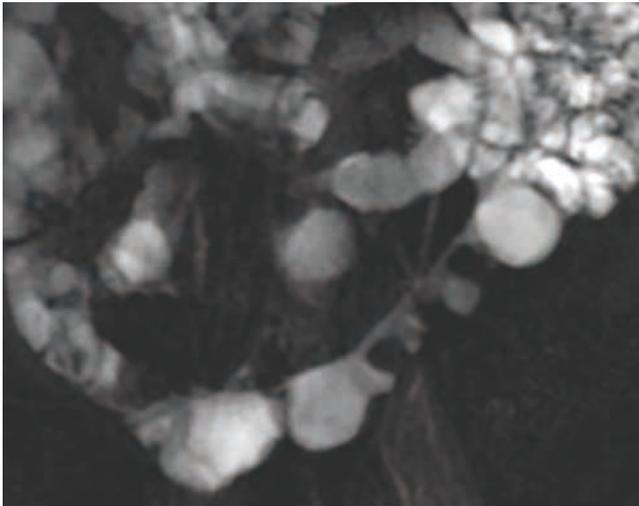
図2

MR fluorographyによる小腸病変の描出
 十二指腸まで挿入された経鼻胃管から0.05%
 グルコマンナン添加溶液を800mL注入。回腸
 に狭窄部が描出 (▲印) されている。

② 横断面、前額面の撮像

Contrast mediumが回腸末端まで到達し、大腸に流れるのを確認したら注入を終了し、鎮痙剤を投与して腸管運動を抑制し、造影前の横断面の撮像をする。引き続き、ガドリニウム造影剤

を投与し、造影下でfat suppressed T1 weighted spoiled gradient echo sequenceで横断面と前額面を撮影する(図3, 図4)。

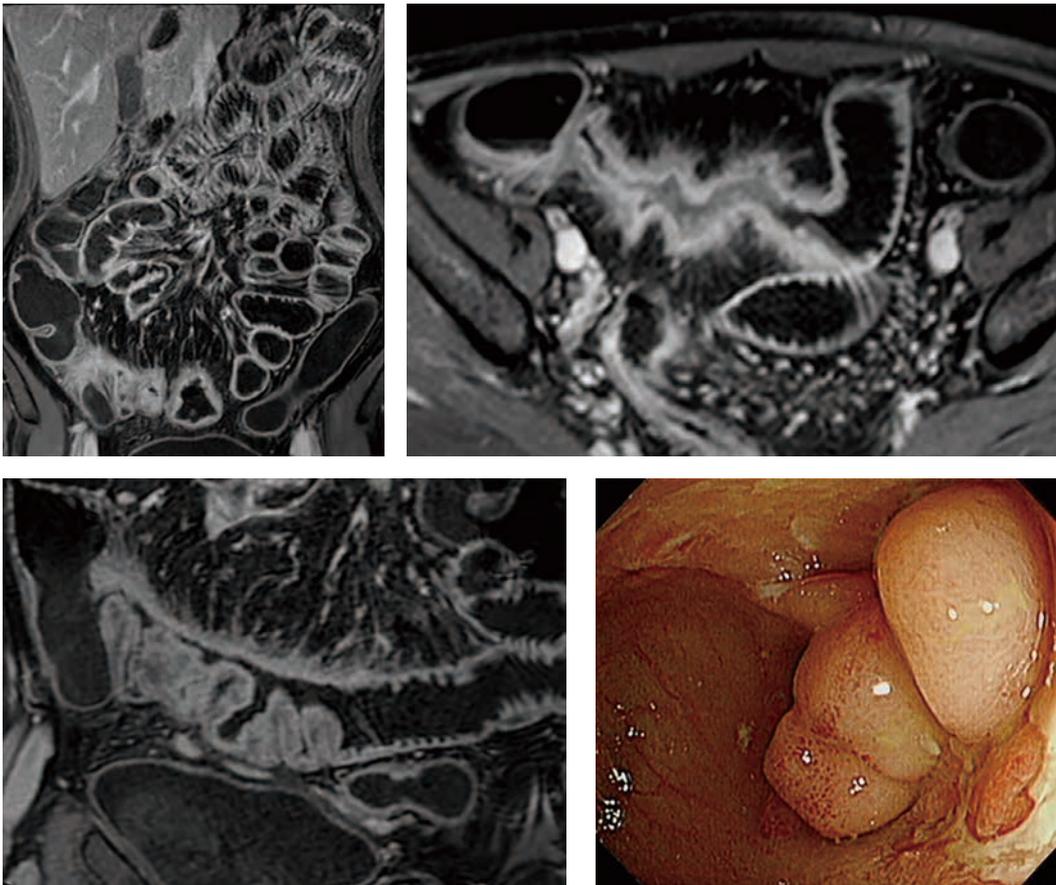


A	B
C	D

図3

症例1 (40歳代、男性、小腸大腸型)

MR fluorographyにて回腸に縦走潰瘍を認める(A)。Ga造影T1横断面画像(B)、前額面(C)ではskipして壁肥厚を認め、3D balanced T1画像(D)では壁肥厚および櫛状の血管増成を認める。



A	B
C	D

図4

症例2 (20歳代、女性、小腸大腸型)

Ga造影T1前額面(A)では空腸および上部回腸には異常所見を認めない。GaT1横断面(B)、前額面(C)では、大腸内視鏡検査による回腸の縦走潰瘍と狭窄(D)に一致して壁肥厚と造影効果を認め、腸管外への炎症の波及を示唆する腸管外intensityの増加、血管増生を認める(岸和田徳洲会病院 植田智恵先生からの画像供与)。

2) MR enterographyと比べたMR enteroclysisの利点・欠点

(1) 利点

- ・確実性 : 小腸に確実にcontrast mediaを注入することができる。
- ・易拡張性 : 大腸は虚脱しているため、小腸は最大限に拡張することができる。
- ・安全性 : MR enterographyでは十分に小腸が拡張されたかを確認する方法がないため、多量のcontrast mediaの飲用は避けられず、特に狭窄が強い症例では注意が必要であるが、MR enteroclysisでは、小腸にcontrast mediaが順次流入する状況が観察できるため安全性が高い。

- ・下剤の減量 : 大量の下剤を飲まなくてもよいことは、普段、大腸内視鏡検査の前処置を繰り返して行っている患者にとっては負担軽減になる。

(2) 欠点

- ・X線被曝 : MR enteroclysisの原法では透視下に十二指腸または空腸にチューブを留置して行うが、多少なりともX線被曝の問題は回避できない。しかし経鼻チューブを用いることにより非透視下での検査は可能である。
- ・患者負担 : チューブ自体の患者への負担があることには変わらない。

■ 参考文献

1. Umschaden HW, et al. Small-bowel disease: comparison of MR enteroclysis images with conventional Enteroclysis and surgical findings. Radiology. 2000; 215: 717-725.
2. Gourtsoyiannis N, et al. MR imaging of the small bowel a true-FISP sequence after enteroclysis with water solution. Invest Radiol. 2000; 35: 707-711.
3. Laghi A, et al. Contrast enhanced magnetic resonance imaging of the terminal ileum in children with Crohn's disease. Gut. 2003; 52: 393-397.
4. 蘆田知史,ら. クロウン病における画像診断法の進歩-MRIによる小腸病変の診断-日消誌. 2010; 107: 863-867.
5. 前本篤男,ら. クロウン病の小腸病変評価におけるmodified magnetic resonance enteroclysisの有用性. 消化器内科. 2012; 54: 552-559.

4. MR enterographyの前処置

東京医科歯科大学 放射線科 北詰 良雄

MR enterographyで用いられる腸管造影剤は、その信号強度の特徴から3種類、つまり陽性、陰性、2相性に分類される。陽性はT1強調画像・T2強調画像でどちらも高信号、陰性は低信号、2相性は、T1強調画像で低信号・T2強調画像で高信号と定義されている^{1, 2)}。陽性の腸管造影剤としては、ガドリニウムや、塩化マンガ、クエン酸鉄アンモニウムを含む溶液、ブルーベリージュース、パイナップルジュースなどがある。これらは、壁の厚さや瘻孔の描出に優れるが、ガドリニウム製剤の静脈注射後の粘膜もしくは壁の増強効果が内腔の高信号によりマスクされてしまう恐れがある。陰性腸管造影剤は、超常磁性酸化鉄などが挙げられるが、日本で製品化されたものはない。これらは、T2強調画像で壁の浮腫や、腹腔内の膿瘍の描出に適しているとの報告もあるが、内腔の磁化率アーチファクトにより壁の評価が不正確になる可能性が指摘されている。2相性造影剤は、水と同じ信号強度を示すものである。T1強調画像での増強効果が見やすいだけでなく、T2強調

画像で潰瘍による粘膜面の陥凹がよりよく描出できる。水のほか、マンニトール、ポリエチレングリコール (polyethylene glycol、以下PEGと略す)、水とメチルセルロースの溶液、低濃度の硫化バリウムとソルビトール (Volumen[®]; Bracco社、イタリア)、locust bean gumなどがある。この中でも、Volumen[®]は、小腸の拡張がよく保たれ、飲みやすく、好んで使用しているという報告が米国、イタリアから出ているが、日本を含めすべての国で使用できるものではない^{1, 3)}。PEGは良好な小腸の拡張が得られるため、その有用性については多くの報告があるが、速やかに排泄されてしまうため検査の終了まで待てない可能性があること、下痢になりやすいという短所がある。しかしながら、安価であり、大腸内視鏡の前処置として普及しており、最も使用しやすい。水のみを使った報告があるが、速やかに吸収されてしまうため、拡張剤としては適さない。

1) 国内外の状況(文献報告)

2014年から2016年にかけて海外のjournalで報告され、東京医科歯科大学で閲覧が可能だったクローン病に対するMRの原著論文の中から、前処置について記載のある34編を抽出した⁴⁻³⁷⁾。この34編の論文における前処置の方法を示す (Table 1)。2編以上の報告のあったのは5施設で、28施設からの報告だった。34の論文のうち、小児を対象とした論文は3編だった。地域に分類すると、ヨーロッパ 14施設19編 (ドイツ 2施設2編、イタリア 5施設6編、UK 2施設 4編、フランス 1施設2編、スペイン 1施設2編、デンマーク 1施設1編、ポーランド 2施設2編)、USA 6施設6編、アジア 8施設9編 (トルコ 1施設1編、中国 3施設3編、韓国 1施設1編、日本 3施設4編) だった。

前処置の方法については、論文中の用語に関わらず、経口によるものを「enterography」、経鼻十二指腸チューブによるものを「enteroclysis」、経直腸的な腸管造影剤の注入を「rectal enema」とした。その内訳については、28施設全てenterographyであり、enteroclysisとの併用がドイツの1施設⁴⁾で見られた。Rectal enemaの併用は2施設4編 (イタリア、スペイン)^{7, 8, 13, 14)} だった。

小腸拡張の目的ではなく、腸管洗浄を目的とした経口投与を行ったものは3施設5編だった。その腸管洗浄の方法は、4時間前のPEG投与^{13, 14)}、前日夜のmagnesium citrate^{32, 33)} またはFleet Phospho Soda[®] (腸管洗浄剤)²¹⁾ だった。

Enterographyで用いられた腸管造影剤については、28施設の

うち2つは、同施設の2編の報告で使用しているものが異なっていたため別にカウントし、30のプロトコルとした。すべて2相性の造影剤で、多かった順に列挙すると、PEG 9、mannitol 7、Volumen[®] 6、locust bean gum + mannitol 3、Volumen[®] + Read-Cat[®] 1、magnesium citrate + simethicone 1、sorbitol 1、water + Osmolak[®] 1、water 1だった。上位4つの腸管造影剤と国との関係を見ると、PEGはイタリア、フランス、スペイン、ポーランド、日本、mannitolはイタリア、スペイン、UK、中国、Volumen[®]はUSA、デンマーク、locust bean gum + mannitolはドイツ、UKで使用されていた。

投与量については、体重で量を決めている論文が2編だった^{22, 27)}。その他は、各プロトコルの投与量について、幅があるものはその上限を集計すると、中央値は1500mL (900-4000mL) だった。投与開始時間については、記載があったのは23のプロトコルで、同様に上限を集計すると、中央値は55分 (30-120分) だった。

大腸を評価対象に含めた論文は、34編中17編だった^{8, 11-14, 16-19, 23, 28, 29, 31-35)}。論文中の記載については、「enterocolonography」の用語の使用はそのうち2施設4編で、どちらも経口だけの前処置だった^{11, 12, 32, 33)}。Rectal enemaを併用した2施設4編の論文^{7, 8, 13, 14)}では、「enema」という用語が用いられたが、「colonography」の使用は見られなかった。

2) 国内施設の状況(アンケート調査)

国内の施設に対してアンケート方式で調査を行った。16施設中、14施設 (慶應大学、大阪市立大学、福岡大学筑紫病院、久留米大学、東邦大学医療センター佐倉病院、埼玉医科大学、札幌東徳洲会病院IBDセンター、滋賀医科大学、自治医科大学、防衛医科大学校消化器内科、弘前大学、東京医科歯科大学、大船中央病院、大阪市立総合医療センター) から回答が得られた。

前処置なしが1施設、Enterographyは12施設、Enteroclysis

は1施設だった。

Enterographyで用いられた腸管造影剤については、PEGが8施設、PEGもしくはmagnesium citrate が2施設、magnesium citrateが2施設だった。Enterographyの検査前の投与時間については、有効回答は12施設中8施設で得られ、中央値はMR撮像開始前75分 (60-240) だった。投与量についての有効回答は11施設で得られ、中央値は1200mL (1000-2000mL) だった。

Table 1. 2014-2016年に国際Journalに掲載されたMR enterography, enteroclysis34編における前処置の方法

国	施設名	MR	前処置の方法		評価対象		小児	腸管造影剤	量 (mL)	飲水開始時間 (MR開始前、min)	掲載Journal	掲載年	引用
			Enterography /Enteroclysis	Rectal enema	大腸	小腸							
Germany	University Hospital of Ulm	1.5 T	Yes/ Yes	No	No	Yes	No	locust bean gum and mannitol	1500	90	Acta Radiologica	2016	(4)
Germany	University Hospital Essen	1.5 T	Yes/ No	No	No	Yes	No	locust bean gum and mannitol	1000-1500	記載なし	Neurogastroenterol Motil	2015	(5)
Italy	"Sapienza" University of Rome, Sant'Andrea Hospital,	1.5 T	Yes/ No	No	No	Yes	No	PEG	2000	35-40	Clinical Imaging	2016	(37)
Italy	Umberto I Hospital Sapienza University,	1.5 T	Yes/ No	No	No	Yes	No	PEG	1400	45	Radiology	2016	(6)
Italy	University of Trieste	1.5 T	Yes/ No	Yes	No	Yes	No	PEG	2000	60	J magn reson imaging	2015	(7)
Italy	University of Trieste	1.5 T	Yes/ No	Yes	Yes	Yes	No	PEG	2000	60	Academic Radiology	2014	(8)
Italy	University of Naples	記載なし	Yes/ No	No	No	Yes	No	magnesium citrate plus simethicone	4000	120	Radiology	2015	(9)
Italy	University of Bari "Aldo Moro"	1.5 T	Yes/ No	No	No	Yes	No	mannitol	1500	45-55	Gastroenterology Research and Practice	2015	(10)
France	University Hospital Estaing	1.5 T	Yes/ No	No	Yes	Yes	No	PEG	1000	25 or 40	Digestive and Liver disease	2016	(11)
France	University Hospital Estaing	1.5 T	Yes/ No	No	Yes	Yes	No	PEG	1000	25 or 40	Aliment Pharmacol Ther	2015	(12)
Spain	Hospital Clínic de Barcelona, University of Barcelona	3 T	Yes/ No	Yes	Yes	Yes	No	mannitol.	1000-1500	45	Am J Gastroenterol	2015	(13)
Spain	Hospital Clínic de Barcelona	3 T	Yes/ No	Yes	Yes	Yes	No	PEG	1500	45	Gut	2015	(14)
Poland	Wroclaw Medical University	記載なし	No/Yes	No	No	Yes	Yes	Water	1500-2000	記載なし	Adv Clin Exp Med.	2016	(36)
Poland	Poznan University of Medical Sciences	記載なし	Yes/ No	No	No	Yes	No	PEG	1500	30-40	Abdominal imaging	2015	(15)
Denmark	Copenhagen University Hospital Herlev	1.5 T	Yes/ No	No	Yes	Yes	No	VoLumen	1350	45-60	Scandinavian Journal of Gastroenterology	2015	(16)
UK	University College London	1.5 T	Yes/ No	No	Yes	Yes	No	mannitol	1000	45	British journal or Radiology	2015	(17)
UK	University College London	1.5 T	Yes/ No	No	Yes	Yes	No	locust bean gum and mannitol	1500	45	Eur Radiol	2015	(18)
UK	University College London Hospitals	1.5 T or 3 T	Yes/ No	No	Yes	Yes	No	mannitol	1200-2000	記載なし	Aliment Pharmacol Ther	2015	(19)
UK	Warwick Hospital, South Warwickshire National Health Service Foundation Trust	1.5 T	Yes/ No	No	No	Yes	No	mannitol	1200-1300	50-55	AJR	2014	(20)
Turkey	Istanbul Medeniyet University Goztepe Education and Research Hospital	1.5 T	Yes/ No	No	No	Yes	No	Water and Osmolak	1500 and 1500	120 and 60	Eur j Radiol	2015	(21)
USA	University of Michigan Health System,	1.5 T and 3 T	Yes/ No	No	No	Yes	Yes	VoLumen	weight-based	記載なし	Pediatr Radiol	2015	(22)
USA	Emory University School	1.5 T or 3 T	Yes/ No	No	Yes	Yes	No	Volumen	450-900	記載なし	Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition	2015	(23)
USA	Beth Israel Deaconess Medical Center	3 T	Yes/ No	No	No	Yes	Yes	VoLume and Readi-Cat	900 and 450	45	Pediatric Radiol	2015	(24)
USA	NYU Langone Medical Center	1.5 T	Yes/ No	No	No	Yes	No	VoLumen	900	30	AJR	2015	(25)
USA	Thomas Jefferson University	1.5 T	Yes/ No	No	No	Yes	No	VoLumen	1350	60	Abdominal imaging	2015	(26)
USA	Weill Cornell Medical College/ NewYork-Presbyterian Hospital	1.5 T	Yes/ No	No	No	Yes	No	VoLumen	15 mg/ kg PO	45	Abdominal imaging	2015	(27)
China	The First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University	3 T	Yes/No	No	Yes	Yes	No	mannitol	1500	記載なし	Medicine	2016	(35)
China	The First Affiliated Hospital of Sun Yat-Sen University	3 T	Yes/ No	No	Yes	Yes	No	mannitol	1600-2000	60	Medicine	2015	(28)
China	The First Affiliated Hospital of China Medical University,	1.5 T and 3 T	Yes/ No	No	Yes	Yes	No	Mannitol and water	250 and 750	記載なし	Int J Colorectal Dis	2014	(29)
Korea	University of Ulsan College of Medicine	3 T	Yes/ No	No	No	Yes	No	sorbitol	1500	記載なし	Radiology	2016	(30)
Japan	Keio University	1.5 T	Yes/ No	No	Yes	Yes	No	PEG	1200-1500	45-60	Abd Radiol	2016	(34)
Japan	National Defense Medical College	1.5 T	Yes/ No	No	Yes	Yes	No	PEG	1000-1500	60	J Gastroenterol Hepatol	2015	(31)
Japan	Tokyo Medical and Dental University	1.5 T	Yes/ No	No	Yes	Yes	No	PEG	1000	60	Inflam Bowel Disease	2015	(32)
Japan	Tokyo Medical and Dental University	1.5 T	Yes/ No	No	Yes	Yes	No	PEG	1000	60	Gastroenterology	2014	(33)

最後に

MR enterographyの前処置について概説した。国内ではPEGが主に使用されていることが明らかとなった。Magnesium citrateの使用も調査対象の施設のうち約3割でみられ、海外の最近の文献よりも割合としては多い。海外ではPEGの他、enterographyでの

使用を目的として認可された腸管造影剤があるが、国内ではその選択肢がないのが現状である。また、近年ではenterographyの前処置のみで大腸まで評価する報告が多く、今後も一般的になっていく可能性がある。

■ 参考文献

1. Masselli G, et al. MR imaging of the small bowel. *Radiology*. 2012; 264: 333-348.
2. Gee MS, et al. MRI in patients with inflammatory bowel disease. *J Magn Reson Imaging*. 2011; 33: 527-534.
3. Towbin AJ, et al. CT and MR Enterography in Children and Adolescents with Inflammatory Bowel Disease. *Radiographics*. 2013; 33: 1843-1860.
4. Stanescu-Siegmund N, et al. Quantification of inflammatory activity in patients with Crohn's disease using diffusion weighted imaging (DWI) in MR enteroclysis and MR enterography. *Acta Radiol*. 2017; 58: 264-271.
5. Hahnemann ML, et al. Quantitative assessment of small bowel motility in patients with Crohn's disease using dynamic MRI. *Neurogastroenterol Motil*. 2015; 27: 841-848.
6. Masselli G, et al. Diagnosis of Small-Bowel Diseases: Prospective Comparison of Multi-Detector Row CT Enterography with MR Enterography. *Radiology*. 2016; 279: 420-431.
7. Quaiá E, et al. Impact of gadolinium-based contrast agent in the assessment of Crohn's disease activity: Is contrast agent injection necessary? *J Magn Reson Imaging*. 2016; 43: 688-697.
8. Quaiá E, et al. Biochemical markers and MR imaging findings as predictors of Crohn disease activity in patients scanned by contrast-enhanced MR enterography. *Acad Radiol*. 2014; 21: 1225-1232.
9. Catalano OA, et al. Evaluation of Quantitative PET/MR Enterography Biomarkers for Discrimination of Inflammatory Strictures from Fibrotic Strictures in Crohn Disease. *Radiology*. 2016; 278: 792-800.
10. Scardapane A, et al. Assessment of Disease Activity in Small Bowel Crohn's Disease: Comparison between Endoscopy and Magnetic Resonance Enterography Using MRIA and Modified MRIA Score. *Gastroenterology Research and Practice*. 2015; 2015: 159641.
11. Buisson A, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance enterocolonography in predicting remission after anti-TNF induction therapy in Crohn's disease. *Dig Liver Dis*. 2016; 48: 260-266.
12. Buisson A, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging is effective to detect ileocolonic ulcerations in Crohn's disease. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*. 2015; 42: 452-460.
13. Rimola J, et al. Characterization of Inflammation and Fibrosis in Crohn's Disease Lesions by Magnetic Resonance Imaging. *Am J Gastroenterol*. 2015; 110: 432-440.
14. Jauregui-Amezaga A, et al. Value of endoscopy and MRI for predicting intestinal surgery in patients with Crohn's disease in the era of biologics. *Gut*. 2015; 64: 1397-1402.
15. Eder P, et al. The influence of anti-TNF therapy on the magnetic resonance enterographic parameters of Crohn's disease activity. *Abdom Imaging*. 2015; 40: 2210-2218.
16. Jesuratnam-Nielsen K, et al. Plain magnetic resonance imaging as an alternative in evaluating inflammation and bowel damage in inflammatory bowel disease - a prospective comparison with conventional magnetic resonance follow-through. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*. 2015; 50: 519-527.
17. Bhatnagar G, et al. Changes in dynamic contrast-enhanced pharmacokinetic and diffusion-weighted imaging parameters reflect response to anti-TNF therapy in Crohn's disease. *British Journal of Radiology*. 2015; 88: 20150547.
18. Prezzi D, et al. Monitoring Crohn's disease during anti-TNF- α therapy: validation of the magnetic resonance enterography global score (MEGS) against a combined clinical reference standard. *Eur Radiol*. 2016; 26: 2107-2117.
19. Plumb AA, et al. Magnetic resonance imaging-quantified small bowel motility is a sensitive marker of response to medical therapy in Crohn's disease. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*. 2015; 42: 343-355.
20. Sinha R, et al. Small-intestinal length measurement on MR enterography: comparison with in vivo surgical measurement. *AJR Am J Roentgenol*. 2014; 203: W274-W279.
21. Gücer FI, et al. Evaluation of Crohn's disease activity by MR enterography: Derivation and histopathological comparison of an MR-based activity index. *European Journal of Radiology*. 2015; 84: 1829-1834.
22. Barkmeier DT, et al. MR enterography-histology comparison in resected pediatric small bowel Crohn disease strictures: can imaging predict fibrosis? *Pediatr Radiol*. 2015; 46: 498-507.
23. Sauer CG, et al. Magnetic Resonance Enterography (MRE) Healing and MRE Remission Predicts Improved Outcome in Pediatric Crohn Disease. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*. 2016; 62: 378-383.
24. Shenoy-Bhangle AS, et al. Value of diffusion-weighted imaging when added to magnetic resonance enterographic evaluation of Crohn disease in children. *Pediatr Radiol*. 2016; 46: 34-42.
25. Ream JM, et al. High Spatiotemporal Resolution Dynamic Contrast-Enhanced MR Enterography in Crohn Disease Terminal Ileitis Using Continuous Golden-Angle Radial Sampling, Compressed Sensing, and Parallel Imaging. *AJR Am J Roentgenol*. 2015; 204: W663-W669.
26. Guglielmo FF, et al. Identifying decreased peristalsis of abnormal small bowel segments in Crohn's disease using cine MR enterography: the frozen bowel sign. *Abdom Imaging*. 2015; 40: 1-7.
27. Rosenbaum DG, et al. Longitudinal diffusion-weighted imaging changes in children with small bowel Crohn's disease: preliminary experience. *Abdom Imaging*. 2015; 40: 1-6.
28. Li X-H, et al. Assessment of Activity of Crohn Disease by Diffusion-Weighted Magnetic Resonance Imaging. *Medicine (Baltimore)*. 2015; 94: e1819.
29. Jiang X, et al. MR imaging of distal ileal and colorectal chronic inflammatory bowel disease—diagnostic accuracy of 1.5 T and 3 T MRI compared to colonoscopy. *Int J Colorectal Dis*. 2014; 29: 1541-1550.
30. Seo N, et al. MR Enterography for the Evaluation of Small-Bowel Inflammation in Crohn Disease by Using Diffusion-weighted Imaging without Intravenous Contrast Material: A Prospective Noninferiority Study. *Radiology*. 2016; 278: 762-772.
31. Sato H, et al. Magnetic resonance enterocolonography in detecting erosion and redness in intestinal mucosa of patients with Crohn's disease. *J Gastroenterol Hepatol*. 2015; 30: 667-673.
32. Takenaka K, et al. Correlation of the Endoscopic and Magnetic Resonance Scoring Systems in the Deep Small Intestine in Crohn's Disease. *Inflamm Bowel Dis*. 2015; 21: 1832-1838.
33. Takenaka K, et al. Comparison of Magnetic Resonance and Balloon Enteroscopic Examination of the Small Intestine in Patients With Crohn's Disease. *Gastroenterology*. 2014; 147: 334-342.
34. Naganuma M, et al. Findings of ulceration and severe stricture on MRE can predict prognosis of Crohn's disease in patients treated with anti-TNF treatment. *Abdominal Radiology*. 2017; 42: 141-151.
35. Zhu J, et al. Can Dynamic Contrast-Enhanced MRI (DCE-MRI) and Diffusion-Weighted MRI (DW-MRI) Evaluate Inflammation Disease: A Preliminary Study of Crohn's Disease. *Medicine (Baltimore)*. 2016; 95: e3239.
36. Iwańczak B, et al. Assessment of Magnetic Resonance Enterography in the Diagnosis of Small Bowel Diseases in Children with Crohn's Disease. *Adv Clin Exp Med*. 2016; 25: 111-115.
37. Iannicelli E, et al. Magnetic resonance enterography in Crohn's disease: new simple proposal to assess disease activity. *Clin Imaging*. 2016; 40: 492-497.

5. MREの撮像法：Progress Study撮像プロトコール

慶應義塾大学 放射線診断科 奥田 茂男

MRI撮像にあたっては、撮像装置の性能により撮像条件が制限を受ける、装置ベンダーによりシーケンス呼称が異なる、など条件の統一が難しい点がある。そこで、多施設で施行可能な撮像条件とするため、記載は大まかにとどめ、なるべく緩和した撮像条件を最低ラインとして記載した。また、装置や撮像法の改良、開発は急速である。このため、装置によっては、より撮像条件を高めて高精細な画像を撮像することも可能であり、各施設の状況に合わせて最適化していただくことが望ましい。

MREの撮像でまず留意する点は、小腸～大腸までを評価対象とするため、上腹部から骨盤腔下縁まで広範囲を撮像対象に収める必要があることである¹⁾。そのため、広範囲をカバーできる受信コイルの使用が望ましい。位置決め用画像で、結腸脾彎曲頂点から肛門縁までを十分入れるよう留意するが、被験者の体格が大きいと、それが難しい場合がある。そのような時には結腸の連続性を優先して、脾彎曲を撮像範囲に入れた上で、肛門側は割愛せざるを得ないことも十分あり得る。

撮像シーケンスとしては、①T2強調像、②balanced SSFP法(コントラストはT2/T1に相当する)、および、③造影前後での脂肪抑制T1強調像の、体軸横断像と冠状断像が最低限必要である。いずれも呼吸停止下での撮像が望ましいが、呼吸停止が持続できない場合には、横隔膜の位置を監視しながら撮像するナビゲーターや、腹壁の動きに合わせて撮像を行うペローズ法などの呼吸同期を用いて撮像することも考慮する。T2強調像は、動きによるブレが少ないシングルショット法を用いる。また、T1強調像は、スライス厚を薄くするため、3D撮像法が望ましい。消化管

蠕動を評価するため、一定時間に同一断面を連続撮像してシネ・ループで観察する方法や²⁻⁴⁾、炎症評価や膿瘍検出のための拡散強調像などの有用性もこれまで報告されている⁵⁾。これらの撮像は新しい情報をもたらす可能性があるが探求的であり、検査時間をなるべく短縮するという目的のもと、今回の必須プロトコールからは除外した。

標準プロトコールは、被験者入室から退出まで25分を目標にしているが、撮像をスムーズに行うためには慣れが必要であり、習熟度により検査時間が影響を受ける可能性がある。検査途中で鎮痙剤を投与するものの、下剤を服用した後の検査であり、長時間、検査室にとどまることは避けた方が望ましい。蠕動評価を行う場合には、連続撮像を行ってから、鎮痙剤を投与する必要がある。撮像パラメータについては、別表を参照いただきたい。

MRI用造影剤(ガドリニウム造影剤)は、病変のコントラストを向上させるため、使用することが望ましい。造影効果は、活動性のある炎症や、線維化した陳旧性病変にも認められる。MRI造影剤は、透析例を含め腎機能が低下している場合、同種薬剤にてアレルギーの既往がある場合には禁忌である。また、喘息の場合も原則禁忌である。造影剤の投与にあたっては、コントラストを向上させ、また、投与からの時間経過など条件を一定にさせるため、MRI対応の自動注入器を利用した急速静注法が望ましい。体重あたり0.1mmol/kgの造影剤を、2mL/秒の速度で注入し、同じスピードで、20mLの生理的食塩水で後押しする。造影後の評価は、造影剤投与開始後70秒で行うが、それ以上の遅延相をみる報告もある^{6,7)}。

必要最低限											
内容		T2強調画像				balanced SSFP	脂肪抑制 3D T1強調画像				
シーケンス		Single-Shot TSE/FSE					3Dグラディエントエコー法				
2D/3D		2D				2D[または3D]	3D				
脂肪抑制		なし		あり		なし	あり				
撮像断面		冠状断	横断	冠状断 or 横断		冠状断	冠状断		冠状断	横断	
パラメータ (参考)	TR	msec		∞ (装置表示に依存)		3~4	4~6				
	TE	msec		60~100		1.5~2	2~3				
	フリップ角	度		90~150		50~90	12~15				
	パラレルイメージング			2		2	1~2				
	繰り返し(NEX)			1		2	1				
	関心領域*	cm		45	35~40	左参照	35~40	45		45	35~40
	スライス厚*	mm		5	5~7		4~6	4~6			
	ギャップ***	mm		1	2		0(-2~-3)	0(-2~-3)			
マトリックス****			256×192			224×224	256×256				
呼吸停止回復		1	2	左参照		1	① 造影前 冠状断像	② 造影剤注射 (2 mL/秒)	③ 造影後 冠状断像	④ 造影後 横断像	
ベンダー呼称	GEHC	SSFSE				FIESTA	LAVA/LAVAF				
	Philips	SSTSE				bFFE	THRIVE				
	Siemens	HASTE				TrueFISP	VIBE				
	Toshiba	FASE				SSFP	FAME				

Rimola J et al. Gut 2009; 58: 1113-1120. に準拠しつつ、さまざまな装置で実行可能となるよう、諸条件を緩和し、幅を持たせた。

ただし、ここに挙げているのは一例であり、使用装置に併せて条件を最適化するべきである。

1.5テスラ装置、3テスラ装置、いずれも上表を参考とするが、3テスラ装置ではより高い空間分解能が期待できる。

* 関心領域およびスライス厚は、被験者のサイズに合わせて適宜調整する。

** 面内およびスライス厚/ギャップに対して、ZIP法などの補間処理により、空間分解能を向上させることが望ましい。

*** マトリックスは、撮像時間を優先して、装置毎に最適値に設定する。

オプション									
内容		Cine		T1強調画像	拡散強調画像				
シーケンス		Single-shot T2強調画像 または balanced SSFP		in/out	EPI-DWI				
2D/3D		2D		2D	呼吸停止	または自由呼吸			
脂肪抑制		なし		なし	あり				
撮像断面		冠状断または矢状断		横断	横断				
パラメータ (参考)	TR	msec	∞	3-4	120-200	2000-8000			
	TE	msec	60-90	1.5-2	4.4/2.2****	60-90			
	フリップ角	度	90	60-90	90	90			
	パラレルイメージング		2	2	1	2			
	繰り返し(NEX)		1		1	6~8			
	マトリックス***		256×192	224×224	256×192	160×128			
	関心領域	cm	35-40	35-40	35-40	45-48	35~37		
	スライス厚*	mm	10	10	7	7			
ギャップ*	mm	0	0	2	0-2				
呼吸停止回復		鎮痙剤使用前に撮像する。1断面ずつ呼吸停止して複数回撮像。あるいは、1断面で呼吸停止と吸気停止を繰り返す。			2	b値 800-1000 s/mm ²	自由呼吸		
					2				

**** 3テスラ装置では、TR/TE=2.2/1.1が基準となるが、装置毎に最適化する。

参考文献

- Hyun SB, et al. Magnetic resonance enterocolonography is useful for simultaneous evaluation of small and large intestinal lesions in Crohn's disease. Inflammatory bowel diseases. 2011; 17: 1063-1072.
- Cullmann JL, et al. MR imaging in Crohn's disease: correlation of MR motility measurement with histopathology in the terminal ileum. Neurogastroenterology and motility : the official journal of the European Gastrointestinal Motility Society. 2013; 25: 749-e577.
- Bickelhaupt S, et al. Differentiation between active and chronic Crohn's disease using MRI small-bowel motility examinations - initial experience. Clinical radiology. 2013; 68: 1247-1253.
- Bickelhaupt S, et al. Crohn's disease: small bowel motility impairment correlates with inflammatory-related markers C-reactive protein and calprotectin. Neurogastroenterology and motility. 2013; 25: 467-473.
- Seo N, et al. MR Enterography for the Evaluation of Small-Bowel Inflammation in Crohn Disease by Using Diffusion-weighted Imaging without Intravenous Contrast Material: A Prospective Noninferiority Study. Radiology. 2016; 278: 762-772.
- Rimola J, et al. Magnetic resonance for assessment of disease activity and severity in ileocolonic Crohn's disease. Gut. 2009; 58: 1113-1120.
- Rimola J, et al. Magnetic resonance imaging for evaluation of Crohn's disease: validation of parameters of severity and quantitative index of activity. Inflammatory bowel diseases. 2011; 17: 1759-1768.

6. MREの所見解説

慶應義塾大学 放射線診断科 奥田 茂男

1) 前処置：消化管の拡張(図1)

まず、前処置として飲用したPEGが消化管のどの範囲を満たしているか、確認する。図1は空腸から大腸まで、均等にPEGが行き渡っている状態である。実臨床では、タイミングにより拡張

が不十分になる領域もよく見られるので、分布範囲をよく把握する必要がある。

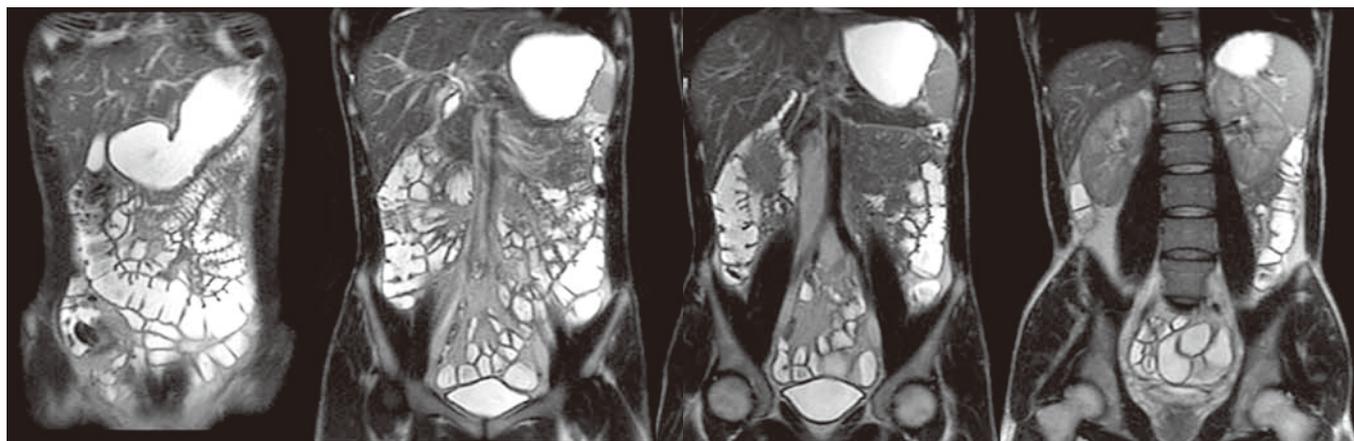
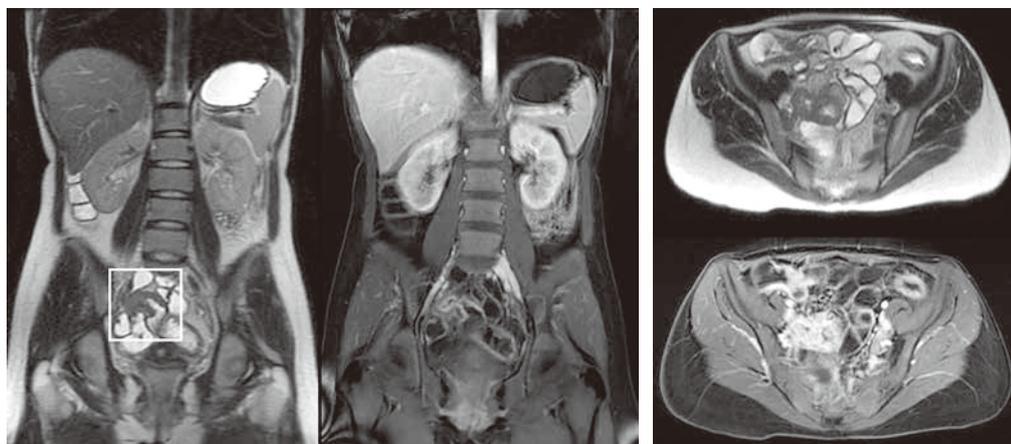


図1
T2強調・冠状断像。前処置として飲用したポリエチレングリコール液が、空腸から大腸まで行き渡り、十分に内腔を拡張している。空腸ではケルクリング襻も描出されている。

2) 壁肥厚(図2)

T2強調像を用いて壁肥厚部位をさがす。「壁肥厚」と定義する、具体的な壁の厚みは規定されていないが、前後の消化管壁の厚みとの比較が重要である。蠕動が残っている場合、攣縮と区別する

必要があるため、冠状断像と横断像、あるいは、造影後の脂肪抑制T1強調像における再現性を確認する。



A | B

図2
A) 冠状断像(T2強調像、造影後・脂肪抑制T1強調像)、B) 横断像(T2強調像、造影後・脂肪抑制T1強調像)。骨盤腔正中のやや右側に位置する遠位回腸壁が限局的に肥厚している。

3) 浮腫(図3)

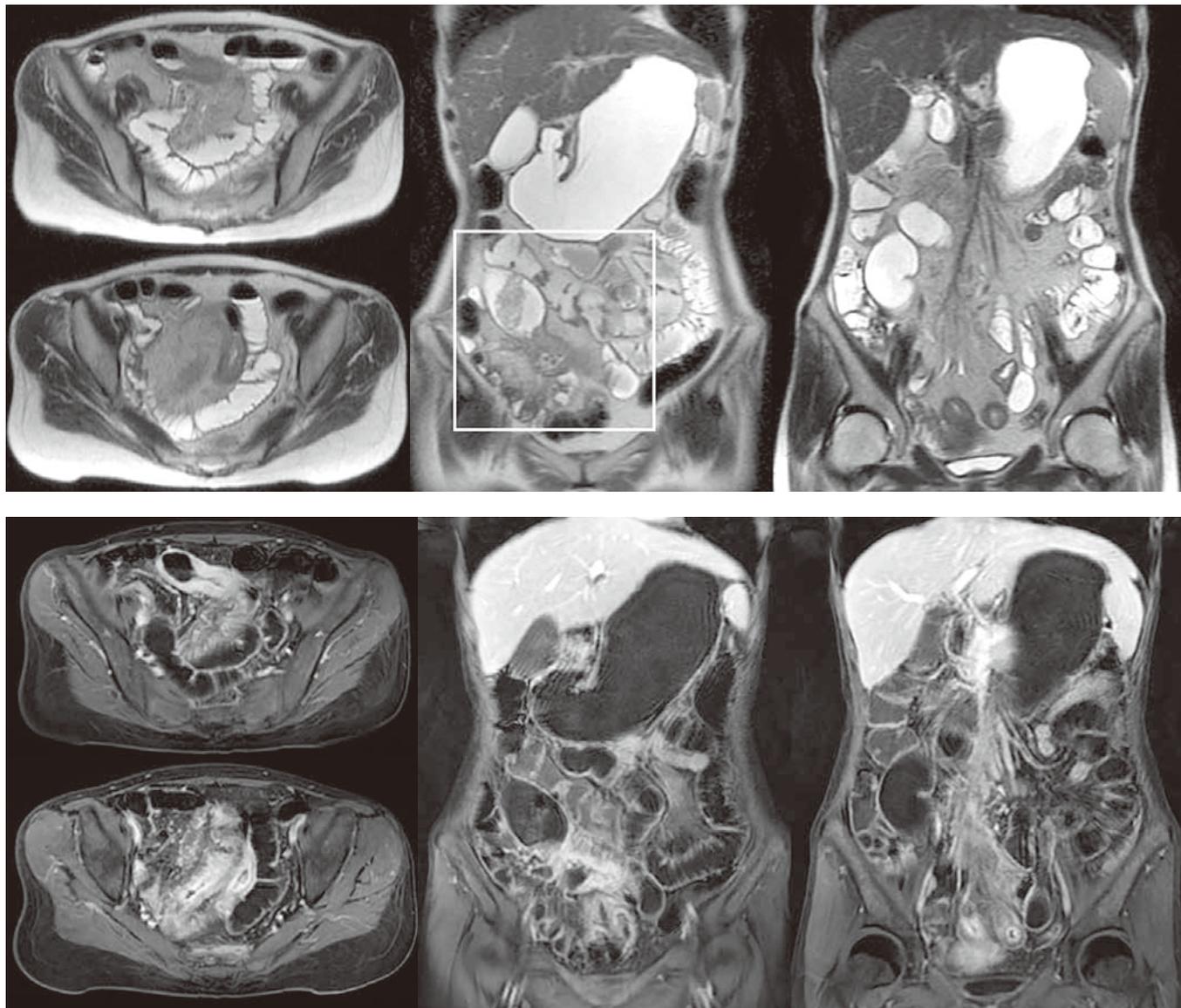
消化管壁が肥厚する原因として、活動性の高い炎症と、線維化による癒痕の場合がある。浮腫は水分含有が多い状態であるので、T2強調像で高信号となる。筋肉の信号と比較して、これより高信号である場合は浮腫と判定する。なお、MRIの画面上で計測できる信号値は単位のない「信号の強さ」であり、撮像法や

チューニングが変わると、統一の尺度として用いることはできない。そのため、「信号値いくつ以上は浮腫」のような定義ができず、同一断面内での信号比較で定義される。浮腫が強い場合は、造影した後の筋層の増強効果が、粘膜に比べて相対的に弱くなる。

4) 内腔狭窄と口側拡張(図3)

内腔が狭窄すると、口側の消化管は拡張する。当然の事項ではあるが、拡張した小腸を丹念に追うと、狭窄部位を把握しやすい

(図3)。



A
B

図3

A) T2強調・横断像と冠状断像。遠位回腸に2カ所の壁肥厚を認める。いずれも壁の信号は筋肉よりやや高く、「浮腫」と判定する。B) 造影後脂肪抑制T1強調・横断像と冠状断像。より遠位の肥厚した壁は均一に濃染するが、もう一つの壁肥厚部位では、粘膜の増強効果が高く、筋層の造影効果は相対的に低い。これも浮腫を示す所見である。

5) 縦走潰瘍/癒痕(図4)

クローン病では、腸間膜付着側の片側に縦走傾向のある潰瘍あるいは癒痕が特徴的であり、潰瘍癒痕により一侧の短縮が生じる。MREでは、冠状断像で、片側の壁肥厚と、C字型の消化管走行

が認められる。縦走潰瘍および潰瘍癒痕は、活動性の高い炎症、あるいは、線維成分が多いため、強く造影される。

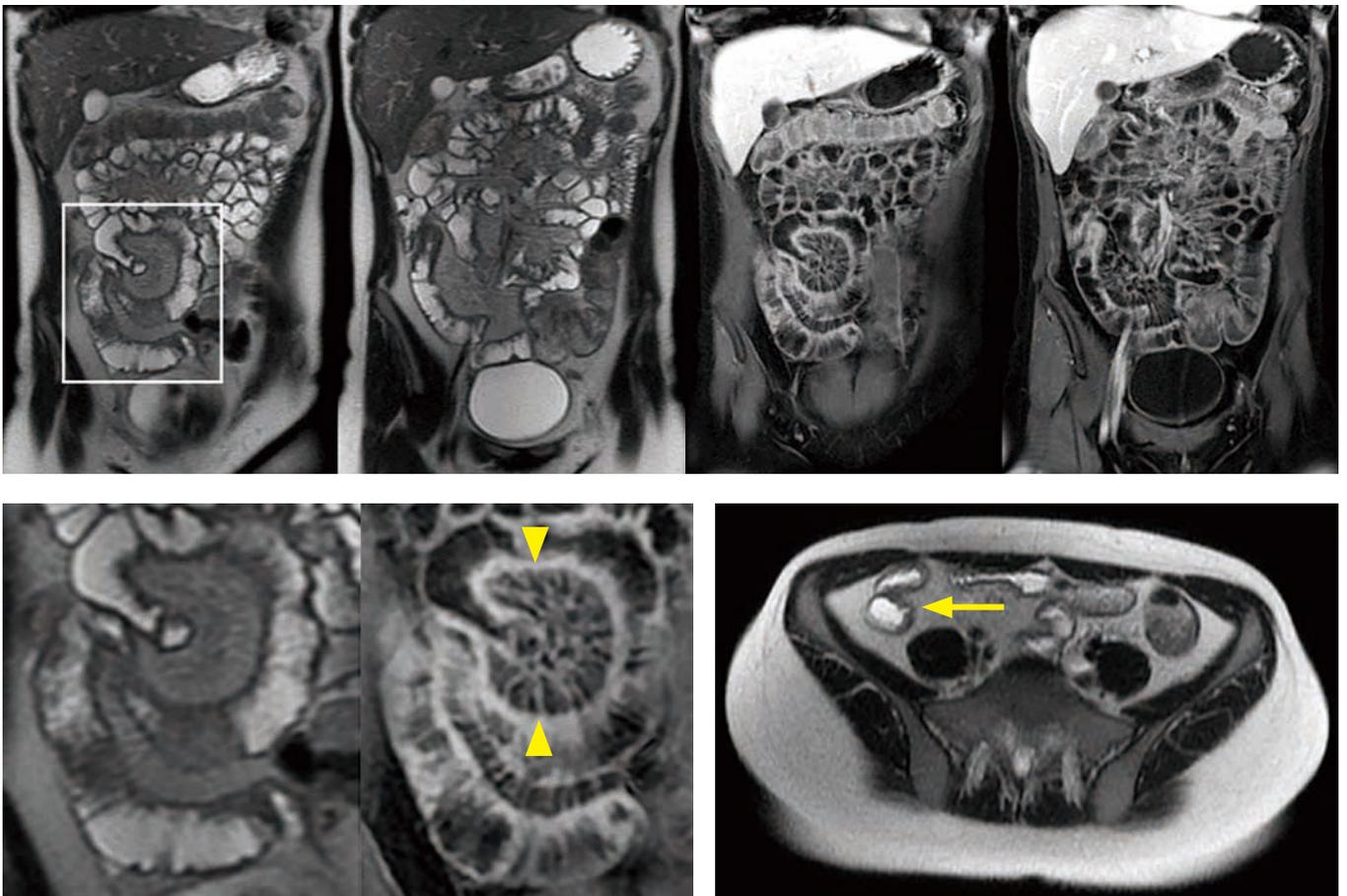
6) 潰瘍(図4)

サイズの比較的大きな潰瘍は、壁の陥凹として描出されることがある(図4c)。後述の評価法においても、潰瘍の有無は重要

なので、注意深く拾い上げる必要がある。

7) Combサイン(図4)

腸間膜の炎症亢進により、脂肪織内の索状構造が目立つようになる。



A
B | C

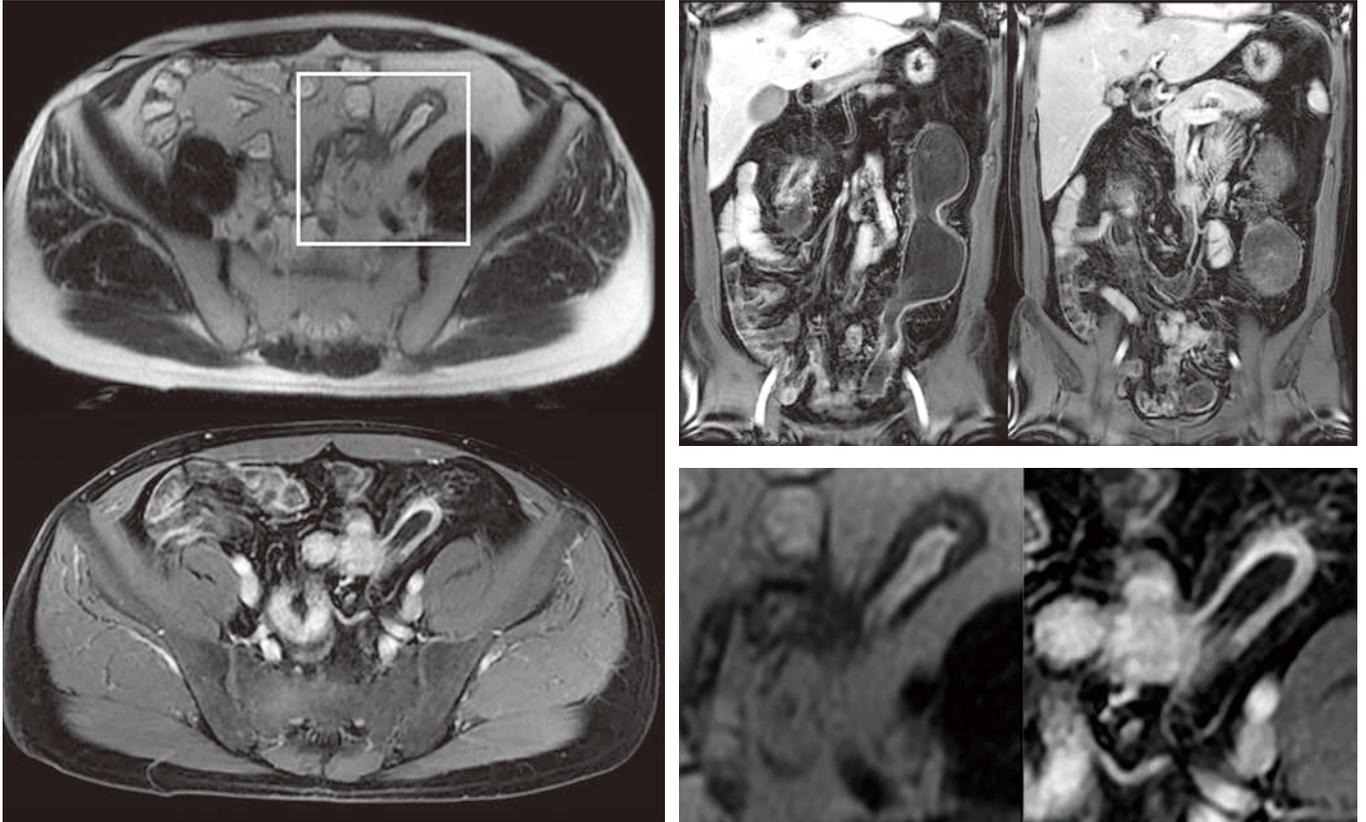
図4

A) T2強調像および造影後・脂肪抑制T1強調像の冠状断像、B) 四角部の拡大図。遠位回腸の腸間膜付着側が軽度肥厚して短縮し、消化管はC字型に変形している。造影剤投与後は、肥厚した壁が強く濃染されている。腸間膜には脈管を示す索状構造がめだち、いわゆるCombサインを示している(矢頭)。C) T2強調横断像。肥厚した遠位回腸壁に小さな陥凹があり、潰瘍形成が疑われる(矢印)。

8) 瘻孔(図5)

瘻孔の直接描出は難しいことが多いが、消化管同士が近接して、その間に本来の走行とは異なる索状もしくは管状構造が認め

られれば、瘻孔の疑い、と判断する(図5)。ただし、造影検査による造影剤の通過を見るようなことはできない。



A | B
C

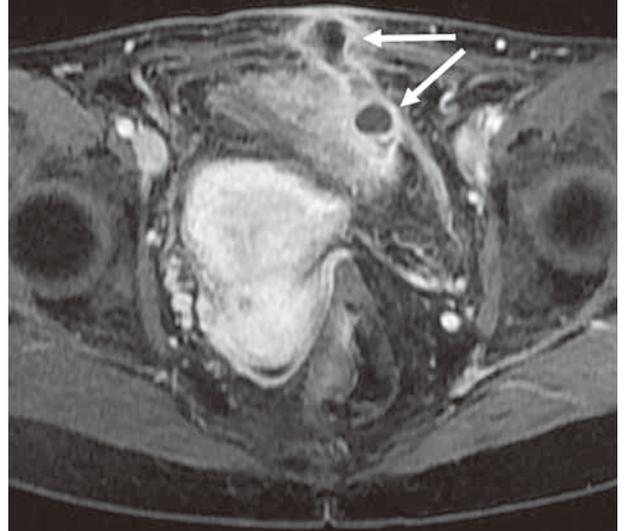
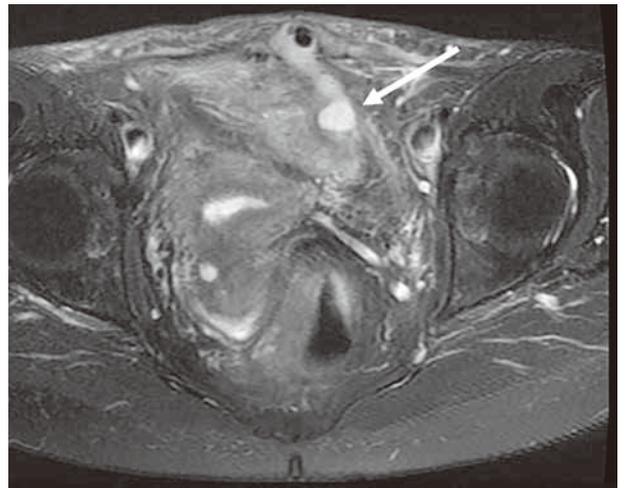
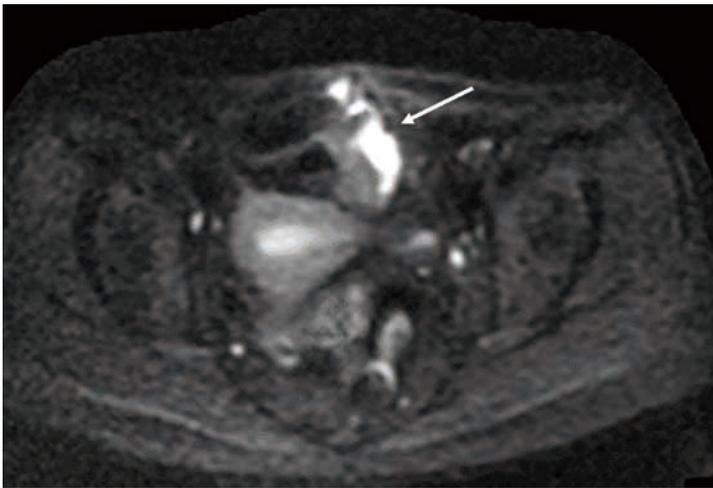
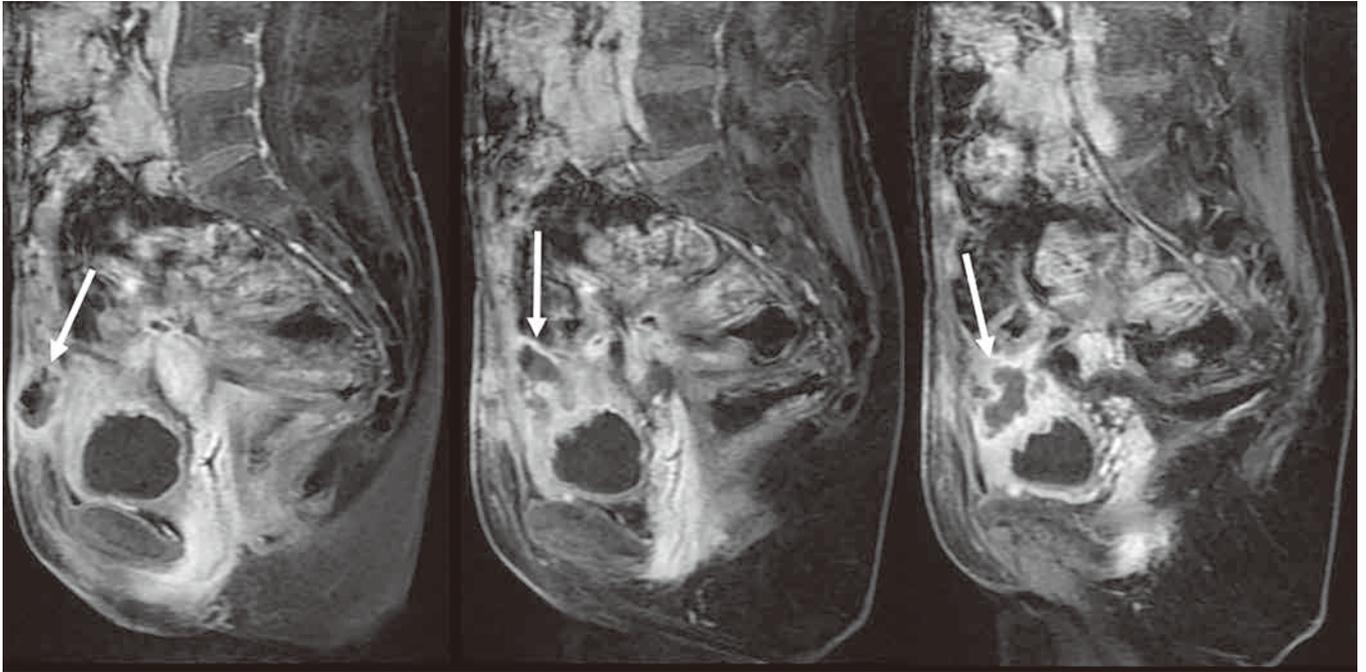
図5

A) T2強調および脂肪抑制T1強調・横断像、B) 造影後・脂肪抑制T1強調・冠状断像、C) A)の病変拡大図。下行結腸のハウストラが消失して変形している。内側で回腸が接近して、その間に索状構造が認められ、瘻孔形成が疑われる。液体を入れるような内腔は確認できず、疎通性は不明である。

9) 膿瘍(図6)

膿瘍形成が疑われる場合は、意図的に消化管内腔を液体で満たすようなMREではなく、前処置なしのCTもしくはMRI検査が推奨される。提示してある症例は、前処置なしのMRIで描出された、

皮下にまで至る膿瘍である(図6)。拡散強調像は膿瘍の検出に有用であるが、消化管内腔も異常信号となることがあるので、区別が難しいこともあり、注意を要する。



A	
B	C

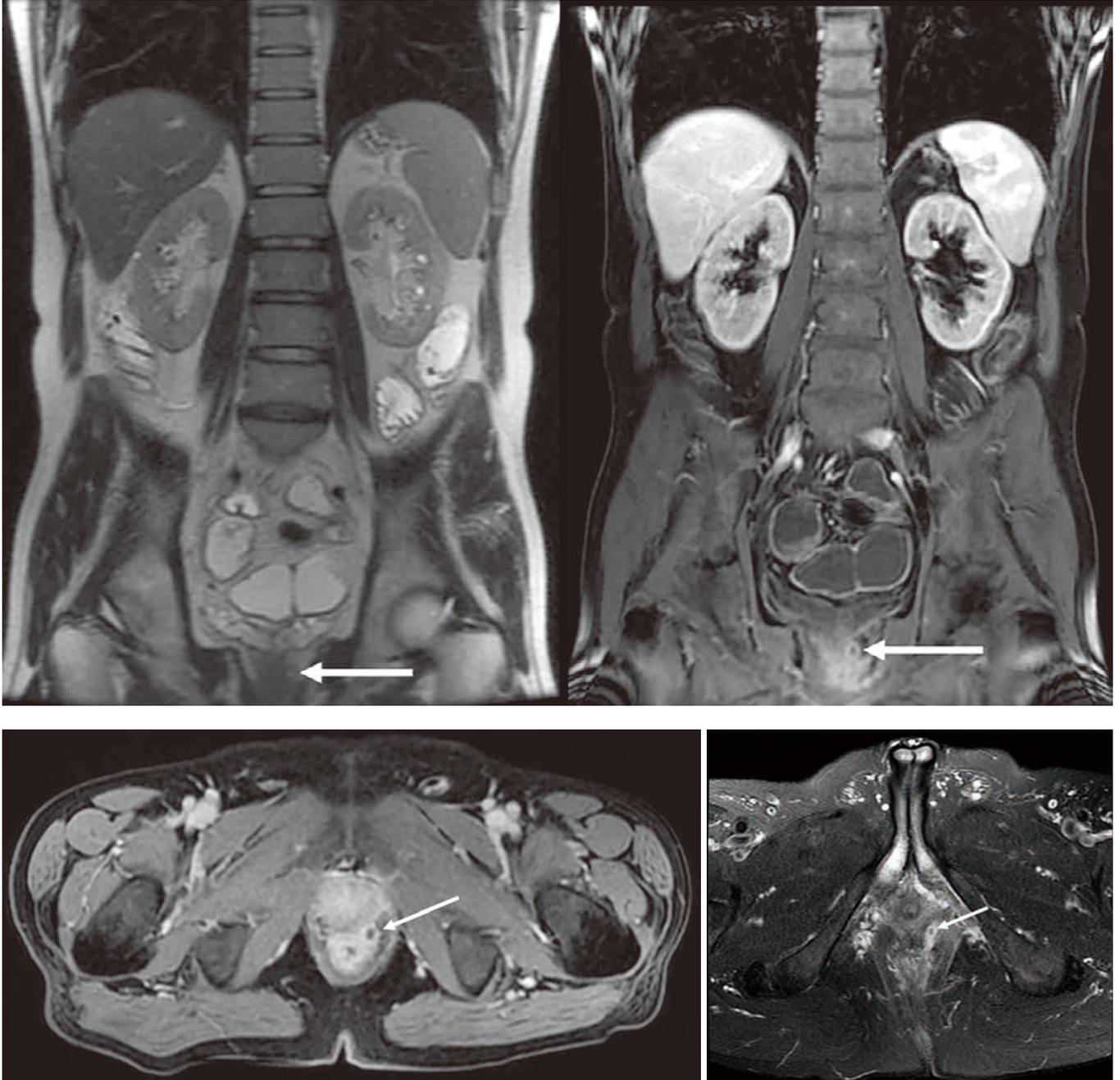
図6

A) 造影後・脂肪抑制T1強調・矢状断像、B) 拡散強調像、C) 造影後・脂肪抑制T1強調像・横断像。腹腔内から皮下におよぶ、辺縁を強い造影効果で囲まれた不整形の造影不領域があり、膿瘍の所見である。拡散強調像では、強い高信号を呈している(矢印)。

10) 痔瘻(図7)

痔瘻は造影後・脂肪抑制T1強調像で、索状の造影効果として認められる。内腔に液体がある場合は、脂肪抑制T2強調像や拡散強調像で高信号に描出される。MREでは肛門管は撮像範囲の辺縁となるため信号雑音比が低く、また、広い撮像範囲を設定するため空間分解能が比較的低下する。そのため痔瘻の評価に適さない

場合もあるが、特に造影後に感染や炎症病変が描出されることがあるので、留意する必要がある。痔瘻を詳細に評価したい場合は、MREプロトコルではなく、骨盤コイルを利用した局所撮像の施行を考慮する必要があるが、それにより増える情報と、追加費用とのバランスを考える必要がある。



A |
B | C

図7

A) T2強調冠状断像と 造影後・脂肪抑制T1強調・冠状断像、B) 造影後・脂肪抑制T1強調・横断像、これらは、広範囲撮像による。肛門管の2時方向に環状造影効果が認められ、痔瘻の所見である。C) 骨盤腔用受信コイルで撮像した脂肪抑制T2強調・横断像。同一症例。より空間分解能が高く、明瞭に描出されている。

11) 腫大リンパ節(図8)

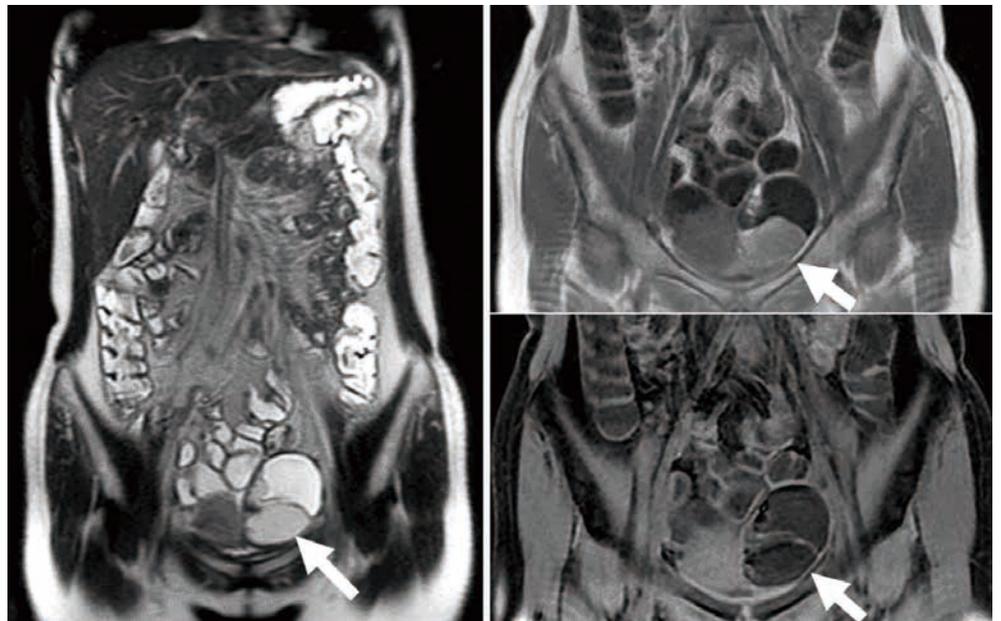
炎症に反応して、傍腸管リンパ節が腫大することがある。画像上はサイズ増大という非特異的な所見である。



図8
造影後・脂肪抑制T1強調・冠状断像。腸間膜に軽度腫大したリンパ節が認められる。

12) 消化管外病変(図9)

若年者が検査対象であるが、時に女性では、婦人科領域の腫瘍が描出されることがある。消化管外についても注意を払い読影する必要がある。



A | B
C

図9
骨盤腔内左側に嚢胞性病変が認められる。A) T2強調・冠状断像、隔壁によりいくつかの房にわけられており、T2強調像で高信号を示しているが、その信号強度がやや違う。頭側の房は水の高信号を示すが、尾側はやや低信号気味である。B) T1強調・冠状断像、C) 脂肪抑制・T1強調・冠状断像。T1強調像では高信号であるが、脂肪抑制法で信号が抑制されることから脂肪の存在が示唆され、左卵巢皮様嚢腫と診断された。

7. MREの評価法

慶應義塾大学 放射線診断科 奥田 茂男

1) 評価法概論

MREの評価として重要なのは、①炎症の有無とその程度、②瘻孔や膿瘍などの形態的異常の有無の判定である。クローン病は病変多発することが特徴のひとつであり、小腸や大腸をいくつかの区域に区切った上で、区域ごとに評価を進めていくことが推奨される。連続画像を撮像すれば、蠕動や癒着などの機能を評価できる可能性もあるが、探求的評価であり、ここでは詳しく述べない。炎症の程度を評価するため、①壁肥厚、②壁のT2WI信号、③潰瘍の有無、④造影効果 に着目する。これらを客観的に評価するために考案された評価法として代表的なものにMaRIA score

がある。スコアは連続的な数字として表現されるため、統計学的処理には向く方法ではあるが、算出が煩雑であり、実臨床には適さない。また、非常に小さな対象に対して信号計測をおこなうので部分容積による誤差が見込まれる、コイル感度に依存する信号不均一性を無視している、などの考慮すべき点もある。また、最近では計測値を含めず、定性的なスコアで計算する手法も提案されているが、評価項目も多く、手間がかかることは否めない。論文などでは避けられないステップではあるが、実臨床における画像所見としての記載は、より簡便な方法も許容されるべきである。

2) MaRIAスコア^{1,2)} (図1)

小腸および結腸を、近位回腸、遠位回腸、上行結腸、横行結腸、下行結腸の5区域に分け、それぞれに以下の計測を行い、スコア

付けする。

壁厚	区域内で最も肥厚している部分の厚みの実測を記載 (mm)
浮腫の有無	有=1、無=0 (有：T2WIにて腹直筋あるいは大腰筋より高信号)
潰瘍の有無	有=1、無=0
造影後信号増加率	造影前後に壁の信号を計測する。以下を参照のこと。

$$RCE = \frac{S_{post} - S_{pre}}{S_{pre}} \times 100 \times \frac{SD_{noise\ pre}}{SD_{noise\ post}}$$

RCE: Relative Contrast Enhancement

S_{pre}: 造影前画像上の壁の信号値

S_{post}: 造影後画像上の壁の信号値

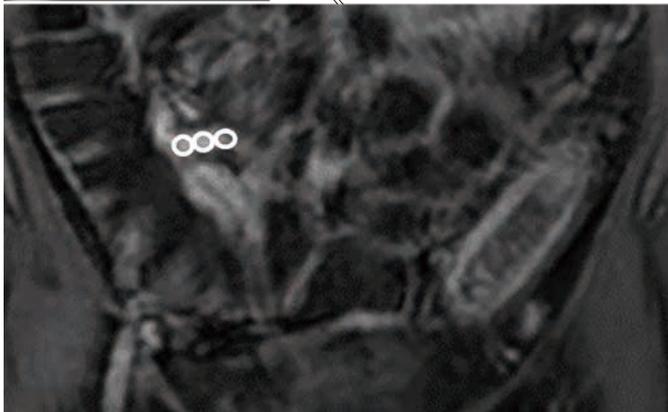
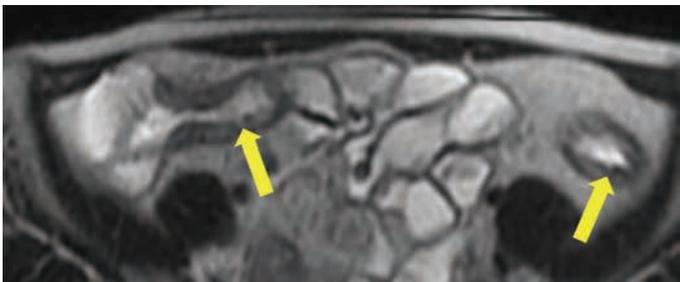
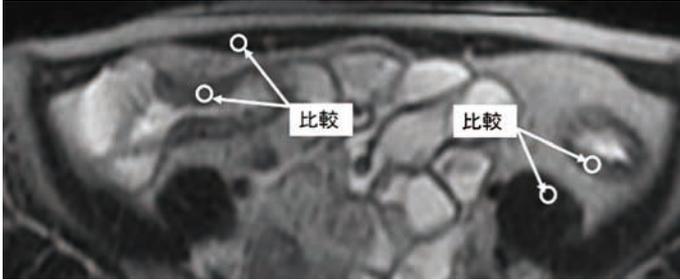
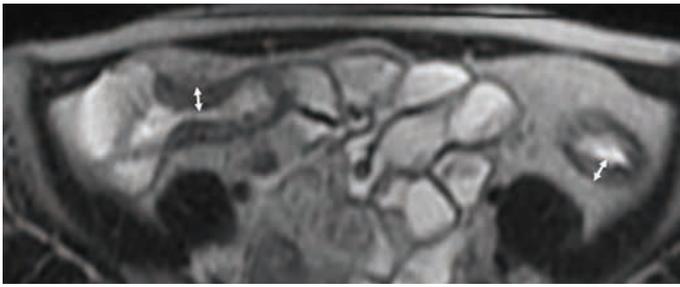
SD_{noise pre}: S_{pre}計測と同じ断面上で、体外に置いた関心領域の標準偏差 (SD)

SD_{noise post}: S_{post}計測と同じ断面上で、体外に置いた関心領域の標準偏差 (SD)

壁信号計測のルール

各区域内の最も肥厚した部位で、内腔や周囲脂肪織を含まないように、壁厚いっぴいのサイズの関心領域を3カ所に設定して計測して平均する。造影前後でなるべく同じ部位に関心領域をおく

ように留意する。同一区域内で複数の病変が存在することがあるが、その場合も最も肥厚が強いところのみを計測する。



A
B
C
D | E

図1

MaRIAスコアの実際。A)～C) T2強調・横断像。A) 壁厚を計測し、B) 壁の浮腫を判定する(筋肉より高信号であれば浮腫と判定)、C) 肉眼的に明らかな壁の陥凹を潰瘍とする(矢印)。D) 造影後脂肪抑制T1強調・冠状断像。造影前後での壁の信号計測。原法では3ヶ所計測して平均する。壁厚が薄い場合は、部分容積を拾わないようなるべく小さな計測域を設定するが、計測に難渋することも多い。E) 造影前・脂肪抑制・T1強調・冠状断像。体外4隅に計測域をおきノイズのSDを計測する。計測域のサイズには規定はない。(注：マルチコイルを用いているため、正確な定義とは言いがたいが、原法に従う。)

3) 信号計測を含まないスコア (CDAS, MEGSなど)^{3, 4)}

MRIで計測される信号値は、CTで規定されるようなHU unitのような絶対値ではないため、信号値を比較に用いることには

異論もあり、壁造影パターンを視覚的に評価してスコアを付ける方法も提唱されているので、ここに紹介する。

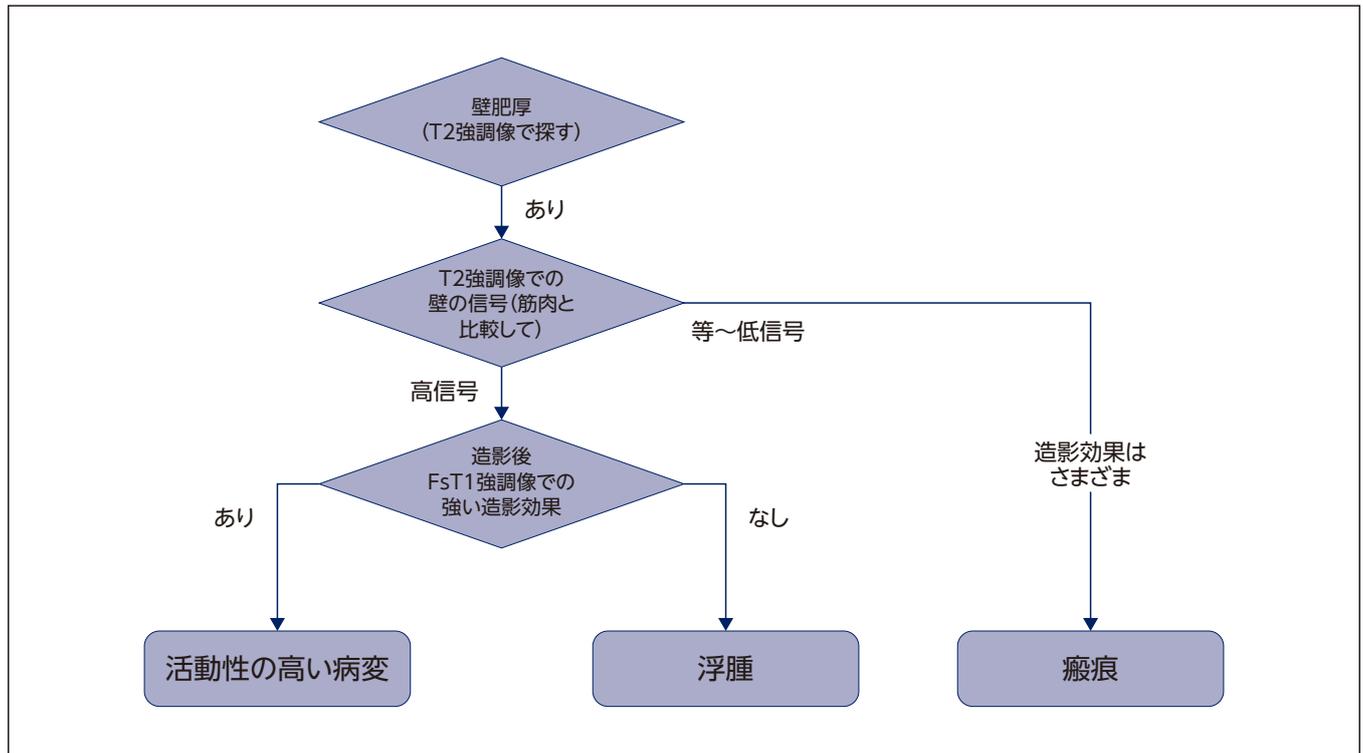
	0	1	2	3
壁厚	1-3mm	3-5mm	5-7mm	>7mm
壁 T2WI信号	正常壁と同じ	脂肪抑制画像でわずかな信号上昇 dark grey	脂肪抑制画像で中等度の信号上昇 light grey	強い信号上昇、内腔信号に近い
壁辺縁 T2WI信号	正常腸間膜と同じ	腸間膜信号が軽度上昇するが、 液体はない	わずかな液体を辺縁に認める (2mm以下)	2mmを超える液体貯留
壁造影パターン	N/A	均一	粘膜	層状
壁濃染	正常壁と同じ	軽度の造影効果：正常小腸より強く 造影されるが、近傍の血管よりは低い	中等度の造影効果：腸管壁より造影 されるが近傍の血管よりやや弱い	高度の造影効果：壁の信号が近傍の 血管とほぼ同等
リンパ節	なし	1cm未満が複数	1個が1cmを超える	3個が1cmを超える
リンパ節濃染	近傍の血管より低い	近傍の血管と同等か、それより強い	-	-
Combサイン	なし	あり	-	-

	0	1	2	3
壁厚	3mm未満	3-5mm	5-7mm	>7mm
壁 T2WI信号	正常壁と同じ	脂肪抑制画像でわずかな信号上昇 dark grey	脂肪抑制画像で中等度の信号上昇 light grey	強い信号上昇、内腔信号に近い
壁辺縁 T2WI信号	正常腸間膜と同じ	腸間膜信号が軽度上昇するが、 液体はない	わずかな液体を辺縁に認める (2mm以下)	2mmを超える液体貯留
T1造影効果	正常壁と同じ	軽度の造影効果：正常小腸より強く 造影されるが、近傍の血管よりは低い	中等度の造影効果：腸管壁より造影 されるが近傍の血管よりやや弱い	高度の造影効果：壁の信号が近傍の 血管とほぼ同等
壁造影パターン	N/A または 均一	粘膜	層状	
ハウストラ消失	なし	1/3未満	1/3~2/3	2/3を超える
病変の長さによる係数		0-5cm×1	5-15cm×1.5	15cmを超える
リンパ節	なし	1cm未満が複数	1個が1cmを超える	3個が1cmを超える
スコア	0	5	-	-
短径1cm以上のリンパ節	なし	あり	-	-
Combサイン	なし	あり	-	-
膿瘍	なし	あり	-	-
瘻孔	なし	あり	-	-

上段 CDAS
下段 MEGS

4) 実臨床に向けた読影とレポート記載

- ①前処置による、小腸～大腸内腔への液体分布の様子。
- ②壁肥厚部位と、口側小腸拡張の有無。
- ③肥厚した壁のT2WI信号と、造影効果について検討し、以下の状況を考える。
 - a) 肥厚部位の壁がT2WI高信号かつ強い造影効果があれば、活動性の高い炎症。
 - b) 肥厚部位の壁がT2WI高信号かつ造影効果が弱ければ、浮腫。
 - c) 肥厚部位の壁がT2WI低信号であれば、癒痕。
- ④縦走傾向のある癒痕や潰瘍による、腸間膜付着側の偏側短縮、C字型変形の有無。
- ⑤瘻孔や膿瘍の有無を記載。
- ⑥撮像範囲に入っていれば、痔瘻など肛門病変の有無を記載。
- ⑦消化管外病変の有無を確認する。



■ 参考文献

1. Rimola J, et al. Magnetic resonance for assessment of disease activity and severity in ileocolonic Crohn's disease. Gut. 2009; 58: 1113-1120.
2. Rimola J, et al. Magnetic resonance imaging for evaluation of Crohn's disease: validation of parameters of severity and quantitative index of activity. Inflammatory bowel diseases. 2011; 17: 1759-1768.
3. Steward MJ, et al. Non-perforating small bowel Crohn's disease assessed by MRI enterography: derivation and histopathological validation of an MR-based activity index. European journal of radiology. 2012; 81: 2080-2088.
4. Makanyanga JC, et al. Evaluation of Crohn's disease activity: initial validation of a magnetic resonance enterography global score (MEGS) against faecal calprotectin. European radiology. 2014; 24: 277-287.

II. クローン病診療におけるMREの位置付け

慶應義塾大学 消化器内科 長沼 誠

クローン病の診断、疾患活動性評価は従来大腸内視鏡と小腸造影で行われてきたが、近年カプセル内視鏡、バルーン小腸内視鏡といった小腸病変に対する診断法が行われるようになってきている。また腸管外病変の評価については超音波、CT、MRIなどの検査が行われている。

MRIは肛門周囲膿瘍、痔瘻などの肛門病変評価に対して有用であるが、空間分解能がCTより低く、クローン病腸管評価にはこれまであまり使用されていなかったが、近年非吸収性の液体を腸管に貯留させることによって腸管評価を行うMR enterographyが開発され、クローン病の活動性評価や狭窄、瘻孔病変の評価にも使用されるようになってきている。European Crohn's and Colitis Organization (ECCO) と European Society of Gastrointestinal and Abdominal Radiology (ESGAR) によるコンセンサスガイドラインには¹⁾ MRIは腸管外病変の評価においてsmall bowel follow through (SBFT) より有用であること、粘膜、粘膜間の病変評価においてCTと遜色なく、被爆がない点でMRIが有用であることが記載されている (Statement 3E)。大腸内視鏡を中心としたデバイスとの比較において感度は55-87%、特異度は84-98%とされており、診断能は比較的高いことが示されている。また治療後のモニタリングとしても有用であることも記載されている (Statement 4E)。ただし引用されている研究の大部分は「大腸と回腸末端を中心とした検討であること」「診断方法がMR enterography、MR enteroclysisが混在していること」などに注意する必要がある。また直腸病変のMR enterographyの感度は高くないため、経肛門的に直腸付近を伸展させて、診断能を高める工夫をしている研究内容も含まれている。これらより現在本邦の大部分で施行されている施行方法と必ずしも一致していないことに注意してデータを解釈する必要があると考える。

MRI、MR enterographyの利点は、

- 1) 被爆がないことより若年者にも使用しやすく、かつ繰り返し使用可能である点
- 2) 腸管外の病変評価に有用であること
- 3) 症例による違いはあるが、大腸内視鏡やバルーン小腸内視鏡挿入時における苦痛や鎮痛剤の使用をしないで済むこと
- 4) カプセル内視鏡における滞留の問題がないなどが利点である。

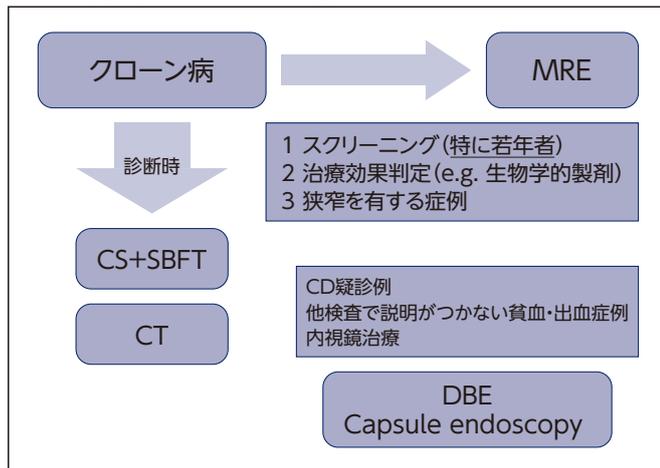
欠点は、

- 1) 検査費用が高額である
- 2) CTに比較して撮影時間が長い点
- 3) 小腸狭窄や微細病変、直腸病変の検出率が低い点²⁾
- 4) 非吸収性の液体を1L程度服用する必要があるため、高度狭窄が明らかにある場合には検査が不可能である点 (ただし高度狭窄の場合には他の検査法も同様に困難な場合が多い) などである。

また診療科と放射線科医、放射線技師との連携、医療スタッフの理解・協力などが必要な場合も多く、現時点では限られた施設でのみ施行可能であると考えられる。

現時点でのクローン病診療におけるMR enterographyの位置付けは、若年で放射線被爆に留意する必要がある患者を中心に、治療前後の活動性評価の比較、寛解期におけるスクリーニング、狭窄を有する症例の口側病変の粗大病変評価などがよい適応であると考えられる。

クローン病診療におけるMREの位置づけ



小腸造影・バルーン小腸内視鏡・MREの利点と問題点

	小腸造影	バルーン内視鏡	MRE
利点	<ul style="list-style-type: none"> 小腸全体の把握可能 造影剤の流れや狭窄の状況がリアルタイムで把握可能 	<ul style="list-style-type: none"> 直接粘膜観察 拡張術可能 大腸観察可能 	<ul style="list-style-type: none"> 被曝なし 腸管外の情報把握 大腸内視鏡との組み合わせで消化管を1日で診断
問題点	<ul style="list-style-type: none"> 被曝 診断能(術者依存) 経管法での苦痛 	<ul style="list-style-type: none"> 全小腸観察困難例 苦痛(術者依存) 腸管外の情報は把握しにくい 	<ul style="list-style-type: none"> 腸管伸展不良例 機種によって画像の質が異なる コスト

参考文献

1. Panes J et al. Imaging techniques for assessment of inflammatory bowel disease: joint ECCO and ESGAR evidence-based consensus guidelines. J Crohn Colitis. 2013; 7: 556-585.
2. Takenaka K, et al. Comparison of magnetic resonance and balloon enteroscopic examination of the small intestine in patients with Crohn's disease. Gastroenterology. 2014; 147: 334-342.

Ⅲ. クローン病に特徴的なMRE所見

東京医科歯科大学 消化器内科 大塚 和朗

1) 縦走潰瘍

10代女性

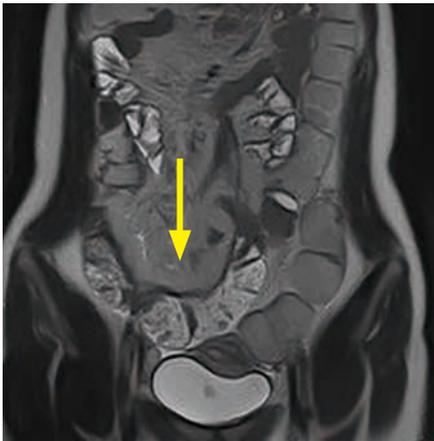
前処置：検査前日にクエン酸マグネシウム50g+水200mL服用。
当日にナトリウム・カリウム配合剤1000mL服用して
30分後に撮影。

A. FASE像。下部回腸に腸間膜附着側の壁肥厚、偏側性変形が見られる。

B. True SSFP像。下部回腸に腸間膜附着側の壁肥厚、偏側性変形が見られる。

C. T13D像。下部回腸に腸間膜附着側の壁肥厚と増強効果が見られる。

内視鏡では下部回腸に縦走潰瘍が見られた。



A | B | C

2) 狭窄

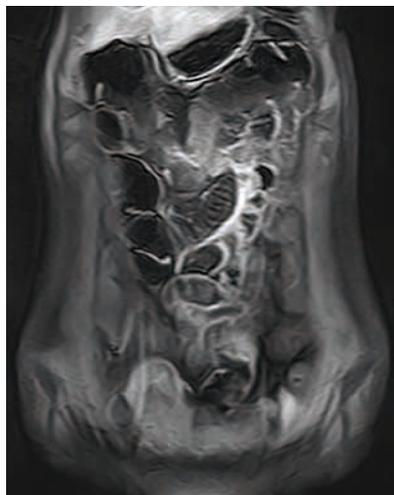
30代女性

前処置：検査前日にクエン酸マグネシウム50g+水200mL服用。
当日にナトリウム・カリウム配合剤1000mL服用して
30分後に撮影。

A. FASE像。近位回腸に腸間膜附着側の壁肥厚、偏側性変形、狭窄が見られる。

B. T13D像。近位回腸に腸間膜附着側の壁肥厚、偏側性変形と増強効果が見られる。

C. T13D像。下部回腸に増強効果を伴う狭窄が見られる。内視鏡では下部回腸の潰瘍を伴う狭窄を通過できず深部の観察は不可能だった。



A | B | C

3) 多発狭窄

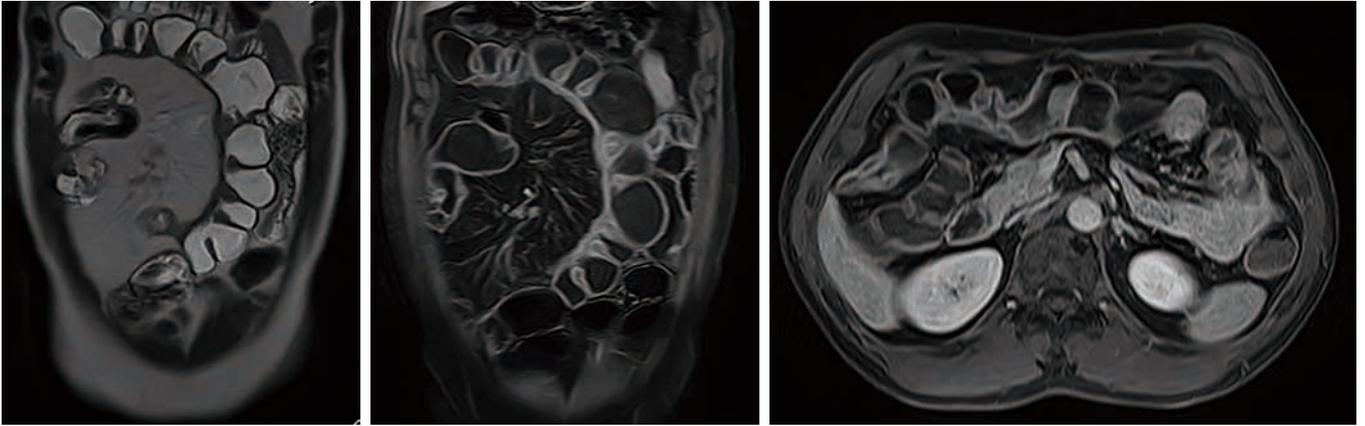
50代男性

前処置：検査前日にクエン酸マグネシウム50g+水200mL服用。
当日にナトリウム・カリウム配合剤1000mL服用して
30分後に撮影。

A. FASE像。回腸に腸間膜附着側の壁肥厚、偏側性変形、多発狭窄が見られる。

B. T13D像。回腸に腸間膜附着側の壁肥厚、偏側性変形、多発狭窄が見られる。

C. T13D横断像。
内視鏡では回腸に浅い潰瘍を伴う多発狭窄が見られた。



A | B | C

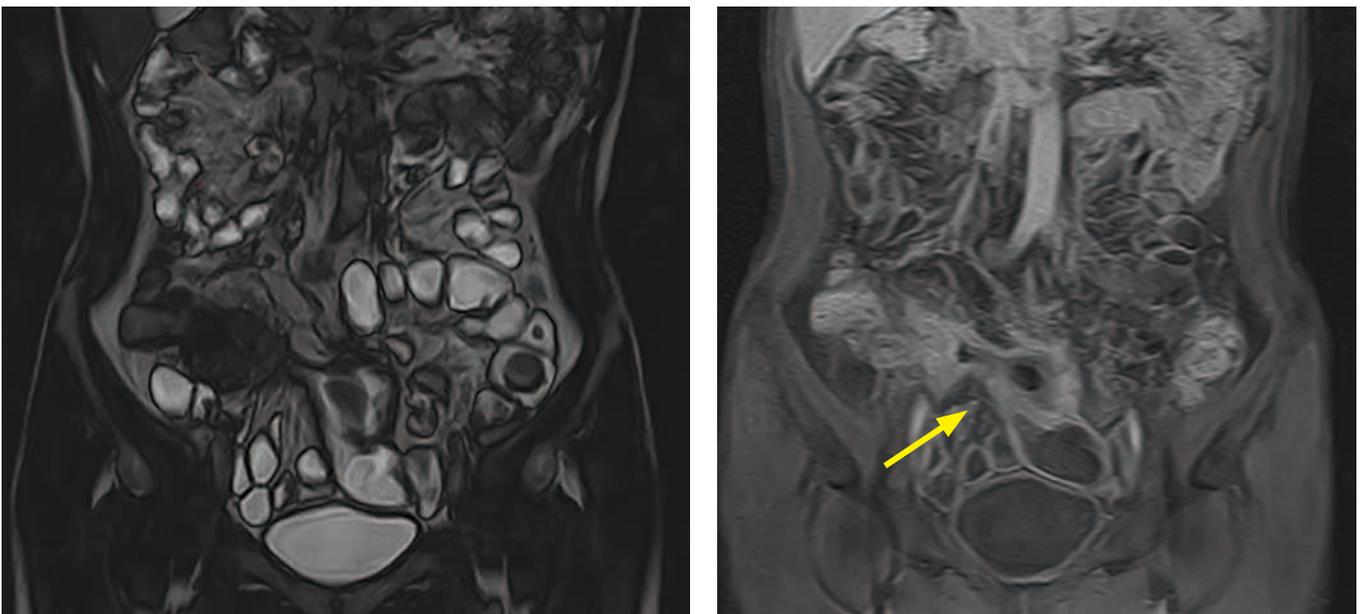
4)-1 瘻孔

30代男性

前処置：検査前日にクエン酸マグネシウム50g+水200mL服用。
当日にナトリウム・カリウム配合剤1000mL服用して
30分後に撮影。

A. True SSFP像。遠位回腸の壁肥厚、狭窄、口側回腸の拡張が見られる。

B. T13D像。遠位回腸の壁肥厚と増強効果が見られ、S状結腸と癒着し瘻孔が疑われる。
内視鏡時の造影で、回腸S状結腸瘻が認められた。



A | B

4)-2 瘻孔

40代女性

前処置：検査前日にクエン酸マグネシウム50g+水200mL服用。
当日にナトリウム・カリウム配合剤1000mL服用して
30分後に撮影。

- A. FASE像。回腸に壁肥厚、強い増強効果が見られる。
B. Quick 3Ds像。口側回腸に拡張を伴う狭窄が見られ、回腸S状結腸瘻がみられる。
C. Quick 3Ds像。回腸回腸瘻が見られる。



A | B | C

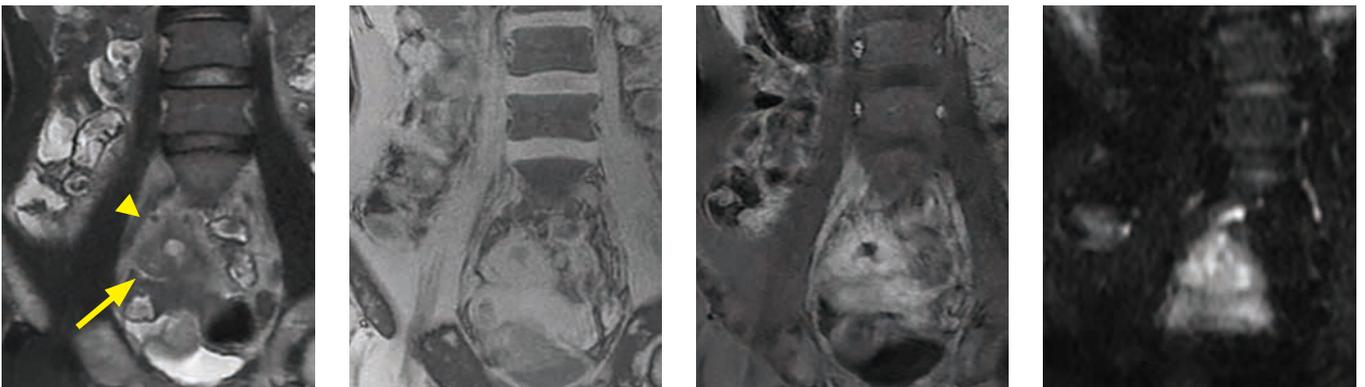
5) 膿瘍(滋賀医科大学 消化器内科 馬場 重樹 先生 御提供)

30代男性

前処置：絶食にて入院中であった。当日にナトリウム・カリウム
配合剤1000mL服用して30分後に撮影した。
提示はいずれもCoronal像。

A. T2 SSFSE像。回腸終末部の狭窄と壁肥厚(矢印)と、同腸管の腸間膜附着側に膿瘍形成(矢頭)が認められる。骨盤内回腸の壁肥厚、浮腫性変化も観察される。

- B. T1WI SPGR out-of-phase像。1.と同様の所見が見られる。
C. 造影3DT1脂肪抑制像。壁肥厚と膿瘍壁の強い造影効果を確認する。
D. DWI像。壁肥厚部と膿瘍部に一致して信号強度の増強を確認する。



A | B | C | D

6) 狭窄と腸石

40代男性

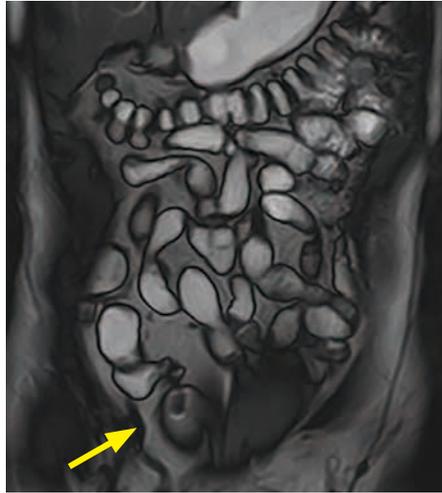
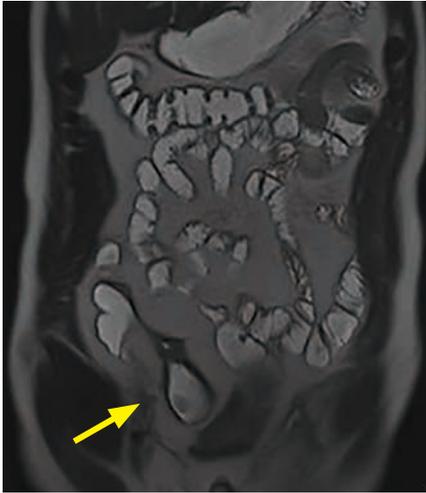
前処置：検査前日にクエン酸マグネシウム50g+水200mL服用。
当日にナトリウム・カリウム配合剤1000mL服用して
30分後に撮影。

A. FASE像。下部回腸に口側拡張を伴う狭窄がみられ、拡張した腸管内に欠損像がみられる。

B. True SSFP像。拡張した腸管内に欠損像がみられる。

C. T1 3D像。強い造影効果を伴う狭窄が見られる。

内視鏡では下部回腸に潰瘍を伴う狭窄があり、その口側は拡張して腸石が見られた。



A | B | C

7) 粘膜治癒

20代女性。回盲部切除後。

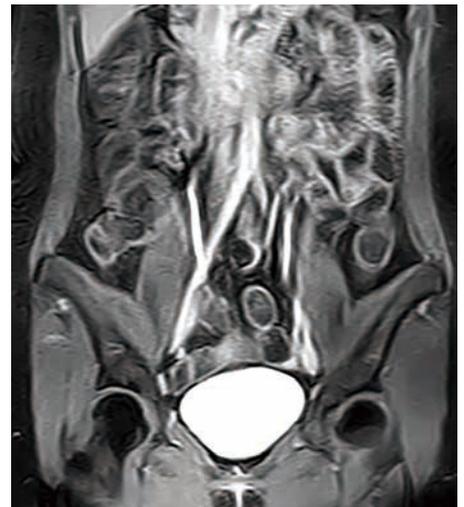
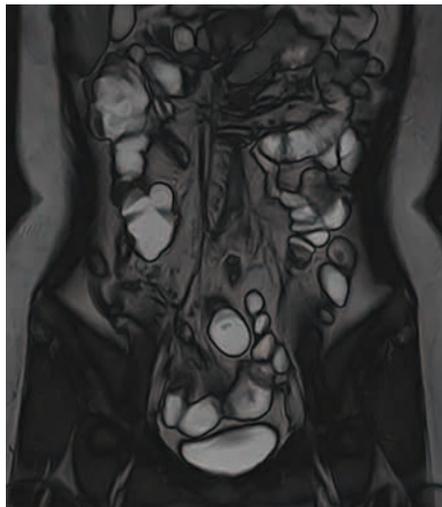
前処置：検査前日にクエン酸マグネシウム50g+水200mL服用。
当日にナトリウム・カリウム配合剤1000mL服用して
30分後に撮影。

A. FASE像。吻合部に異常を認めない。

B. True SSFP像。

C. T1 3D像。

内視鏡では粘膜治癒となっていた。



A | B | C

IV. 他疾患のMRE (MRI) 所見

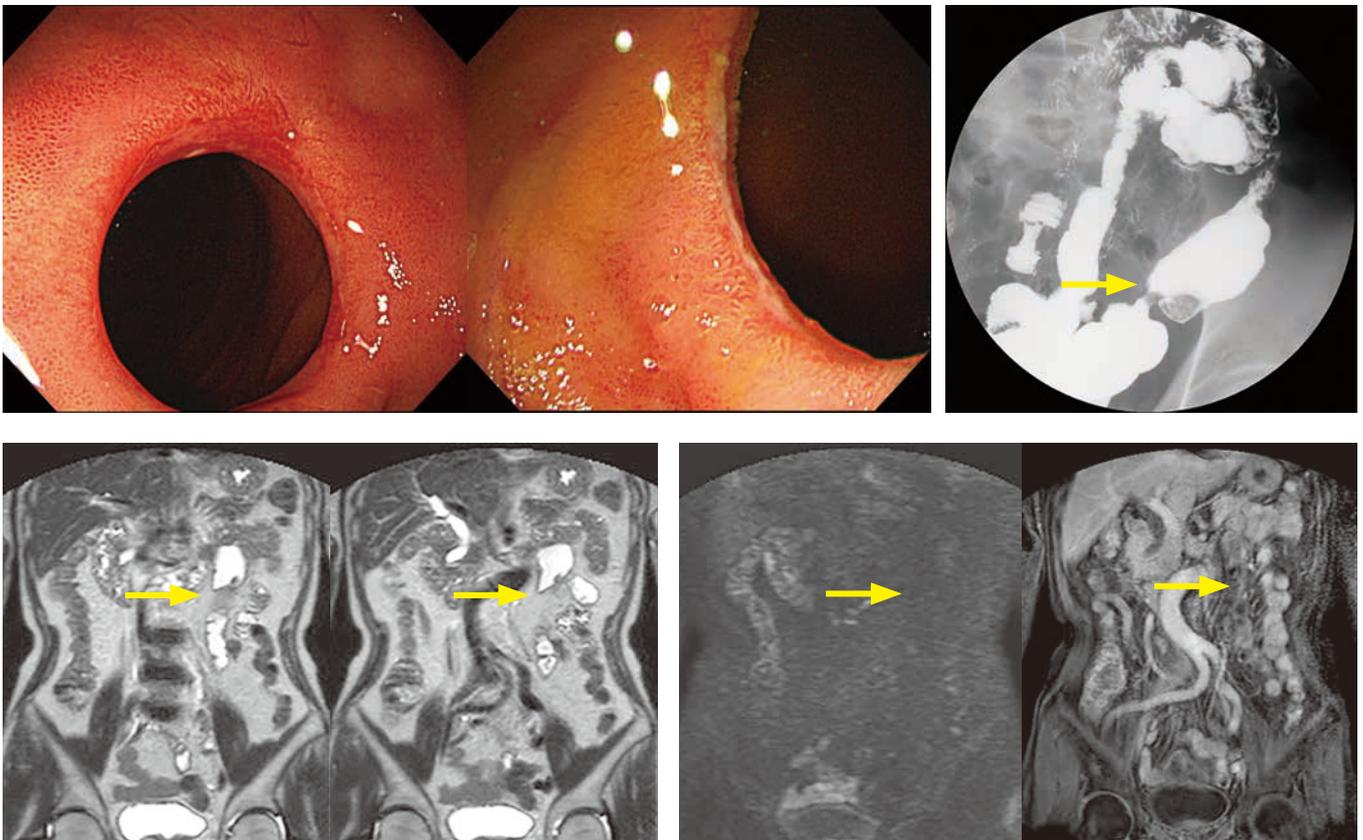
大船中央病院 放射線科 屋代 香絵
大阪市立総合医療センター 消化器内科 渡辺 憲治

1) NSAIDs小腸潰瘍(大船中央病院 消化器・IBDセンター 吉田 篤史 先生 御提供)

NSAIDs潰瘍は腸管軸に沿って輪状潰瘍 (Kerckring皺壁に並走) で、多発する傾向がある。治癒過程で膜様の狭窄 (diaphragm-like stricture) を来すこともある (図1-内視鏡画像)。そのため小腸カプセル内視鏡でNSAIDs潰瘍を精査する場合は、狭窄による滞留に注意が必要である。小腸造影画像とMRI画像は相補的であり、狭窄部と拡張小腸を同様に確認することができる (図1-小腸造影、MRI画像)。さらにMRI画像では消化管内の情報のみならず、拡散強調画像や粘膜の早期造影効果などを組み合わせることに

よって、炎症の程度や腸管外の情報を知ることができ他疾患との鑑別に役立てられる。同じく輪状狭窄を呈する腸結核、虚血性小腸炎や非特異性多発性小腸潰瘍症と鑑別が必要であるが、狭窄部の潰瘍の形態や周囲の粘膜の炎症性変化に着目することで画像的鑑別は比較的容易になる。

NSAIDs起因性小腸病変の画像のポイントは、潰瘍は辺縁が明瞭で周囲には炎症性変化が乏しい。CDや結核と異なり腸管膜附着側に対して規則性が無い。



A	B
C	D

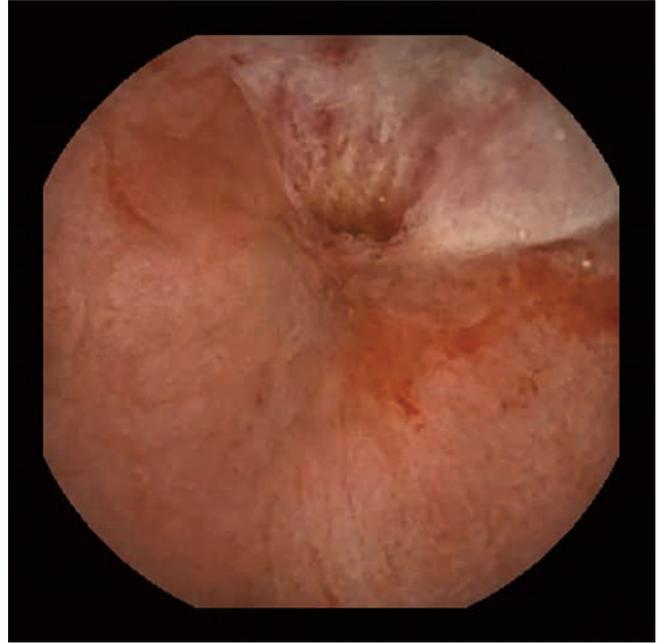
図1. 膜様狭窄 (diaphragm-like stricture)

- A. 内視鏡画像：経肛門的アプローチのシングルバルーン内視鏡検査で認められたNSAIDs中止後の回腸膜様狭窄。全周性の輪状潰瘍痕の後に生じる特徴的な狭窄である。
- B. 小腸造影画像：パウヒン弁から約1mの回腸に全周性狭窄を認めた (矢印)。狭窄径は5-6mm程度でバリウムの通過は良好で、軽度の口側拡張 (約44mm) を伴っていた。
- C. MRI画像 (T2強調)：回腸の狭窄部 (矢印) とその前後の異常な拡張を上腹部に認められた。小腸造影と同様に拡張部の液体貯留がhigh intensityでとらえられる。
- D. MRI画像 (拡散強調とガドリニウム造影)：上記C. 画像での病変部位 (矢印) に明らかな拡散強調の低下 (右) や小腸粘膜の早期濃染像 (左) は指摘できず、陳旧性の瘢痕狭窄と思われた。

2) 狭窄型虚血性小腸炎(埼玉県立小児医療センター 総合診療科 原 朋子 先生 御提供)

全身性エリテマトーデス、抗リン脂質抗体症候群の既往を有する10歳代女兒の症例。腹痛、体重減少、貧血、低蛋白血症を主訴

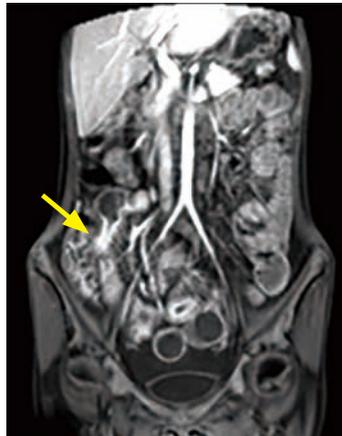
に精査施行。



A | B

- A. 回腸
- B. 回腸終末部

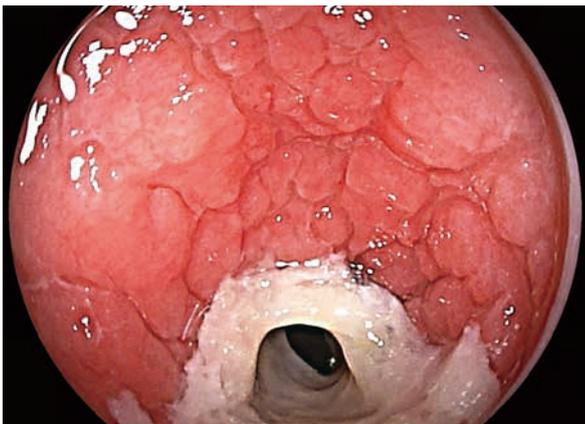
パテンシーカプセルにて消化管開通性確認後にカプセル内視鏡検査施行。回腸にびらん、回腸終末部に潰瘍を認め、狭窄を伴っていた。



C | D

- C. 造影MRI (T1強調冠状断)
- D. 造影MRI (T1強調冠状断像) (Cより背側)

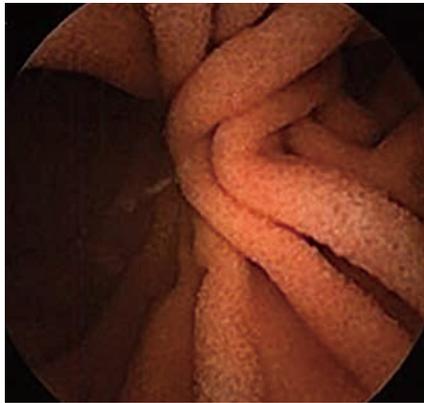
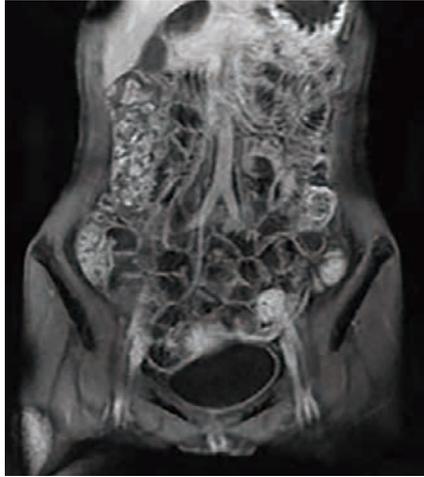
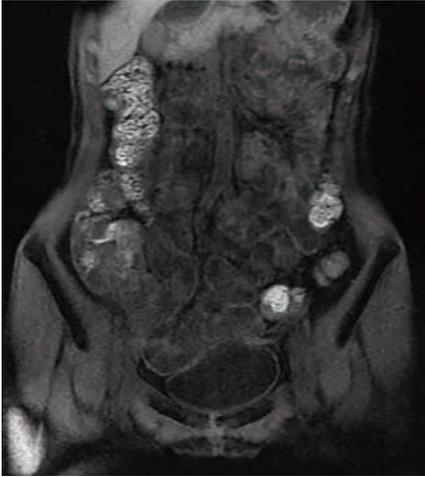
MREでは回腸壁の広範囲にわたって全周性の造影効果亢進が見られ、分節状の全周性狭窄も伴っていた。



経肛門的ダブルバルーン小腸内視鏡検査では、ひび割れ様の粘膜所見と、厚い白苔を伴う全周性の潰瘍による狭窄病変を認めた。この後、外科切除の方針となり、切除長120cmの回腸部分切除術が施行された。

3) 蛋白漏出性胃腸症を合併した全身性エリテマトーデス (弘前大学 消化器血液内科学 櫻庭 裕丈 先生 御提供)

症例1

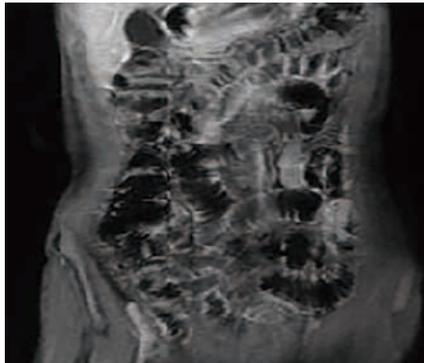
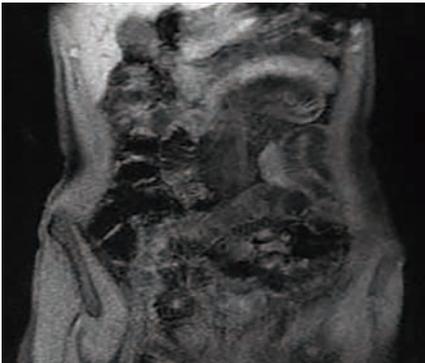


A	B
C	D

- A. 単純MRI (T1強調冠状断)
- B. Aの造影後
- C. 造影CT 冠状断像 (再構成画像)

MREとCTで胃壁と小腸壁の造影効果亢進を認め、カプセル内視鏡では浮腫状粘膜と絨毛腫大の所見を認めた。

症例2

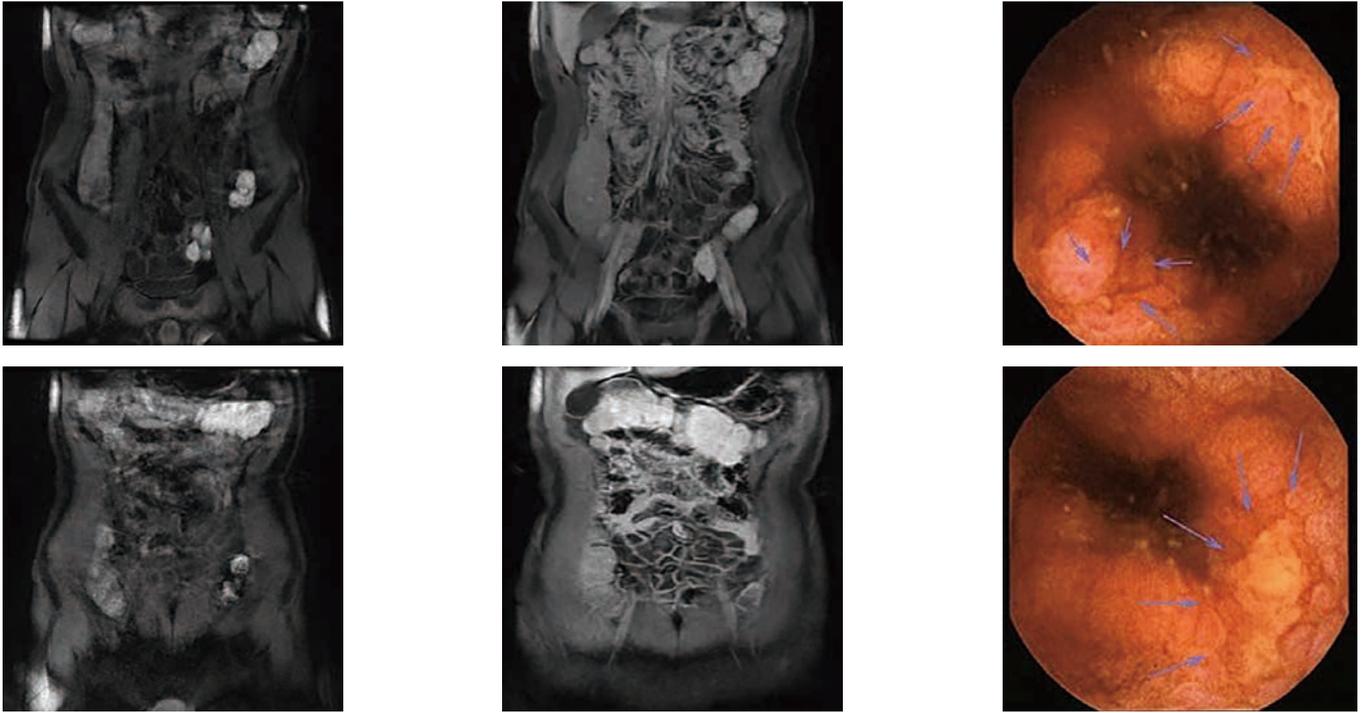


A	B
C	D

- A. 単純MRI (T1強調冠状断)
- B. Aの造影後
- C. 腹部造影CT横断像

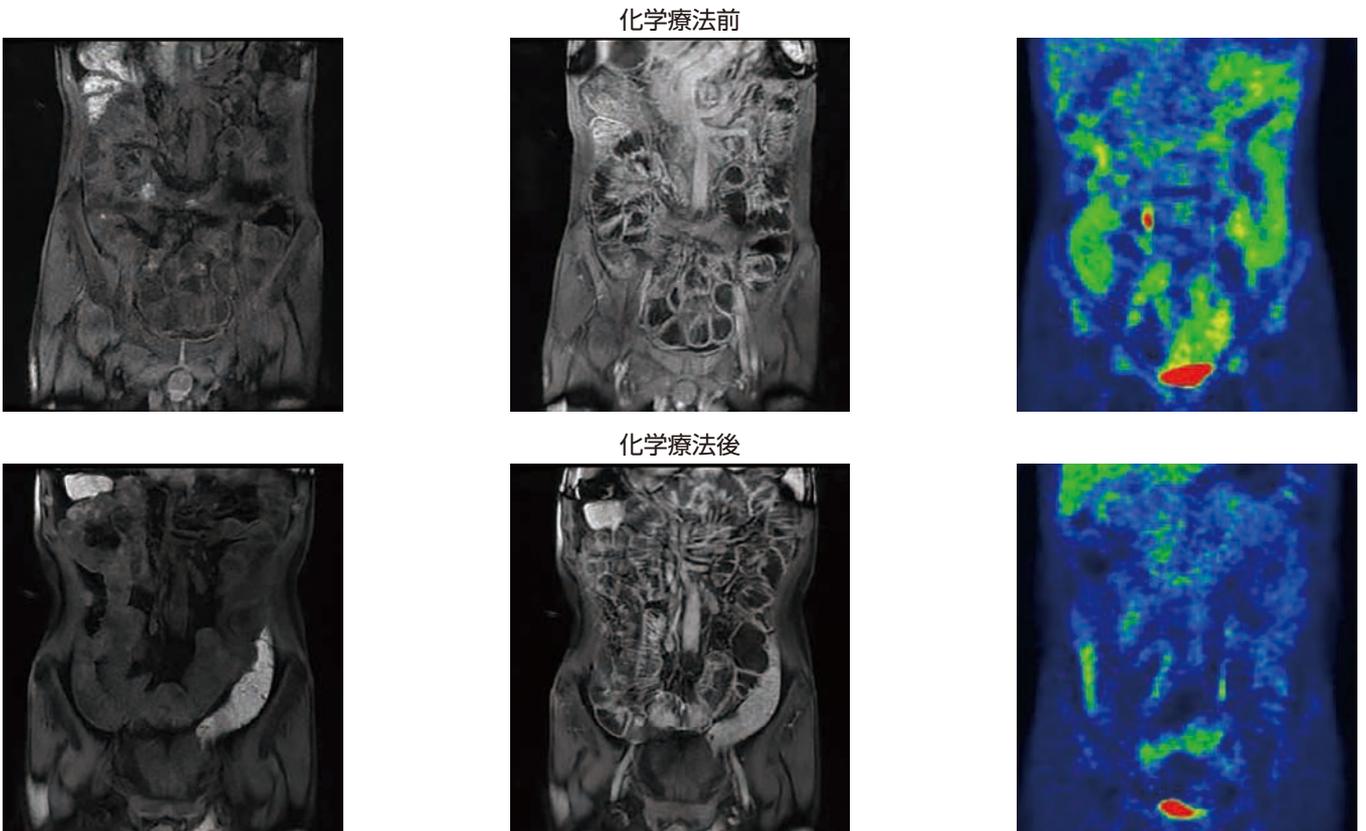
MREとCTで小腸壁の造影効果亢進を認め、カプセル内視鏡では浮腫状粘膜とケルクリングひだ腫大の所見を認めた。

4) IgA血管炎(弘前大学 消化器血液内科学 櫻庭 裕丈 先生 御提供)



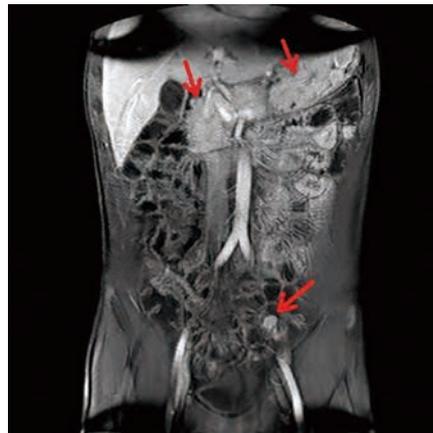
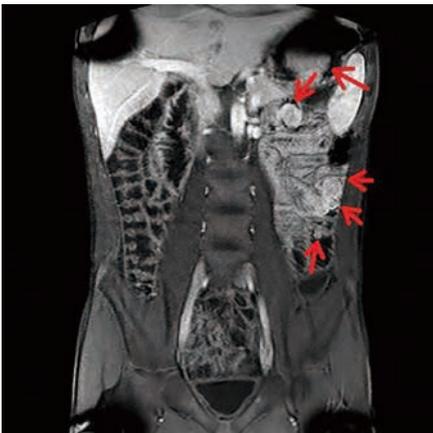
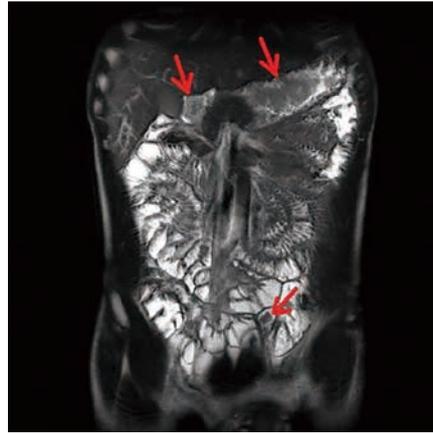
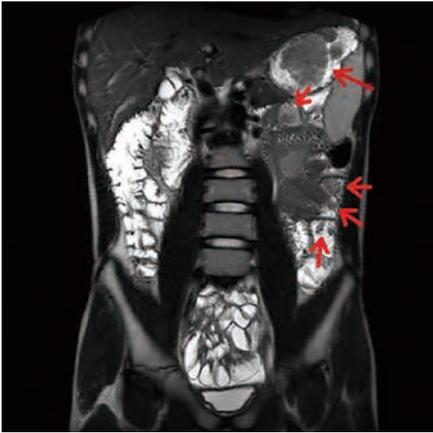
A. 単純MRI (T1強調冠状断) B. Aの造影後 D. 単純MRI (T1強調冠状断) E. Dの造影後
 MREでは空腸を中心として小腸壁の広範な造影効果を認め、カプセル内視鏡では浮腫、びらん、浅い潰瘍の多発を認めた。

5) 腸管症関連T細胞リンパ腫(弘前大学 消化器血液内科学 櫻庭 裕丈 先生 御提供)



A. 単純MRI (T1強調冠状断) B. Aの造影後 C. FDG-PET冠状断 D. 単純MRI (T1強調冠状断) E. Dの造影後 F. FDG-PET冠状断
 化学療法前に認めたMREの腸管造影効果亢進とPETの取り込み亢進は、化学療法後に改善した。

6) Peutz-Jeghers症候群 (防衛医科大学校消化器内科 渡辺 知佳子 先生、穂苅 量太 先生 御提供)

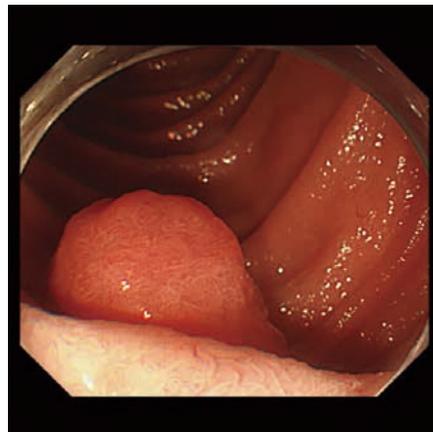
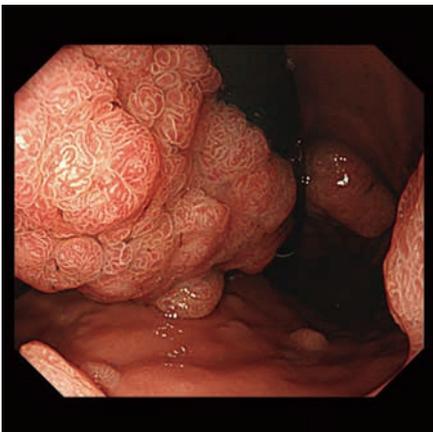
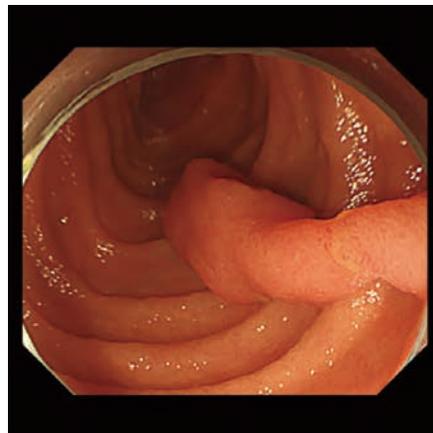
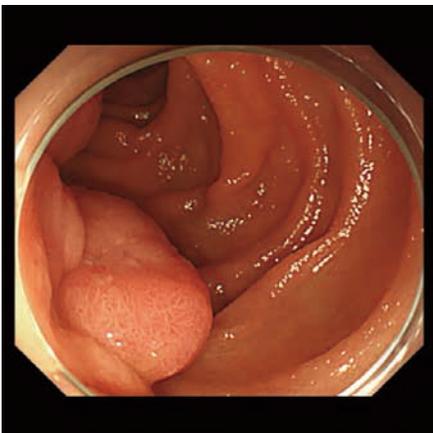


A	B
C	D

- A. 単純MRI (T2強調冠状断)
- B. 単純MRI (T2強調冠状断)
- C. 造影MRI (T1強調冠状断) Aと同一断面
- D. 造影MRI (T1強調冠状断) Bと同一断面

A, B: 胃ならび小腸内に大小の欠損像を認める。

C, D: 欠損像に一致した造影効果を認め、多発性の腫瘍性病変と認識できる。



Peutz-Jeghers症候群による過誤腫性ポリープが胃と空腸に多発し、双方の内視鏡的切除が施行された。

1. 小腸造影検査

福岡大学筑紫病院 消化器内科 平井 郁仁

はじめに

クローン病 (Crohn's disease, CD) では、約7割の患者が小腸病変を有することが知られている¹⁾。したがって、確定診断や活動性評価のために小腸病変の検索は必須である。従来はX線検査すなわち小腸造影がその中心を担っていた。しかし、X線被曝や検者の熟練を要するなどの理由から、その立ち位置はCTやMRIなどCross-sectional imageに取って代われつつある。しかしながら、本邦では多くの施設でいまだに行われている画像検査であり、CTやMRIがない施設でもCDの診断は小腸造影で可能である。小腸造影の役割には、①診断目的の主要所見すなわち縦走潰瘍や敷石像の描出、内視鏡では指摘困難な②瘻孔性合併症の確認、③変形や狭窄の把握、④小腸全体像の観察、さらに⑤治療

前後の小腸病変の客観的評価などがあげられる。ここではCross-sectional imageとくにMREの所見との比較もとりあげながら、小腸造影の描出能や特徴について解説する。なお、呈示する小腸造影の画像は、経口法小腸造影、ゾンデ法小腸造影など従来法の小腸造影を主体とした (内視鏡を用いた特殊法は呈示ごとに説明を付記した)。前者は100w/v%のバリウム200-300mLを経口で内服し、後者は造影用チューブをトライツ靭帯近傍に留置し、チューブより70-80w/v%のバリウム250-400mLと必要量の空気を注入し施行している²⁾。両検査とも必要に応じて鎮痙剤を用いており、基本的に回腸末端まで小腸の全体を描出している。

1) 診断目的の主要所見の描出

縦走潰瘍や敷石像は、厚生労働省の難治性炎症性腸管障害に関する調査研究班 (以下、研究班) によるCD診断基準の主要所見であり³⁾、その存在の確認は診断に直結し、確定診断に極めて重要である。縦走潰瘍は4-5cmを超える腸管の長軸方向に伸びる潰瘍である (図1A)。小腸造影で描出するためには、腸間膜付着側に

偏側性変形を伴って存在することを念頭に丹念な圧迫などを追加する必要がある。小腸の敷石像はCDでしか認めない極めて特異的な所見である (図1B)。通常、炎症が高度な部位に認められ、浮腫や周囲の縦走潰瘍の存在を意識してX線透視下に観察し、描出する。



図1A
回腸に認めた典型的な縦走潰瘍



図1B
回腸の敷石像。隆起と隆起の間には縦走潰瘍や小潰瘍が存在する。

2) 瘻孔性合併症の確認

瘻孔性合併症の有無は治療方針決定のため重要である。内視鏡による瘻孔の一次孔の確認や臓器との交通を証明することは困難であるが、小腸造影ではある程度可能である。腸管から腸管外へ

突出するバリウムや臓器間の交通を確認することで内外瘻や膿瘍形成が診断できる。

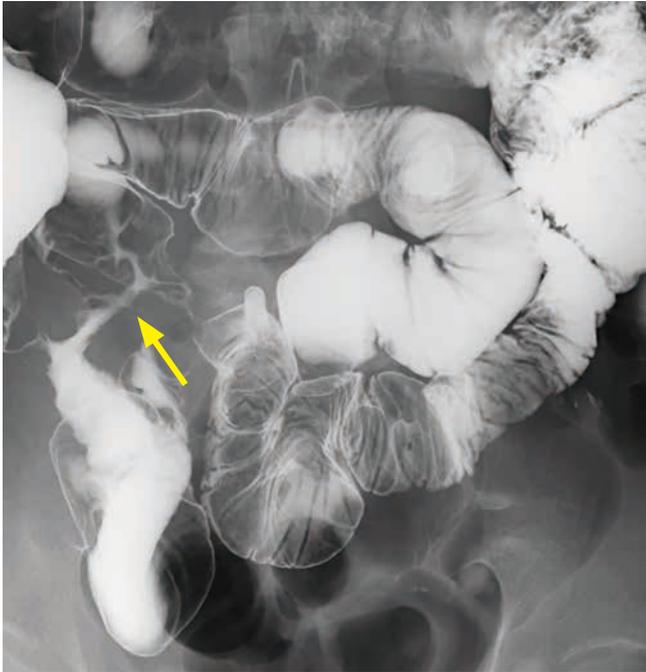


図2A
回腸狭窄部から肛門側の回腸に向かう瘻孔(↑)が認められる。

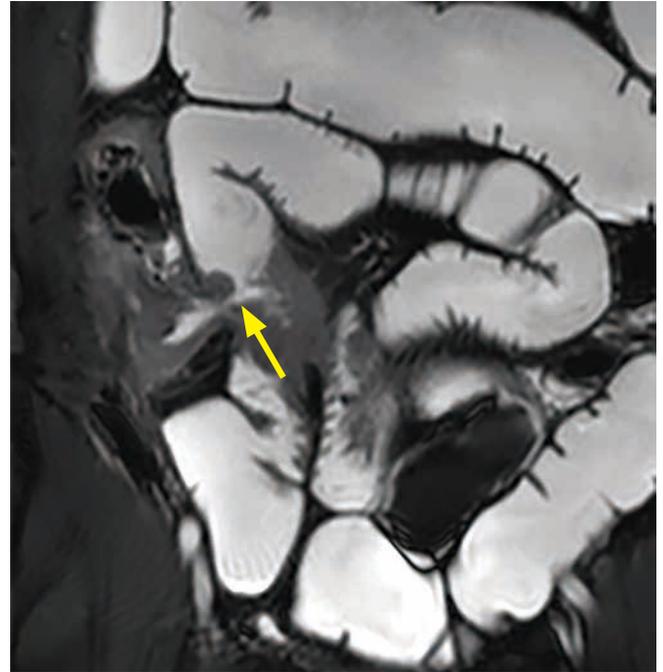


図2B
MREでも内瘻(↑)と腸管壁肥厚が描出されている。

3) 変形や狭窄の把握

瘻孔性合併症と同様に小腸狭窄は外科手術などの原因として重要である。内視鏡検査では挿入可能な範囲しか狭窄は同定できず、CTEやMREでの描出には限界がある。現時点では小腸

狭窄の評価には小腸造影が最も優れた検査法と考えられ、CD診療の上での小腸造影の存在意義の一因である。

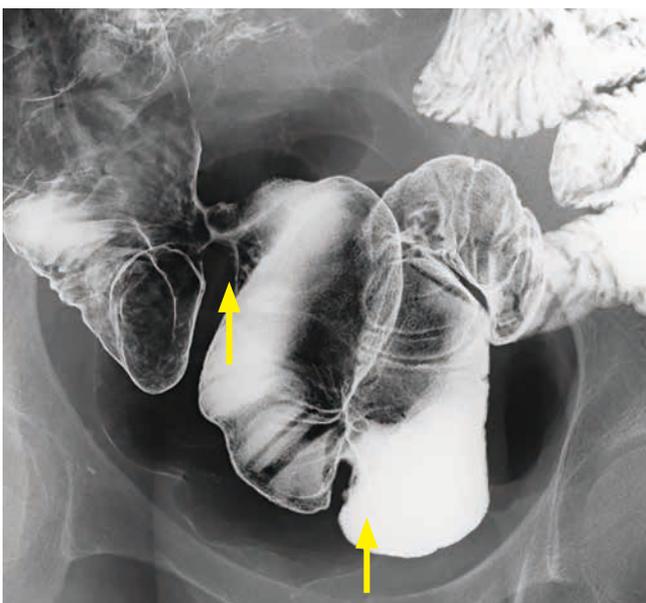


図3A
回腸末端と骨盤内回腸の2箇所(↑)に狭窄を認める。瘻孔や高度活動性病変なく、内視鏡的拡張術の適応と判断した。



図3B
下部回腸に広範囲の活動性病変と狭窄部あり、手術適応と判断した。

4) 小腸全体像の観察

CDでは病変局所の観察も重要であるが、長さ、病変範囲、主病変の位置など小腸の全体像を把握する必要がある。局所の詳細な観察は内視鏡検査に分があるが、全体像の把握には小腸造影やMREが有利である。

図4
図3Aと同一症例のX線像。十二指腸から回腸末端が広く造影されているが、前述した狭窄部以外に明らかな病変を指摘できない。



5) 治療前後の小腸病変の客観的評価

治療前後で同一部位を比較したい場合に小腸造影やCross-sectional imagingは客観性に優れた検査である。活動性が高い

部位の比較によって治療効果の判定が可能となる。

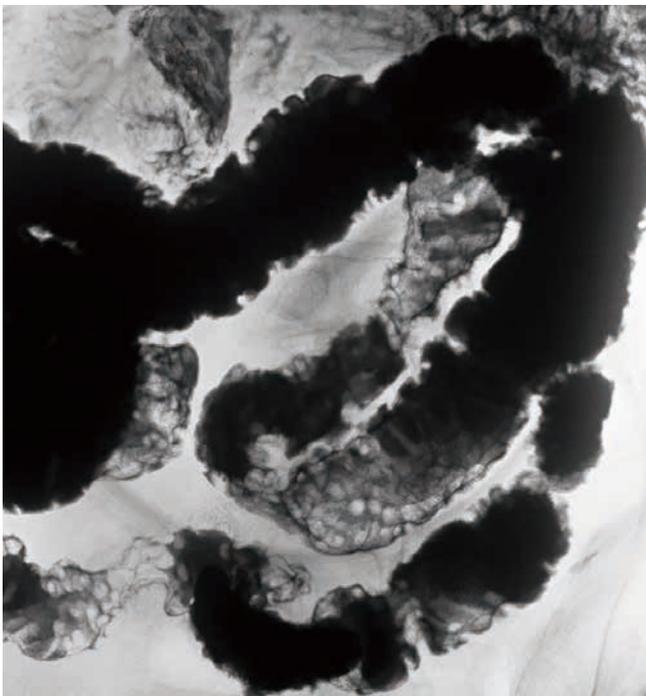


図5A
腸管浮腫を伴う敷石像を回腸の広い範囲に認める。

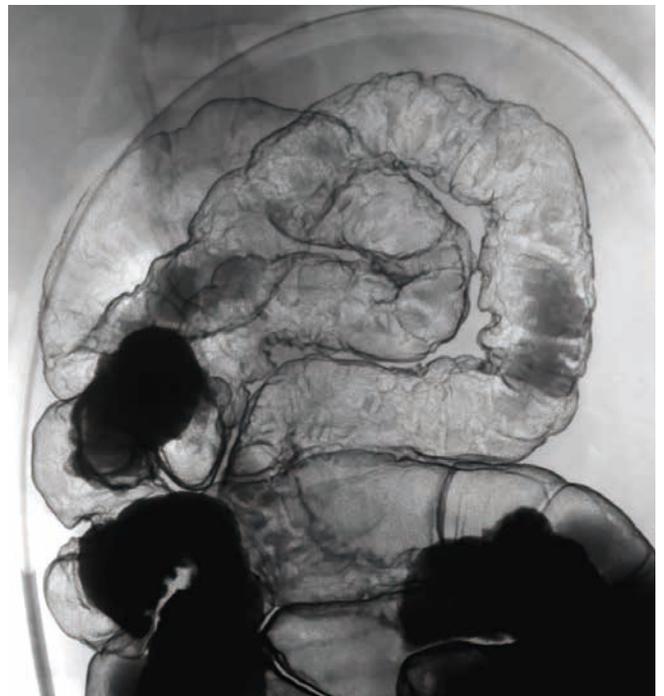


図5B
治療後のX線所見(内視鏡検査後に逆行性に回腸を造影)。敷石像は改善し、癒痕治癒している。

■ 参考文献

1. 難治性炎症性腸管障害に関する調査研究班(渡辺班). 一目でわかるIBD. 2010.
2. 平井郁仁, ら. Crohn病の小腸・注腸X線検査. 胃と腸. 2013; 48: 619-630.
3. 松井敏幸. 難治性炎症性腸管障害に関する調査研究班(渡辺班) 平成22年度総括・分担研究報告書.

2. 腹部超音波検査

川崎医科大学 検査診断学 内視鏡・超音波部門 畠 二郎

1) 走査手順

基本的に朝絶食で観察するが、特に腸管洗浄や抗コリン薬の使用といった前処置は必要としない。クローン病では病変が消化管のすべての部位に生じうることから、腹部食道から肛門まで、可能な限り系統的に走査する。系統的走査の基本は腹部食道、十二指腸、上行結腸、下行結腸、さらに直腸と決まった部位に位置する

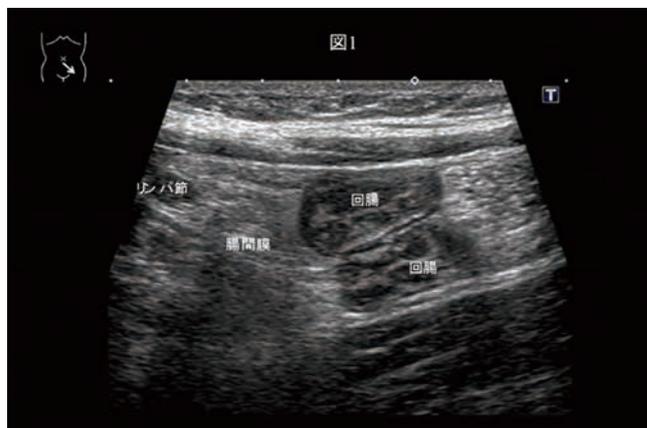
消化管を確実に同定し、管腔を追跡することにあるが、紙幅の制限上ここでは省略する。小腸は固定されていないため走行が自由であり、系統的走査は困難であるが、その部位と形状から空腸と回腸を鑑別する。

2) クローン病の超音波像

クローン病の超音波像の最大の特徴を要約すれば、部位と画像の多様性ということになる。消化管のあらゆる部位に病変を生じ、単発あるいは多発で、壁層構造の変化もさまざまである。多様性に富むということはクローン病をその超音波像から積極的に否定することは容易でないとも言える。

(1) 初期病変

アフタや小潰瘍そのものの体外式超音波による検出は困難であるが、このような段階では超音波上特にリンパ濾胞の腫大を中心とするごく軽度の腸管壁肥厚や腸間膜リンパ節の軽度の腫大などがみられる(図1)。ただし正常範囲内の変化との鑑別が容易でなく、少なくとも超音波で初期のクローン病を否定することは困難である。

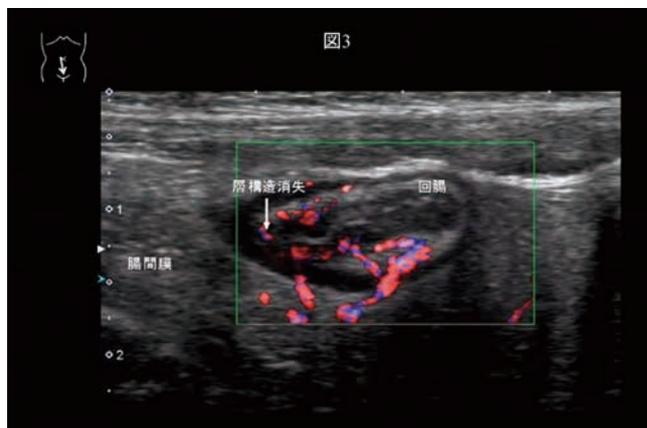
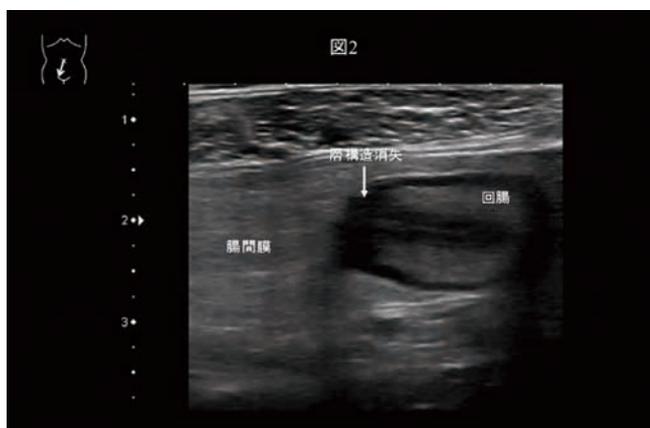


(2) 典型病変

① 縦走潰瘍

その中でかなりクローン病に特徴的と思われる画像は、病変の横断像における腸間膜側の楔状の層構造消失であり、これは縦走潰瘍を反映している。図2は回腸の横断像であるが、腸間膜の肥厚、腸間膜側の層構造消失が描出されている。図3は別症例

のSuperb Microvascular Imaging (以下SMI、東芝メディカルシステムズ社製)を用いた回腸の横断像であるが、同様に腸間膜側の層構造消失とともに、同部の血流亢進が表示されている。

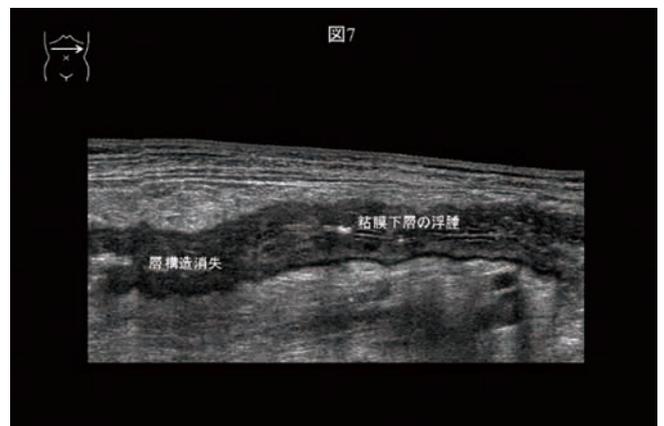
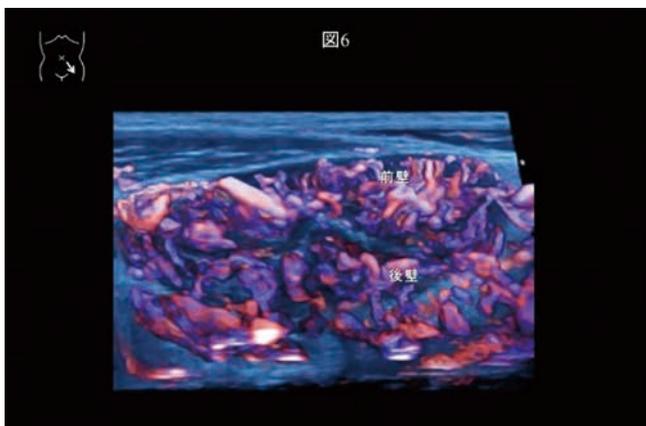
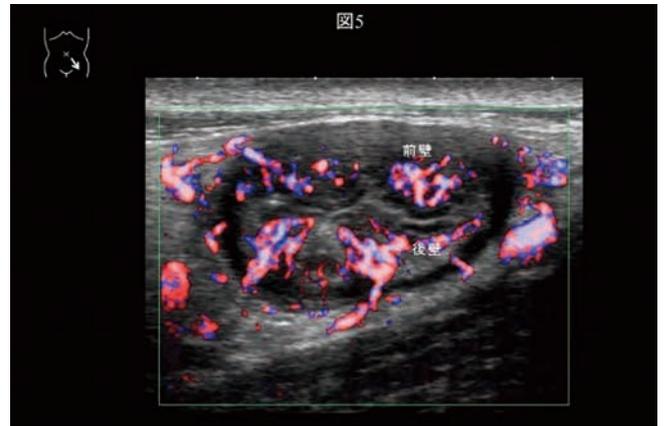
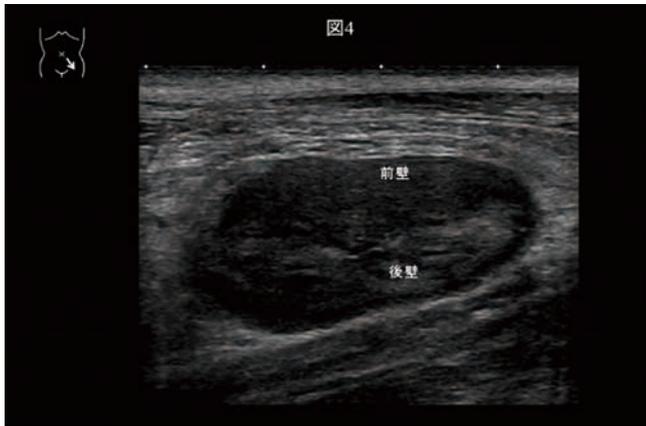


② 敷石像

さらに重症化すると縦走潰瘍が数条出現し、その間が粘膜下層の浮腫や炎症細胞浸潤により敷石状の外観を呈するようになるが、超音波では層構造の不明瞭化あるいは消失した壁肥厚として表現される(図4)。先述したSMIを用いるとほぼ全周性に血流の亢進がみられる(図5)。図6はその3D画像で、血流の増加した様子が

より把握しやすい。

先述したようにこれらの画像が連続的あるいは非連続的に混在しているのがクローン病の特徴的所見とも言える。図7はクローン病における横行結腸のパノラミックビュー(広範囲表示)であるが、層構造や壁の厚みが部位により様々である。

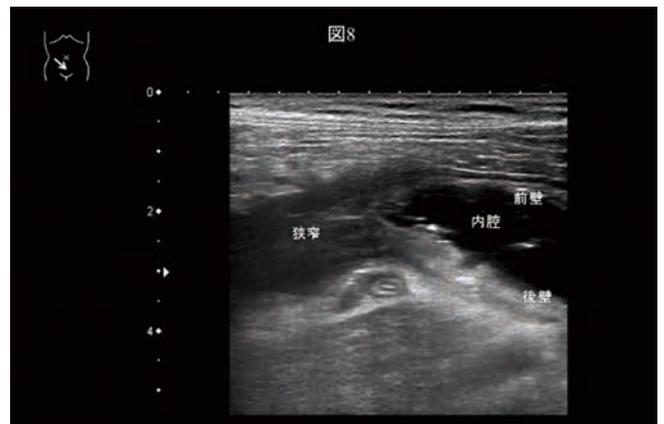


(3) 合併症

① 狭窄

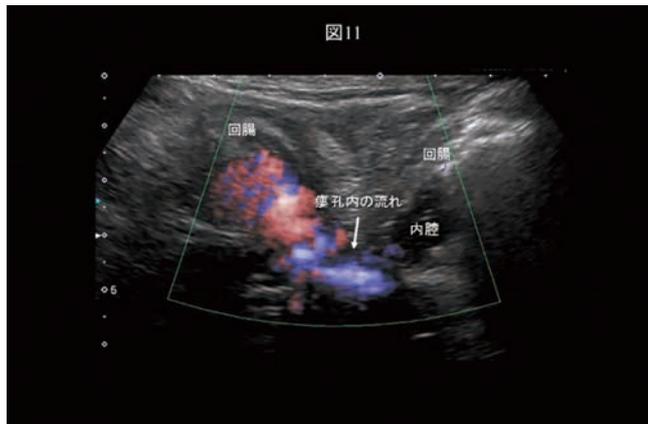
狭窄病変は内腔の狭小化と口側腸管の拡張として描出されるが、液体は通過しても固形物は通過しないこともあり、絶食下で評価するよりも日頃の食事を摂食した上での観察がより現実的である。図8に狭窄病変を示す。狭窄部の層構造は消失していることから、炎症性の浮腫というよりは強い線維化の存在が示唆される。

このような狭窄病変を有する症例に対してカプセル内視鏡を施行した場合、高率にカプセルの滞留を合併するが、その存在診断にも超音波が役立つ。カプセルは直線的な高エコーと音響陰影からなり、図9は滞留したカプセルの短軸像、図10はその長軸像である。



② 瘻孔、膿瘍

瘻孔は近接臓器との間に交通を有する線状高エコーとして描出される。交通の証明には内容物の移動をリアルタイムに観察するが、カラードプラを用いると静止画像として表現できる。図11は

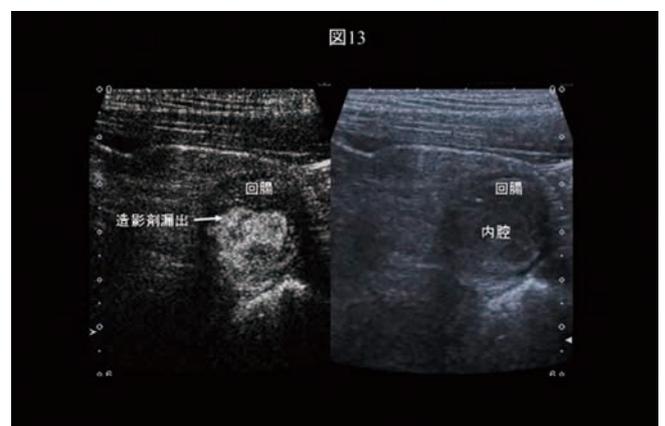


小腸間の瘻孔をドプラ表示したものである。また膿瘍は病変部から進展する洞に連続する低エコー域として表現される。図12に膿瘍を示す。



③ 出血

出血もしばしば経験される合併症である。しかしながらクローン病では病変が多発することも多く、また消化管のあらゆる部位に病変が生ずることからも出血部位の同定は必ずしも容易でない。これに対し造影超音波を用いると、活動性出血が存在する場合は内腔への造影剤漏出として検出され、部位の同定に役立つ。図13に出血症例の造影超音波像を示す。内腔に造影剤が漏出しているのが分かる。



3) 鑑別診断

クローン病の鑑別対象疾患は数多く存在するが、先述したように病変の多様性がクローン病の特徴であるということは、画像が他疾患に類似する可能性も高いことを示しており、少なくとも1枚の画像のみで鑑別診断を決定することは容易でない。実際には病変の部位、分布、層構造などを考慮して鑑別している。例として図14に潰瘍性大腸炎の超音波像を示す。クローン病と異なり、直腸から連続し、一般に層構造は明瞭で粘膜層の肥厚が目立つ。



4) 超音波検査の位置づけ

非侵襲的で簡便、かつ前処置も必要としないことから、本症が疑われるすべての症例における第一選択のスクリーニング法として用いることができる。同時にカプセル内視鏡施行前の狭窄病変の検索、また先述したようにカプセルの滞留部位の診断にも用いられる。

すでに診断がなされている症例においては経過観察の手段としても有用であり、壁肥厚の程度や血流などを評価することで

活動性を把握できることから、内視鏡の回数を減じることが可能となる。また合併症の診断にも有用であることはこれまで述べたとおりである。

このように超音波はクローン病における初期診断、精査、経過観察のすべての局面で非常に有用な検査法であり、今後各施設において活用されることが期待される。

3. CT enterography

東邦大学医療センター佐倉病院 消化器内科 竹内 健

CT enterography (CTE) は、水と同じCT値をもつ等張性の液体 (中性造影剤) を経口的に投与し造影CTを撮影することで、腸管壁の状態を通常のCTより詳細に描出することを可能にした撮影方法である。欧米を始めとした諸外国では、すでにCTEとMR enterography (MRE) などの横断的画像診断法はクローン病の基本的診断法となっている。

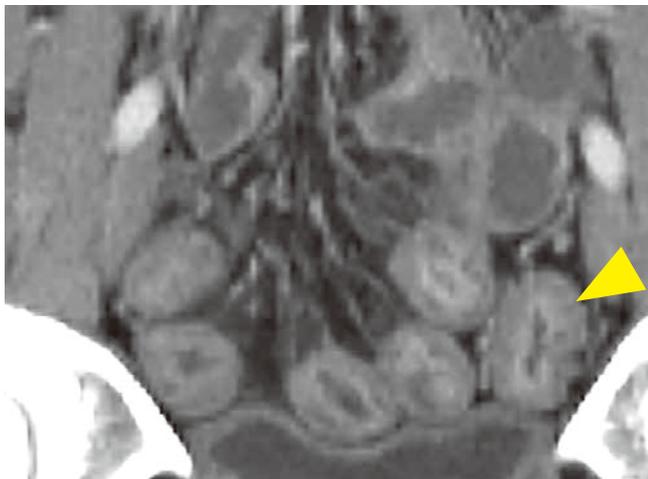
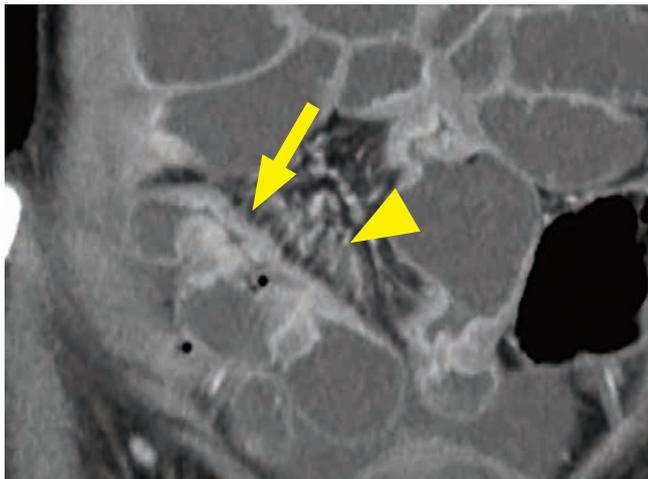
海外ではMREと共通の専用経口中性造影剤が市販されているが、本邦では等張性腸管洗浄剤で代用する。1.3~1.8Lをスキンの1時間ほど前から3~4分割して服用させる。スキャン5分前に腸管蠕動を抑制するため鎮痙剤を投与し、血管造影剤を投与50~60秒後に16列以上のMDCT (multi-detector raw CT) でスキャンを行う¹⁾。

クローン病の病変の好発部位は回盲部だが消化管全域に発生する可能性がある。また、病変は連続せず「飛び石」状に発生し、炎症は腸管壁に留まらず腸管外にも波及するため、CTEやMREなどの“横断的画像診断法”は理想的な画像診断法といえる。

CTEでは、クローン病による腸管炎症は次のような所見を示す。

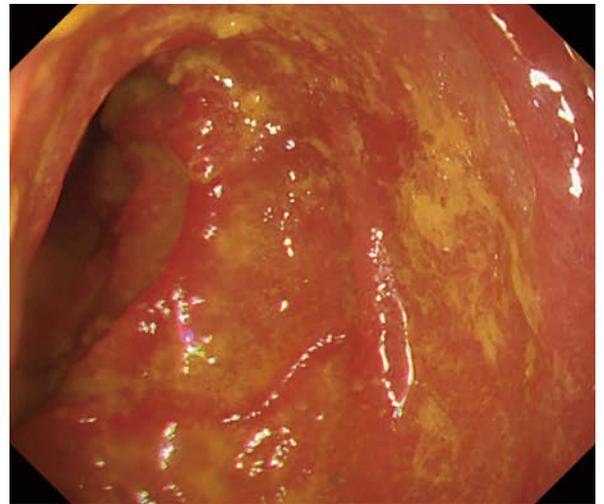
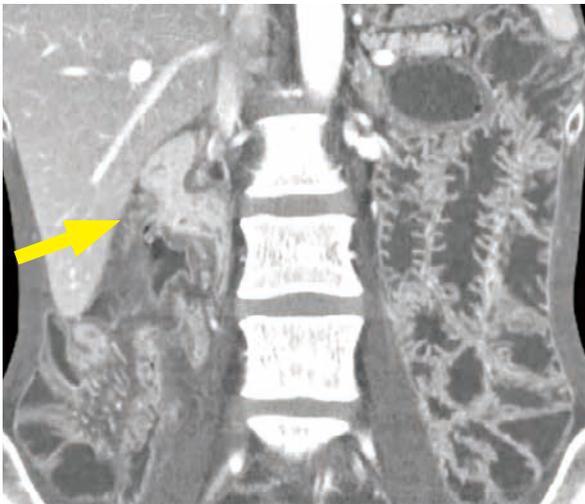
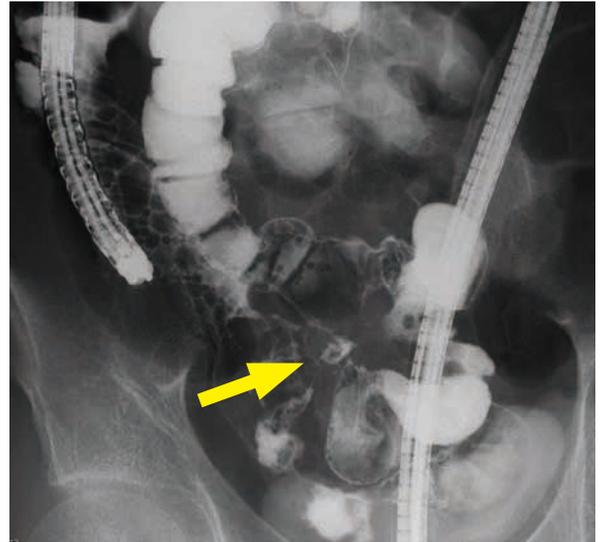
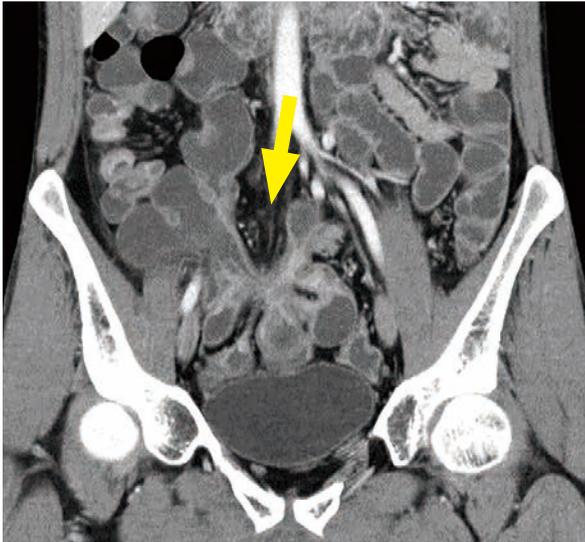
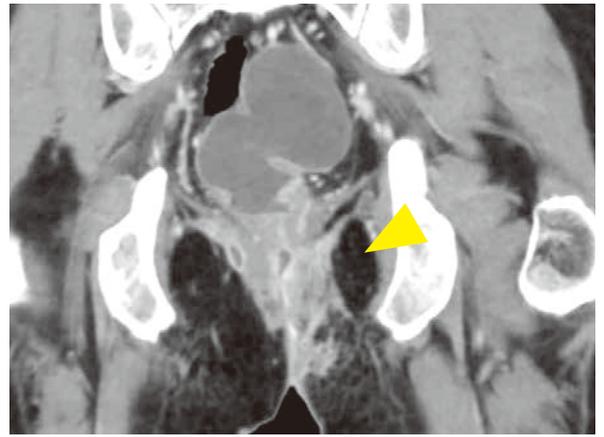
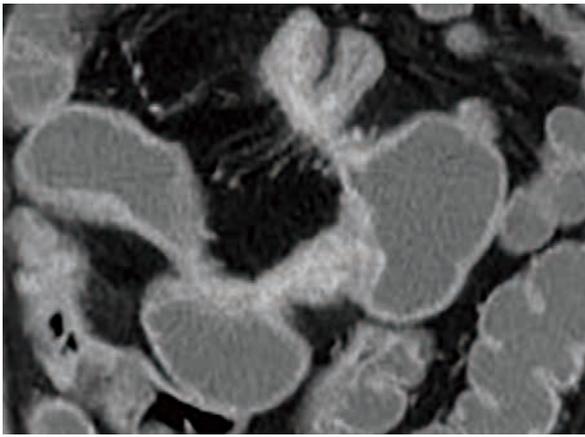
急性活動性病変では、腸管壁は強く造影され肥厚し (3mm<)、時に粘膜下の浮腫のため3層に造影される (target sign)。特に縦走潰瘍は腸間膜付着側が直線化し、炎症部位の腸間膜直細動脈は血流の増加により拡張しcomb signと形容される。慢性活動性病変では、腸管狭窄や嚢腫様変形などの腸管変形が認められ、病変部位の腸間膜付着部位に沈着した脂肪織を帯状に認める (fibro-fatty proliferationあるいはcreeping fat)。また、CTEでは任意断面により3次元画像による診断が可能であり、小腸造影検査では小骨盤内で癒着して描出が困難なリンパ節や膿瘍などの他、腸管や他臓器間の瘻孔も詳細に検討が可能である。瘻孔の描出には、経口中性造影剤ではなく陽性造影剤が有効である。クローン病では、胆石や尿路結石などの合併が多いことにも注意を要する²⁾。

CTEは、MREと同様に簡便かつ低侵襲性の検査であり、MREと比較し短時間かつ安価に施行可能である。一方、エックス線被曝は避けられず、海外ではクローン病の診断・モニタリングには、可能な限りMREを使用することが推奨されている。



A | B
C

- A. 回腸末端部の縦走潰瘍
回腸末端部に認められた縦走潰瘍は強く造影され腸管壁が直線化して描出されるとともに (矢印)、付着している腸間膜の直細血管は拡張し“comb sign” (矢頭) を示している。
- B. 回腸の急性炎症病変
腸管壁は肥厚し急性炎症による粘膜下浮腫のため、層状になっている (矢頭)。
- C. 回腸の急性炎症病変
急性炎症病変として粘膜下浮腫を起こした回腸の横断像は“target sign”を呈する。



D	E
F1	F2
G1	G2

D. 回腸の多発狭窄と嚢腫状変形

炎症が長期化し慢性化すると腸管は変形し、狭窄し縦走潰瘍部位は短縮するため、対側が嚢腫のように拡張して見える。

E. 肛門周囲膿瘍

CTEでは一度のスキャンで腹部全体～骨盤部まで描出できるため、肛門周囲膿瘍なども観察が可能である。

F. 骨盤内小腸(回腸)の多発瘻孔(内瘻)

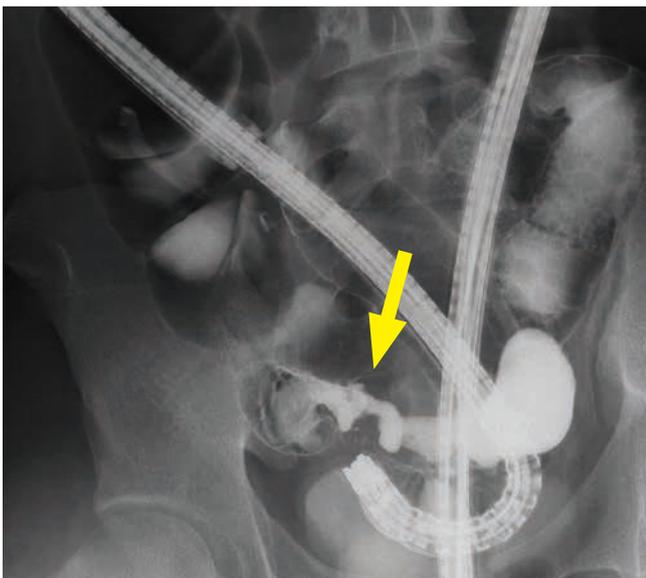
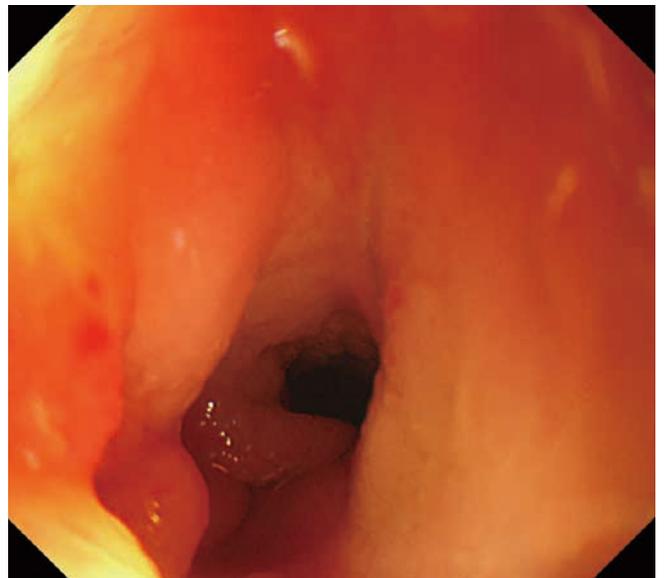
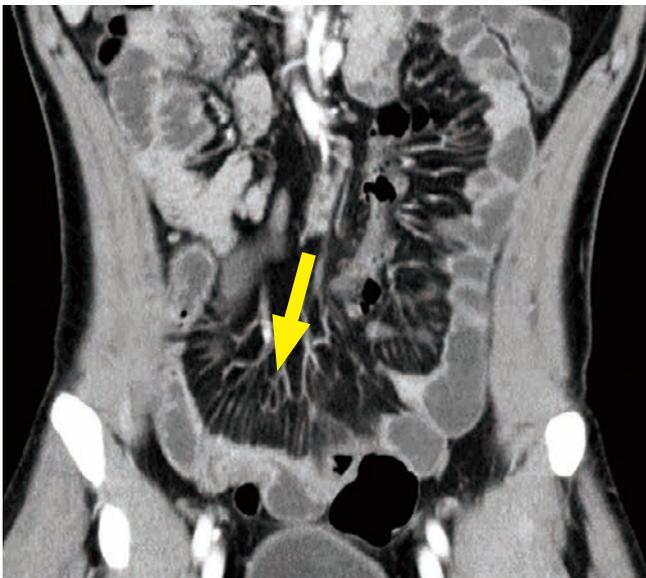
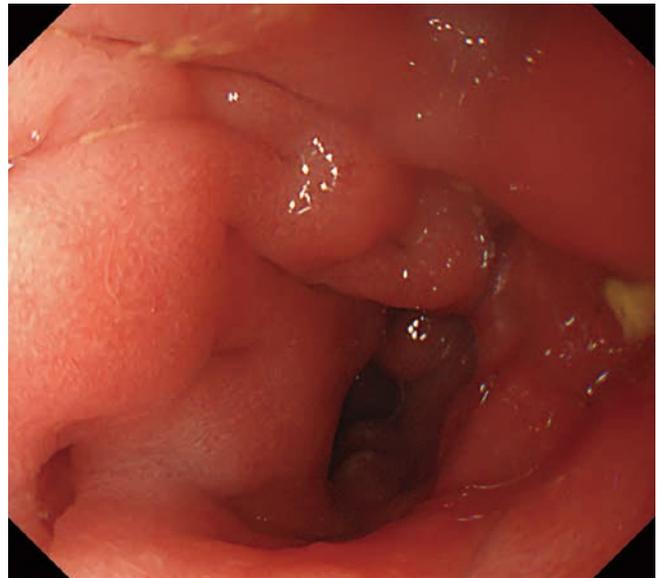
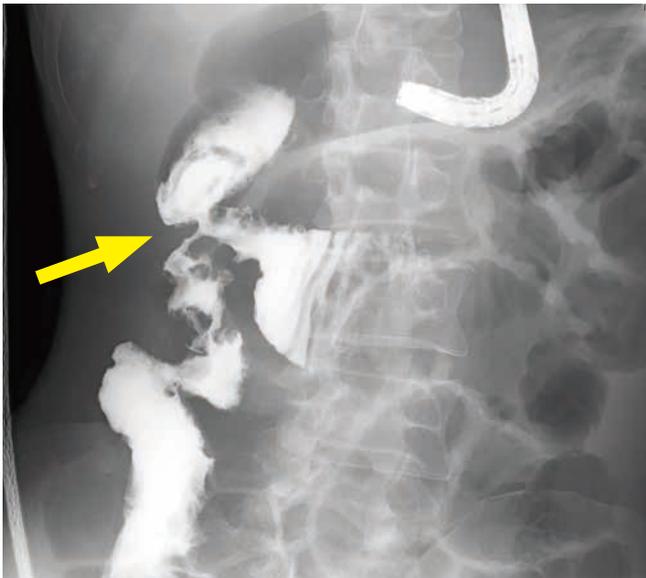
F-1. CTE冠状断像では回腸同士が癒着し瘻孔を複雑に形成している様子が一断面で容易に描出できている(矢印)。

F-2. 同部位の内視鏡的逆行性ガストログラフィン造影。CTEと同様の所見が淡く描出されている(矢印)。

G. 小腸・大腸型クローン病にみられた十二指腸下降脚と横行結腸肝彎曲部の内瘻形成。抗TNF- α 抗体製剤による寛解導入後も持続する体重減少の精査のため、CTEが行われた。

G-1. CTE冠状断ではいくつかの任意断面で十二指腸下降脚と横行結腸肝彎曲部間に内瘻形成が描出されていたが(矢印)、検出には詳細に局所評価をすることが必要である。

G-2. 上部消化管内視鏡像。胃および十二指腸に糞便と思われる残渣を認め、十二指腸粘膜は発赤していたが、瘻孔は同定できなかった。



G3	G4
H1	H2
H3	

G. 小腸・大腸型クローン病にみられた十二指腸下降脚と横行結腸肝彎曲部の内瘻形成。抗TNF- α 抗体製剤による寛解導入後も持続する体重減少の精査のため、CTEが行われた。

G-3. 内視鏡からのガストログラフィ造影。下降脚と肝彎曲部間の瘻孔が描出されている(矢印)。

G-4. 大腸内視鏡所見。肝彎曲部は粘膜浮腫のため挿入が困難なため、内瘻形成部も含めて内視鏡観察ができなかった。

H. 小腸型クローン病

H-1. CTE冠状断像。縦走潰瘍とともに“comb sign”が描出されているが、腸間膜附着側の対側が囊腫様変形を示しており、慢性病変と考えられる。

H-2. 内視鏡は線維性狭窄のため回盲弁より口側には挿入できなかった。

H-3. 内視鏡からの造影で著明な狭窄が描出されている。

■ 参考文献

1. 竹内 健, ら. 【炎症性腸疾患2013】 炎症性腸疾患におけるCT・MRI所見. 胃と腸. 2013; 48: 753-757.

2. 竹内健, ら. クローン病診療における CT による画像診断の実際—CT enterography—日消誌. 2015; 112: 1244-1250.

VI. クローン病肛門周囲病変に対する骨盤MRIとCT

慶應義塾大学 放射線診断科 奥田 茂男

はじめに

肛門周囲病変の検出や評価のためには、肛門周囲筋群との関係を知るため、軟部組織コントラストに優れたMRI検査を行うことが望ましい。また、複雑な解剖が評価対象であるので、局所に特化した撮像法(骨盤腔MRI)が勧められる。MRエンテログラフィ(MRE)は腹部骨盤腔全体を撮像範囲とするため、空間分解能の制限から、肛門周囲の詳細な評価が困難になることがある。特に、体格の大きな患者さんの場合、肛門周囲は撮像範囲の辺縁になってしまうため、磁場不均一の影響を受けてゆがんでしまう

ことも危惧される。CT検査は上腹部から骨盤底までを撮像範囲としても空間分解能は保てるが、組織コントラストがMRIに比べて劣るので、造影剤を使わないと病変の評価が難しいことが多い。骨盤腔MRI検査が画像検査として最も適しているが、肛門周囲病変の目的だけにMRI検査を行うのは、検査枠などから難しい現場も多いと思われる。MREや造影CTによるおおまかな評価でも臨床的には十分な内容である場合もあり、検査の選択には柔軟に対応したい。

1) 画像解剖(図1)

肛門括約筋には、内および外肛門括約筋がある。内肛門括約筋は直腸筋層の内輪層下端が特に発達したものであり、画像上は直腸筋層との区別はつかない。外肛門括約筋は、解剖学上は深部、浅部、皮下部に分けられているが、画像では分離は難しい。

肛門挙筋は骨盤底の重要な構成パーツである。坐骨および恥骨から起こり、正中背側で尾骨に付く。前者は坐骨尾骨筋、後者は恥骨尾骨筋である。坐骨尾骨筋は尾骨直腸筋として、直腸下端を背側からU字状に取り囲み、排便のコントロールに寄与している。MRIにおける歯状線の同定は困難であるが、尾骨直腸筋に相当する膨らみがおおよそ歯状線の位置の目安になる。一方、恥骨尾骨筋は骨盤隔膜となっており、頭側を骨盤直腸窩、尾側を坐骨直腸窩にわけている。MRIのT2強調像ではこれらの構造が明瞭に認識できる¹⁾。

痔瘻がこれら筋肉を貫いているか、外科的治療を考慮する場合は重要な情報となる。痔瘻の走行分類は、これまで国内では隅越分類、海外ではParks分類が用いられることが多いが、これらの一部修正した分類も提唱されている²⁻⁴⁾。隅越分類では、粘膜下、筋間、坐骨直腸窩、骨盤直腸窩のスペースを、それぞれI~IVと表記し、歯状線より上にあるものを高位(H)、下にあるものを低位(L)と表記することを基本として表記されることが多い。

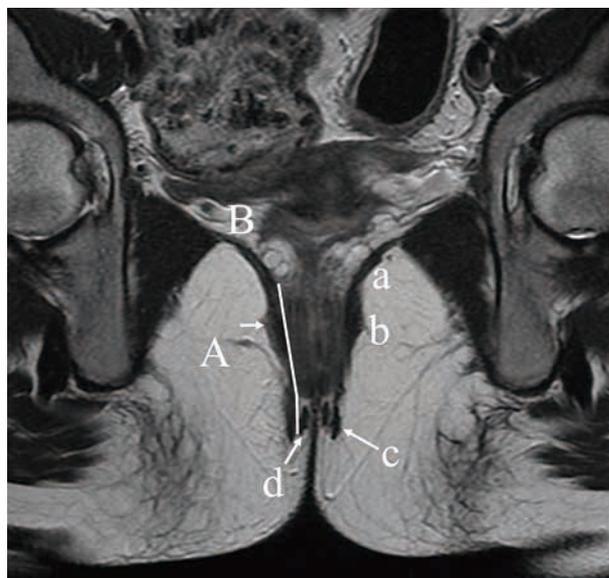


図1：肛門周囲筋群(MRI T2強調・斜冠状断像)
a：肛門挙筋、b：直腸恥骨筋、c：外肛門括約筋、d：内肛門括約筋。
撮像断面は図4Dの断面に並行。白線は筋間を示す。恥骨直腸筋の膨隆部がほぼ歯状線のレベルの目安になる(短矢印)。

2) MRI撮像の実際

(1) 磁場強度と受信コイル

臨床上、汎用されているのは1.5テスラあるいは3テスラ装置である。3テスラ装置は1.5テスラ装置に比べて信号雑音比が高いため、空間分解能を上げる、検査時間を短縮させる、などの利点があるが、消化管に空気がたまっている場合などは磁化率不均一の影響を受けて、画像がゆがんでしまうことも時に経験されるので注意を要する。受信コイルは、phased-array coilなど局所の撮像に適したものを選択する。

(2) MRI撮像法

病変と肛門周囲筋群の関係を把握するため、脂肪と筋肉とのコントラストが良い、T2強調像を基本に検査内容を組み立ててゆく¹⁾。従来の2D法に加えて、最近では3D T2強調像が撮像可能になっており、さらに細かい情報が得られる。しかし、3D法では

スライスの厚みは薄くできるが、面内の空間分解能は大きくなり、また、組織コントラストが若干変化する点には注意が必要であり、どの局面で使うのか、操作者の判断にゆだねられる場合も多い。筆者の施設では、矢状断を3D法、他断面は2D法を用いた撮像を基本としている。

膿瘍を含めて炎症を検出するためには、脂肪抑制法を併用したほうが、脂肪組織内における病変を認識しやすくなる。しかし、脂肪信号を抑制すると筋肉と脂肪とのコントラストが不明瞭になるため、解剖学的構造を把握するためには、脂肪の信号は残っていた方がよい。脂肪抑制あり・なしの両方を撮像すると、検査時間が延長してしまう。脂肪抑制の有無を断面ごとに割り振る工夫が必要である。

拡散強調画像 (Diffusion weighted image; DWI) は、炎症や膿瘍が強い信号として描出されるので、これらの検出に優れている^{5,6)}。ただし、直腸内容物なども強い信号を呈することがあるので、注意を要する。T2が延長している場合、DWIに影響して強い信号を呈することがあるので (T2 shine through)、その影響を排除する目的で、必要に応じて Apparent diffusion coefficient (ADC) map を併用することもある。

造影剤を併用したほうが、膿瘍や瘻孔などの描出に優れるので、造影剤使用の禁忌がなければ、造影剤の使用が勧められる。造影前後では、3D法の脂肪抑制T1強調像を用いる。以下に撮像プロトコルと、それに従って撮像した一例を示す (表1、図2)。シーケンスについては、一般名称で記載している。また、撮像条件はベンダーや機種のスぺックにより設定が異なるので、各施設で最適化することが望ましい。

(3) MRI撮像断面

直腸は体軸に対して斜めに走行しているので、体軸もしくはその直交断面では、筋肉の解剖が不明瞭になり、病変が部分容積の影響で不明瞭化する危険がある。存在診断のみを考えるのであれば、それでも十分であるが、特に筋肉との関連を評価するためには、肛門管の走行に沿った斜断面を積極的に取り入れる必要がある。

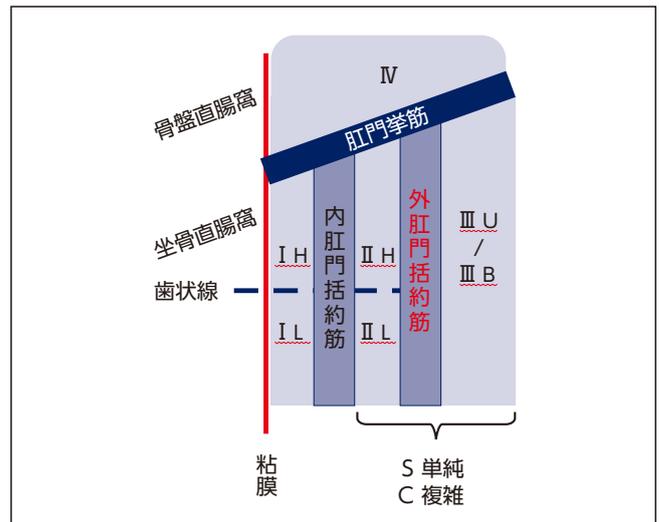


図2：隅越分類。粘膜下 (I)、筋間 (II)、坐骨直腸窩 (III)、骨盤直腸窩 (IV)。I、II では、歯状線より高位 (H)、低位 (L) を記載する。II、III では、単純 (S)、複雑 (C) を、III では片側 (U)、両側 (B) を記載する。

表1 撮像プロトコルの一例

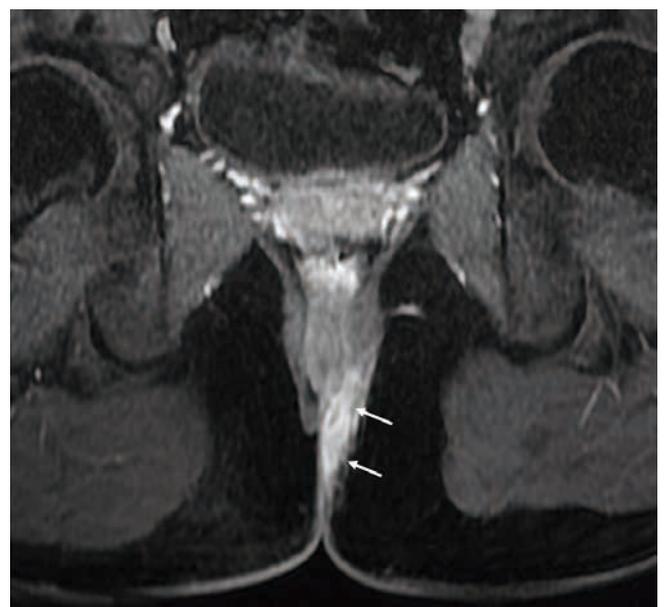
	脂肪抑制	断面方向	TR/TE (msec)	Flip Angle (°)	スライス厚/送り (mm)	マトリックス	関心領域 (cm)	NEX	撮像時間 (分:秒)
3D T2WI	なし	矢状断像	2000/95	90	2 / 1	288 x 224	28	1	2 : 30
2D T2WI	あり	横断像	4000/90	90	5 / 5.5	320 x 192	20	3	2 : 30
2D T2WI	なし	斜冠状断像	4000/90	90	5 / 5.5	320 x 192	20	2	2 : 15
2D T1WI	なし	横断像	400/7	90	5 / 5.5	256 x 160	20	2	2 : 15
DWI	あり	横断像	4400/77	90	5 / 5.5	160 x 128	36	6	2 : 00
3D T1WI	あり	横断像	6.4 / 3.2	15	4 / 2	256 x 256	26	1	0 : 38
Gd 3D T1WI	あり	3方向	6.4 / 3.2	15	4 / 2	256 x 256	26	1	0 : 38 x 3

計 14 : 02

3) CT撮像

CTの撮像については、多検出器列CT (Multi-detector row CT: MDCT) であれば、腹部骨盤腔撮像のための一般的なプロトコルで特に問題はない (図3)⁷⁾。ただし、撮像範囲が確実に肛門

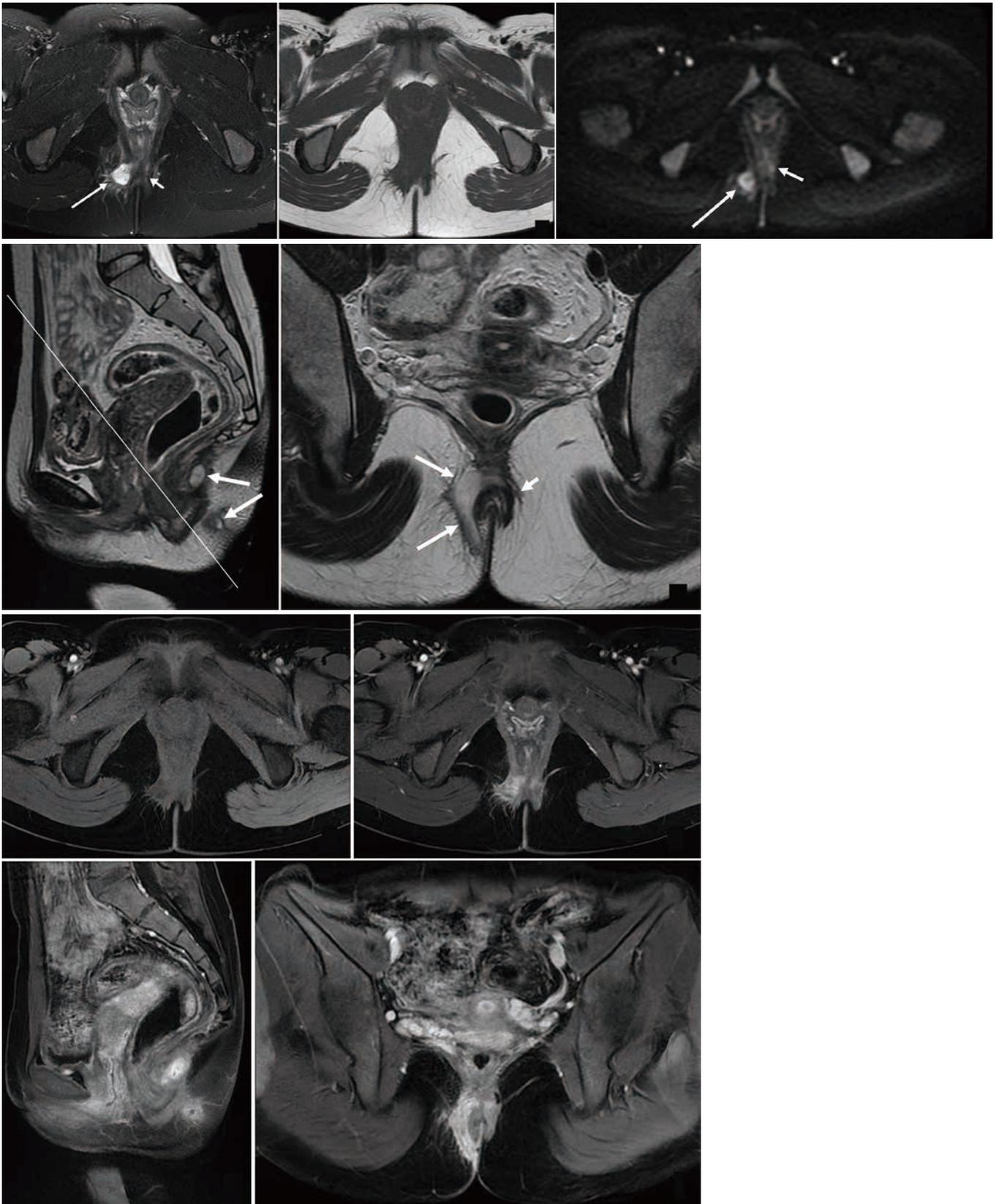
管下縁を含んでいることを撮影現場で徹底する。前述のごとく、造影剤を使った検査が望ましいが、造影剤使用の禁忌があれば、もちろん無理はできない。



A | B

図3

低位筋間痔瘻 (II LS)。A) T2強調斜冠状断像、B) 造影後 脂肪抑制T1強調像。痔瘻は筋間を走行して皮膚面に至っている。



A	B	C
D	E	
F	G	
H	I	

図4：表1のプロトコールに基づいて撮像したMRI

A：脂肪抑制T2強調像（横断）：肛門管の右背側に高信号を示す膿瘍腔がある（長矢印）。また、不明瞭であるが、左側には痔瘻を示す線状の高信号が認められる（短矢印）。

B：T1強調像（横断）：膿瘍腔は低信号として認められるが、他組織とのコントラストはつかない。

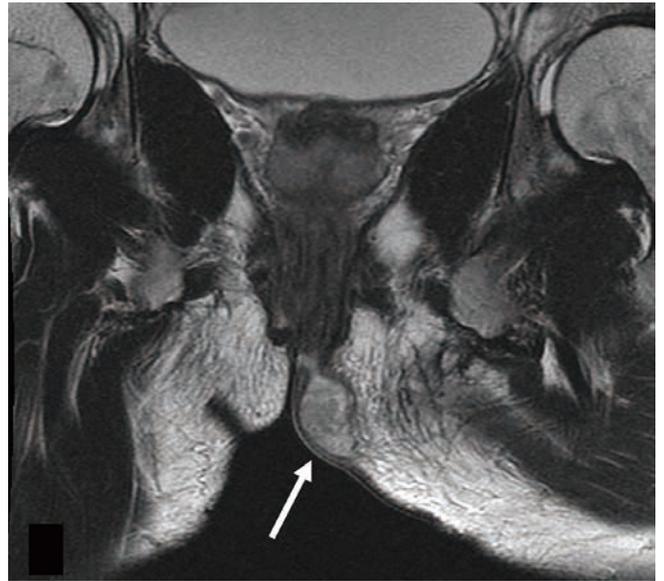
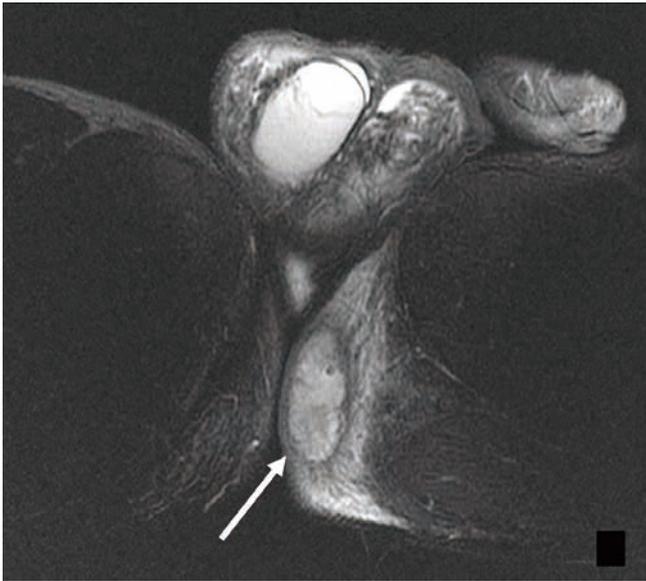
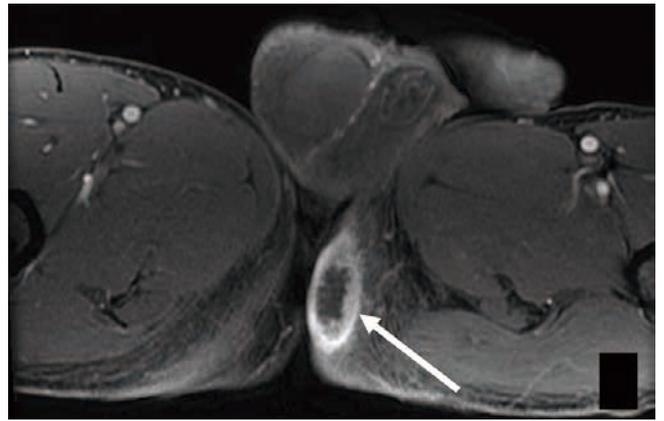
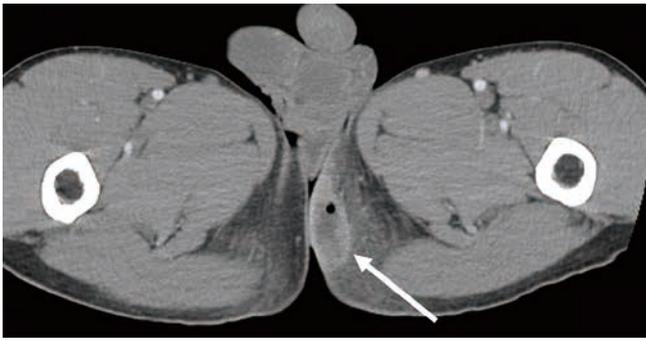
C：拡散強調像（横断）：膿瘍腔、痔瘻とも強い信号として描出されている。

D：3D T2強調像（矢状断）：肛門管背側に膿瘍腔が描出されている。

E：T2強調像（斜冠状断）：肛門管と周囲筋群の構造が明瞭である。断面は、肛門管の軸に並行に設定してある（図2d、線）

F：造影前 脂肪抑制3D T1強調像（横断）

造影後 脂肪抑制 3D T1強調像 G：横断、H：矢状断、I：斜冠状断：感染/炎症を起こしている範囲が明瞭に造影されている。



A	B
C	D

図5：肛門周囲膿瘍

A：造影CT（横断）：肛門管下縁から左殿部内側皮下脂肪織にかけて、膿瘍腔が形成されている（矢印）。膿瘍内には小さな空気も認められる。

B：造影後 脂肪抑制 3D T1強調像（横断）：膿瘍腔の辺縁が造影されている。内腔には造影効果を認めない。CTで指摘できる空気はMRIでは不明瞭である。

C：脂肪抑制T2強調像（横断）：膿瘍腔は低信号帯で囲まれた、高信号域として描出されている。周囲の皮下脂肪織も高信号化しており、炎症/感染波及が示唆される。

D：T2強調像（斜冠状断）：膿瘍腔は、筋間から皮下に向けて突出している（細矢印）。

4) クローン病直腸肛門管癌症例

(兵庫医科大学 炎症性腸疾患学講座外科部門 池内 浩基 先生 御提供)

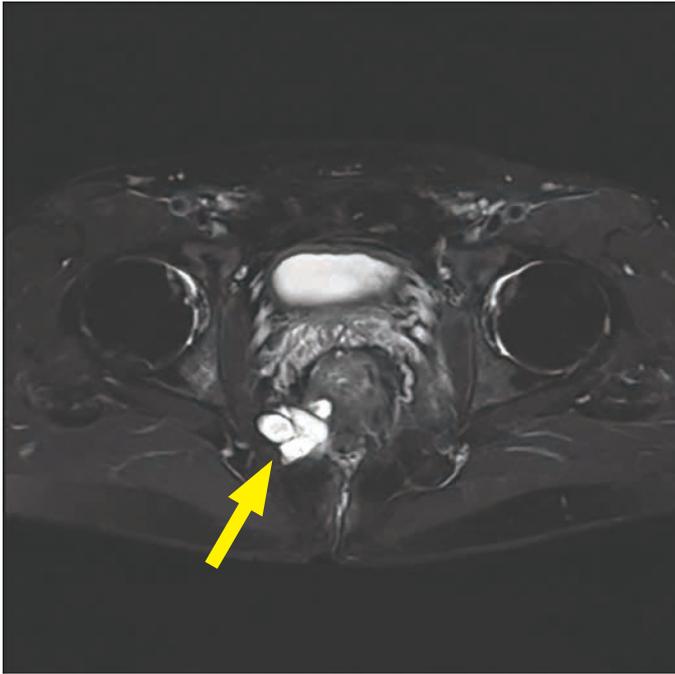
症例1 50歳代、男性

現病歴：22歳発症のクローン病。約10年前から肛門縁から約5cmの6時方向に瘻孔を形成。症状的には少量の粘液の排泄がある程度で、疼痛等はなかった。

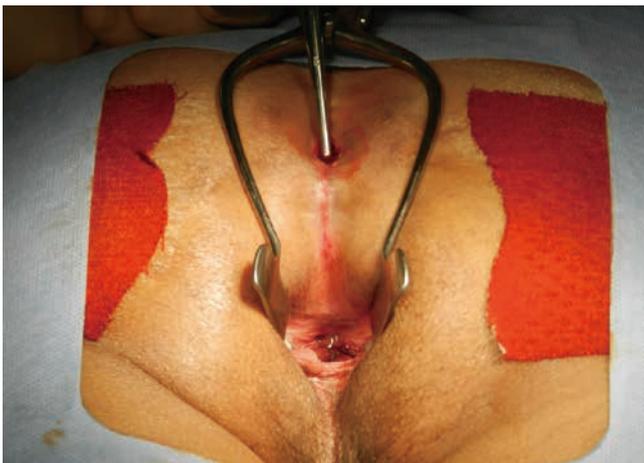
MRI検査で多房性の嚢胞様所見を認めた。

MRI検査所見：脂肪抑制T2強調像(横断像) (左図)、T2強調・矢状断像 (右図)。肛門管の右背側に、内部に隔壁を有する2x1.3cmの高信号を認める。膿瘍が疑われるが、隔壁を伴う点に留意する。

その後の経過：放射線科の読影では悪性は否定的であったが、多房性の嚢胞所見があり、麻酔下の瘻孔生検を行うこととした。



麻酔下の瘻孔搔爬



麻酔下の瘻孔生検

できるだけ深部からできるだけ多く標本を採取した。
病理診断はmucinous adenocarcinomaであった。

手術

仙骨複式直腸切断術

術後経過

補助化学療法後5年。無再発生存中

症例2 30歳代、男性

16歳発症のクローン病。発熱と肛門部痛があり、内科に紹介となる。

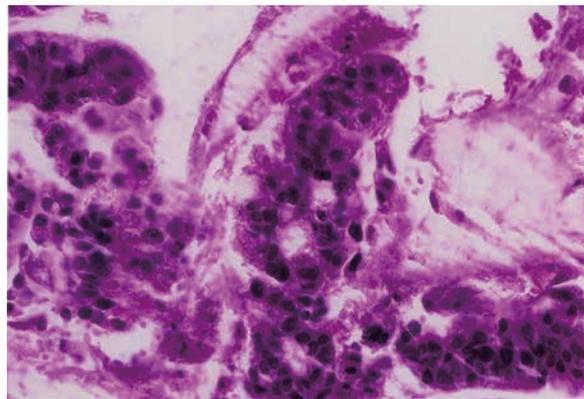
注腸造影検査（左）では直腸は狭窄が著明で、一部造影剤が壁外に出ており、膿瘍形成を疑った。

MRI検査所見：小骨盤腔を占める巨大な膿瘍形成。

経過：麻酔下に経肛門的にドレナージを行うこととした。



肛門所見と病理所見



肛門所見

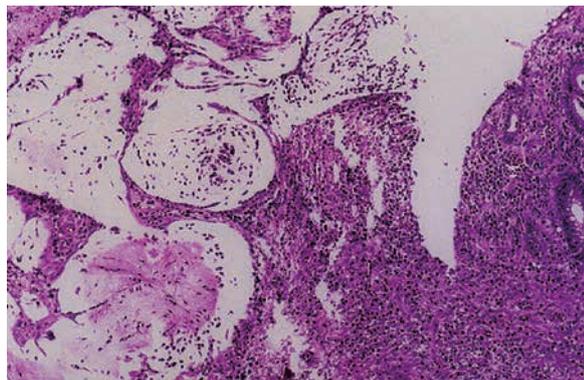
3-6時方向にskin tagを認めるが、CDに特徴的な所見はなかった。

直腸壁を指で穿破し、ドレナージを行うと、ゼリー状の組織が多量に排泄された。術中生検迅速病理診断でmucinous carcinomaと診断された。

切除標本と病理所見



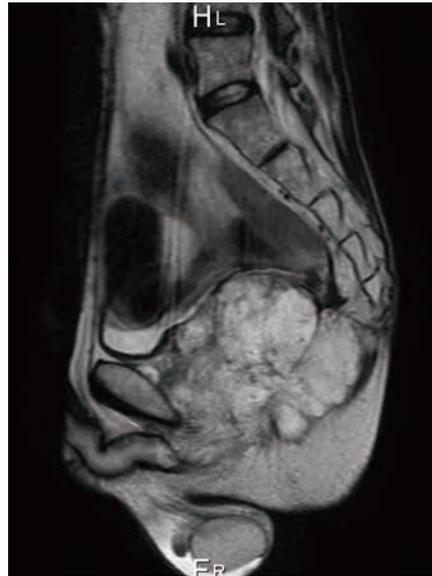
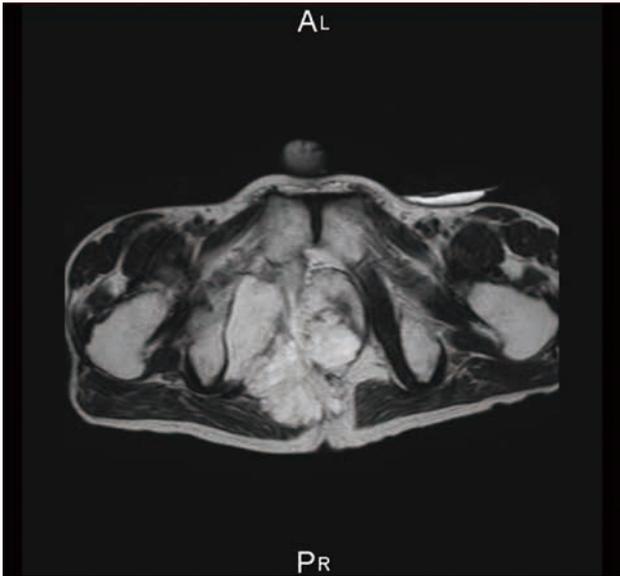
Rb-P, 2型, 50×40mm, pA, pN0, sH0, cP0, cM0, fStage II



Mucinous adenocarcinoma

術前放射線化学療法の後、腹会陰式直腸切断術を施行した。

CD直腸癌局所再発
手術から9年目のMRI所見



術後は化学療法も順調に終了し、術後5年目以降は当院受診がなかった。術後9年目に旧肛門部の違和感を主訴に来院。MRI検査を施行した。

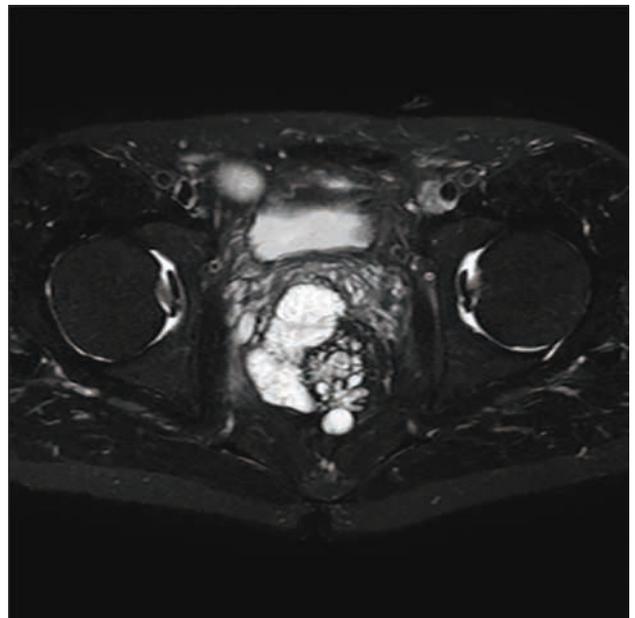
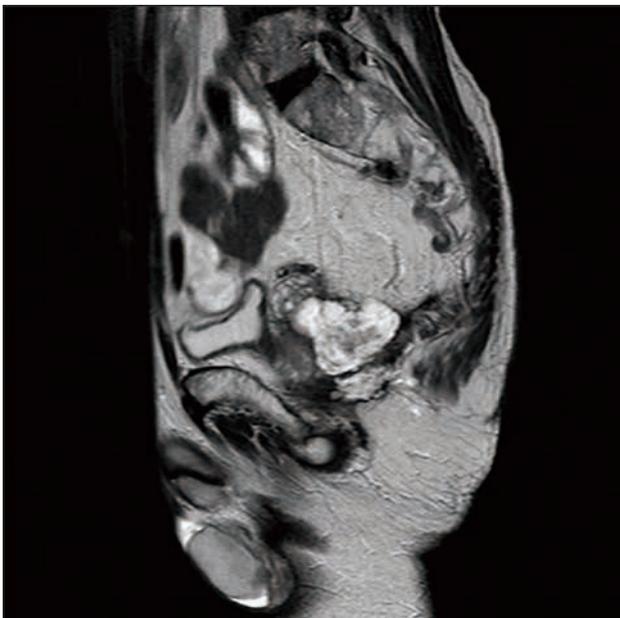
症例3 50歳代、男性

35歳時発症のクローン病。難治性の痔瘻に対し、3年前にS状結腸人工肛門造設術を受けている。人工肛門造設後も肛門病変は分泌が続いた。

膿瘍が疑われる。ただし、左図では内部に低信号を伴っており、充実部を見ている可能性があり、悪性腫瘍との鑑別に注意を要する。

MRI検査所見：T2強調・矢状断像(左図)、脂肪抑制T2強調・横断像(右図)。肛門管の右側に高信号域が認められ、

経過：瘻孔搔爬の病理診断はtub-1またはtub-2であった。腹会陰式直腸切断術を行うも、術後局所再発を生じた。



■ 参考文献

- O'Malley RB, et al. Rectal imaging; part 2. Perianal fistula evaluation on pelvic MRI—what the radiologist needs to know. AJR American journal of roentgenology. 2012; 199: W43-53.
- 隅越幸男, ら. 痔瘻の分類. 日本大腸肛門病学会誌. 1972; 25: 177-184.
- 栗原浩幸, ら. 痔瘻の新分類-後方複雑痔瘻および低位筋間痔瘻を明確化した痔瘻分類. 日本大腸肛門病学会誌. 2008; 61: 467-475.
- Parks AG, et al. A classification of fistula-in-ano. The British journal of surgery. 1976; 63: 1-12.
- Yoshizako T, et al. A pictorial review of the impact of adding diffusion-weighted MR imaging to other MR sequences for assessment of anal fistulae. Japanese journal of radiology. 2013; 31: 371-376.
- Dohan A, et al. Diffusion-weighted MR imaging for the diagnosis of abscess complicating fistula-in-ano: preliminary experience. European radiology. 2014; 24: 2906-2915.
- Khati NJ, et al. CT of acute perianal abscesses and infected fistulae: a pictorial essay. Emergency radiology. 2015; 22: 329-335.

Q1：金属インプラントのMRIに対する安全性は？

A：

金属インプラントのMRIに対する安全性については、磁場に引き寄せられて体内で移動する問題の他に、ラジオ波磁場のエネルギー吸収により局所的な加熱を生じる問題がある。MRIで用いられるラジオ波磁場は、生体組織との相互作用の結果、ラジオ波エネルギーとして吸収されるが、この吸収率はW/kgを単位とするSAR (specific absorption rate) として表される。SARは成分によって一定では無く、患者体内でも均一ではない。当然ながら、

金属インプラントの材質によっても吸収率が異なり、寸法、方向、形状、位置によっても変化する。

金属インプラントは多種多様であり、各製品の安全性については個別に確認が必要だが、製品の添付文書や、メーカーへの直接確認の他、インターネット上の安全情報サイト<http://mrisafety.com>で多数の製品(2016年6月現在で4338件)の最新情報を得ることができる。

Q2：消化器内視鏡領域で用いられるクリップのMRIに対する安全性は？

A：

EZ-clip, QuickClip2, QuickClip2 Long (Olympus社製)

製品のラベルに、クリップ留置中にMRIを行うことは患者に危害を及ぼす恐れがあるため、施行しないよう記載がある。

QuickClip Pro (Olympus社製)

静磁場3T以下、空間勾配磁場1800Gauss/cm以下、1.5Tと3Tでの15分間の連続撮影における全身平均SARが2.0 w/kg以下という条件で、安全に検査できる。温度上昇は1.5Tで1.5度以内、3Tで3度以内である。画像上のアーチファクトは、QuickClip Proから最大18mm程度までみられる。

Resolution clip (Boston Scientific社製)

静磁場1.5Tか3T、空間勾配磁場2500Gauss/cm以下、1.5Tと3Tでの15分間の連続撮影における全身平均SARが2.0 w/kg以下という条件で、安全に検査できる。温度上昇は1.5Tで最高1.4度まで、3Tで最高4度までである。MRI画像のアーチファクトはResolution clipの80mm程度の範囲まで拡がる。

Q3：外科手術で用いられる自動縫合器のステープル等はMRIで問題になりますか？

A：

近年、様々な外科手術で用いられているステープルは、タンタル、チタンや、非磁性型のステンレスで作られている。そのため、3T

以下のMRI検査で障害を起こす危険はないとされているが、MRI画像のアーチファクトを生じる原因にはなる。

クローン病 MR enterography (MRE) アトラス

厚生労働科学研究費補助金 難治性疾患等政策研究事業
「難治性炎症性腸管障害に関する調査研究」(鈴木班)

2017年2月作成

