

日本磁気共鳴医学会研究プロジェクト「ルーチン MRI 撮像法の標準化検討」成果報告 (第1報：脊椎・脊髄，乳腺)

山下 康行

熊本大学大学院医学薬学研究部放射線診断学部門

【メンバー】 京都大学放射線医学講座 富樫かおり，中本裕土，神戸大学医学部附属病院放射線部 川光秀昭，住友別子病院放射線科 加藤 勤，兵庫県立成人病センター放射線科 門澤秀一，西神戸医療センター放射線科 松井美詠子（現 加古川市民病院放射線科），島根大学医学部放射線医学講座 北垣 一，内田幸司，産業医科大学放射線医学講座 興梠征典，東京慈恵会医科大学放射線医学講座 福田国彦，聖マリアンナ医科大学放射線医学講座 中島康雄，三重大学放射線医学講座 佐久間 肇，大阪成人病センター放射線診断科 鳴海善文（現 大阪医科大学放射線医学教室），堀之内 隆，長崎大学放射線医学講座 上谷雅孝，東海大学医学部附属病院放射線部 室伊三男，日本医科大学附属病院放射線部 土橋俊男，奈良県立医科大学附属病院放射線部 土井 司，熊本大学附属病院中央放射線部 林田佳子，小味昌憲，熊本大学医学部保健学科 肥合康弘

背景と目的

MRI の大きな利点は様々なパルス系列を使用して多彩な画像を得られることである。しかし MRI 検査は自由度が高いゆえに，十分な臨床的知識がない場合，適切な撮像が必ずしも得られていないこともあり得るということにつながる。特に放射線科医が常駐しないような多くの一般病院では現場の技師が手探りで撮像を行い，必ずしも臨床的に十分な撮像が得られていない場合もあるようだ。その意味で本学会において各臓器ごとに一定のプロトコルを提示することは意義あることと考え，研究班において MRI 撮像法の標準化について指針を作成した。特に本指針では放射線科医が常駐しない一般の市中病院で行う MRI 検査についてまとめることを主眼とした。

活動方針

- 作業事項を次のように進めることとした。
各施設並びに文献上のパルス系列調査：
全国的なアンケートは行ってはどうかという意見があったが，あまりにもばらつきが多く，収拾がつかなくなることが予想されたため，委員の施設のプロトコルをすべて提示してもらおうと同時に各領域で文献収集を行うこととした。
領域ごとに次の作業を行った。
1. Evidence となる文献収集
 2. Core（ルーチン）となるパルス系列を磁場強度ごとに推薦
 3. 代表的疾患ごとに必要なパルス系列を提示指針を出すに当たって，次のことに留意した。
 1. 1.5 tesla の標準機でのパルス系列とする
 2. 多くの施設で施行可能なこと
 3. 時間は通常 30～40 分以内に施行できること
 4. 文献などで evidence を出すこと
 5. ある程度の自由度をもたせること

各部位でパルス系列に対して、勧告(お勧め度)の強さの分類を次のように行った。

A 行うよう強く勧められる

B 行うよう勧められる

C1 行うことを考慮しても良いが、十分な科学的根拠がない

C2 科学的根拠がないので、勧められない

D 行わないよう勧められる

各領域の担当者

頭部：島根大学医学部 北垣 一，内田幸司

脊椎・脊髄：西神戸医療センター 松井美詠子

上腹部：熊本大学 山下康行，小味昌憲

心臓および末梢血管：三重大学 佐久間 肇

女性生殖器：京都大学 中本裕士，富樫かおり

男性生殖器：大阪成人病センター 鳴海善文，

堀之内 隆

骨軟部，関節：長崎大学 上谷雅孝，熊本大学

林田佳子

乳腺：兵庫県立成人病センター 門澤秀一

各領域の委員から提案していただいたパルス系列を他の委員が review を行い，最終案をまとめた。

活動成果

脊椎・脊髄，胸腹部，女性並びに男性生殖器，乳腺で指針を示すことができたので，第1報および2報として報告する。頭部や骨軟部などは様々な意見が出され，現在集約中である。

第1報では脊椎・脊髄と乳腺を報告する。

脊椎・脊髄

担当：西神戸医療センター放射線科 松井美詠子

Reviewer：東京慈恵会医科大学放射線医学講座 福田国彦

撮像のポイント

撮像体位は仰臥位とする。脊椎は側方へ曲がっていることが多いため，体軸を極力真っすぐに整える。

全身用コイルを備えた施設では全脊椎の検査が容易であるが，body coil を用いて広範囲の撮影を行う場合は，空間分解能を保つために周波数エンコード方向の収集 matrix を大きくするとよいが，S/N 比が低下するためデータ収集回数を増やす必要があり，撮影時間が延長する。

頸椎の撮影では，嚥下や脳脊髄液・血管の拍動による artifact を避けるため，義歯を外して嚥下および首の動きを最小限に抑えるようにし，喉頭の中央(首の短い症例では頸静脈窩)をセンターに合わせる。矢状断像では，位相エ

ンコード方向を頭尾方向に変更 (swap) すると脳脊髄液の拍動による artifact が減少するが，矩形 FOV が使えない上に，折り返しを防ぐため oversampling する必要がある，撮像時間は延長する。Swap を用いない場合は，収集 matrix を大きくしたり，ETL を小さくしたり，FOV を拡大したり，心電同期をかける方法もある。また，嚥下や血管拍動の影響を小さくする場合は椎体腹側，脳脊髄液の影響を小さくする場合は椎体頭側に presaturation pulse を印加するのも有効である。

胸椎の撮影では，脳脊髄液・心血管の拍動や大血管の血流・呼吸性移動などによる artifact を避けるため，頸椎の撮影と同様に，位相エンコードを変更し，飽和パルスや位相補正法を活用する。しかし，上部胸椎レベルでは脳脊髄液による artifact を完全に抑えることはできな

い。椎体の位置を同定できるように、頸椎または腰椎を同時に撮影しておくといふ。

腰仙椎の撮影においても、大血管の血流や腹壁・腹部臓器の動きによる artifact を避けるために、頸胸椎と同様の工夫を行う。

頸胸椎の撮影で、磁場の不均一により十分に脂肪抑制がかからない場合には FOV を小さくしてマグネット中心で撮影する。

胸腰椎の撮影では、両下肢の下にクッションを入れると腰椎の前彎が軽減し、cross-talk artifact の原因となる横断像のスライス交差を予防できるので望ましい。

胸椎の撮影では頸静脈窩の 5~8 cm 下をセンターに合わせ、腰椎の撮影では上前腸骨棘(背の高い症例では、腸骨稜の 5~8 cm 下)をセンターに合わせる。

腰椎の撮影の際に痛みの強い症例では、背筋の緊張を解くために、膝の外側にクッションを当ててバンドで固定する。

術後などで金属異物が混在している場合は、磁化率 artifact を避けるため、GRE 法よりも高速スピネコー法が望ましい。

Truncation artifact がみられた場合は、pixel size を小さくする(収集 matrix を大きくする、FOV を小さくする)と軽減できる。

矢状断像の撮影では、後の横断の位置決めを容易にするため T₂強調画像から撮るのが望ましく、神経根の状態を把握できるように、両側の椎間孔が十分に含まれる撮像範囲を設定する。

横断像の撮影では、変形性疾患の場合も脊髓疾患と同様に、椎間板に沿った位置づけにとらわれず、連続したスライスで椎体を含めてカバーするのが望ましい(坐骨神経痛では L3~S1、腰椎椎間板ヘルニアでは L3/4~L5/S1)。椎間孔内の神経根の観察には、椎間板を中心に 3 スライス撮像面を設定するのが望ましい。分節型の頸椎後縦靭帯骨化症では、椎体中央の横断像を撮影する。

圧迫性脊髓症が疑われる症例では、実際の圧迫部位は神経症状から疑われるレベルよりかな

り上方である場合が多いため、該当する病変が見当たらない場合は上方レベルの検査を追加する。

MRI では、微細な石灰化巣やガスの描出能が劣るとともに、骨皮質のわずかな変化を評価しにくいことがある。このような場合は CT との併用が望ましい。

造影剤は、腫瘍や炎症性病変を疑う場合には使用するの望ましい。脊柱管外で脂肪織に接する病変の造影効果を判断する場合には、脂肪抑制法の併用が有用である。

目的別パルス系列と撮像断面

A. 疾患・病態が検査前に特定されていない場合

日常臨床の場では、痛み、しびれ、歩行障害等の、患者の愁訴を主とした依頼内容のみで MRI 検査が行われ、臨床診断が絞り切れていないことが意外に多い。このような場合に望まれる撮像方法とは、病変(異常)をできるだけ漏れなく拾い上げられること、病変(異常)を認める場合には、その実態に迫れると同時に、その先に必要な検査・治療へ有機的につながることである。言い換えれば、検査の過程そのものが診断である。

複数施設および成書のサーベイ結果より、上記観点から必要な基本プロトコールは以下のように推奨される。

① 矢状断 T₂強調画像 (A)

椎間板病変による脊柱管狭窄の程度を判断しやすい。

椎間板の高位を解剖学的指標を元に決定できる。

高速スピネコー法による T₂強調画像は、GRE 法と比べて髄内病変の感度が高い。

② 横断 T₂強調画像(頸椎では横断 T₂*強調画像) (A)

脊柱管狭窄部の詳細な観察を行うために必要である。脊髓・椎間板の輝度変化、くも膜下腔

の脳脊髄液の信号消失の有無を中心に観察する。

GRE 法の T_2^* 強調画像は susceptibility に鋭敏な撮像法であり、出血での hemosiderin の検出や高粘稠性の椎間板髄核・硬膜嚢・骨疎性椎体の描出に有用である。しかし、骨・空気・金属による artifact が強く発生するだけでなく、椎間板変性の評価が困難で脊柱管狭窄を過大評価する。

高速スピンエコー法による T_2 強調画像は脳脊髄液や血管拍動による artifact を生じやすいため、頸椎では GRE 法の T_2^* 強調画像が望ましい。しかし、腫瘍や炎症、脱髄など病変そのものの信号強度が診断に重要な場合や髄内病変では T_2 強調画像が望ましい。

③ 矢状断 T_1 強調画像 (A)

脊髄の形態を中心に観察できるとともに、骨髄脂肪・脊柱管内脂肪の評価が可能であり、椎体内病変は骨髄脂肪とのコントラストが明瞭で描出されやすい。また、脂肪・脂肪腫だけでなく、 T_1 強調画像で高信号を示す疾患・病態(外傷、終糸緊張症にみられる fatty filum terminale など)や神経根嚢胞の拾い上げにも有用である。

④ 横断 T_1 強調画像 (A)

椎間板ヘルニアで、横断 T_2 強調画像のみでは骨をはじめとする周囲構造とヘルニア塊との鑑別に難渋する場合や、椎間レベルから大きく逸脱したヘルニアと神経根との関係をみたい場合に有用である。また、矢状断 T_1 強調画像と同じく、 T_1 強調画像で高信号を示す疾患・病態の拾い上げや拡がり診断、神経根嚢胞の診断にも役立つ。

⑤ 矢状断 STIR 法もしくは矢状断脂肪抑制 T_2 強調画像 (A)

赤色髄の多い小児や椎体信号の不均一な高齢者の場合や非造影検査の場合、S/N 比は低いが、病変の拾い上げ(骨髄内変化、椎体周囲の炎症・浮腫・腫瘍進展の診断)には有用である。STIR 法は、脂肪抑制 T_2 強調画像よりも金属

による artifact が出にくい。

⑥ MR myelography (B)

2D 法と 3D 法があるが、時間分解能やコントラストが良好な 3D 法が普及しつつある。3D GRE 法の MR myelography では、従来の脊髄腔造影よりも末梢の硬膜外神経根や後根神経節まで描出することができる。

侵襲性がなく、全体像の把握に優れるが、特に 3D 法は撮像時間が比較的長いことから、撮る必要性を十分吟味して追加すべきである。

頸胸部では、くも膜下腔が広くない上に、髄液拍動による artifact や磁場不均一の影響が重なり、良好な画像を得るのが難しい。引き抜き損傷などは CISS 法も望ましい。

Balanced sequence を用いる場合は、血管内腔や出血性病変が高信号になることに注意する。

B. 疾患・病態が検査前に特定されている場合
複数施設および成書・論文のサーベイ結果より、脊椎・脊髄の MRI では次のような目的でプロトコールは大別化されていた。

- ① 椎間板ヘルニア, 変形性脊椎症, 脊柱管狭窄症, 脊椎迂り症
 - ② 圧迫骨折
 - ③ 脊椎腫瘍 (転移を含む)
 - ④ 脊髄腫瘍, 髄液播種
 - ⑤ 炎症 (脊椎炎, 脊髄炎, 椎間板炎), 脱髄疾患, 血管性病変
 - ⑥ 外傷
 - ⑦ 脊髄空洞症
 - ⑧ 先天奇形
 - ⑨ 血管性病変
 - ⑩ 環軸椎亜脱臼, 平山病
- ① 椎間板ヘルニア, 変形性脊椎症, 脊柱管狭窄症, 脊椎迂り症, 脊椎分離症
矢状断 T_2 強調画像 (A)
横断 T_2 強調画像 (頸椎では横断 T_2^* 強調画像) (A)
矢状断 T_1 強調画像 (A)
横断 T_1 強調画像 (A)

矢状断造影 T₁強調画像 (術後再発・瘢痕の鑑別では A)

横断造影 T₁強調画像 (術後再発・瘢痕の鑑別では A)

骨髄浮腫の評価には椎弓根に平行な断面が有用である。

横断の撮影では、椎間板に沿った位置づけにとられず、連続したスライスで椎体を含めてカバーするのが望ましい (坐骨神経痛では L3～S1、腰椎椎間板ヘルニアでは L3/4～L5/S1)。

術後再発と瘢痕との鑑別には造影 T₁強調画像を追加する。

② 圧迫骨折

矢状断 T₂強調画像 (A)

矢状断 T₁強調画像 (A)

矢状断 STIR 法もしくは矢状断脂肪抑制 T₂強調画像 (A)

矢状断造影 T₁強調画像 (B)

横断造影 T₁強調画像 (B)

③ 脊椎腫瘍 (転移を含む)

矢状断 T₂強調画像 (A)

横断 T₂強調画像 (A)

矢状断 T₁強調画像 (A)

横断 T₁強調画像 (A)

矢状断 STIR 法もしくは矢状断脂肪抑制 T₂強調画像 (A)

矢状断脂肪抑制造影 T₁強調画像 (A)

横断脂肪抑制造影 T₁強調画像 (A)

冠状断脂肪抑制造影 T₁強調画像 (A)

脊椎腫瘍や骨髄疾患の評価には、STIR や脂肪抑制 T₂強調画像が有用である。

転移の精査で造影を行う場合は、病変の造影効果と正常骨髄・硬膜外脂肪層とを区別するために、十分シミングを行った上で、脂肪抑制 T₁強調画像を撮影する。

症例によって広範囲の異常が予想される場合には、冠状断像も撮影する。

④ 脊髄腫瘍 (髄内腫瘍, 硬膜内髄外腫瘍, 硬膜外腫瘍), 髄液播種

矢状断 T₂強調画像 (A)

横断 T₂強調画像 (A)

矢状断 T₁強調画像 (A)

横断 T₁強調画像 (A)

矢状断造影 T₁強調画像 (A)

横断造影 T₁強調画像 (A)

冠状断造影 T₁強調画像 (A)

MR myelography (B)

髄内腫瘍では、脂肪抑制法は不要で、特に不均一な脂肪抑制法は偽病変を増加させ逆効果となる。

硬膜内髄外腫瘍では、病変と脊髄との関係を把握するために冠状断像や MR myelography が有用である。

⑤ 炎症 (脊椎炎, 脊髄炎, 椎間板炎), 脱髄疾患

矢状断 T₂強調画像 (A)

横断 (脂肪抑制) T₂強調画像 (A)

冠状断 (脂肪抑制) T₂強調画像 (A)

矢状断 T₁強調画像 (A)

横断 T₁強調画像 (A)

矢状断脂肪抑制造影 T₁強調画像 (A)

横断脂肪抑制造影 T₁強調画像 (A)

冠状断造影 T₁強調画像 (B)

脊髄浮腫および脱髄疾患の拾い上げには FLAIR が適しているという報告もある。FLAIR は、T₂強調画像では脳脊髄液に接した病変が検出しにくくなるため、脳脊髄液の信号を抑制して病変を高信号に描出する方法である。しかし、水と同等の T₂値をもつ病変は抑制されてしまい注意を要することから、一定の評価が得られていないのが現状である。

脊髄炎では T₂強調画像、脊椎炎および椎間板炎では脂肪抑制 T₂強調画像が適している。

脊椎カリエスで傍脊椎部に病変が及ぶ場合は、冠状断造影 T₁強調画像を加える。

⑥ 外傷

矢状断 T₂強調画像 (A)

横断 T₂*強調画像 (A)

矢状断 T₁強調画像 (A)

横断 T₁強調画像 (A)

矢状断 T₂*強調画像 (A)

MR myelography (腰椎の場合) (A)

コイルはできるだけ目的部位に近い距離に置くことが望ましい。頸椎ではカラーや固定具で制限されることがあるが、wrap-around coil や円形表面コイルなどを用いるとよい。

椎間関節周囲の液体貯留を見つけるには MR myelography が有用である。引き抜き損傷の場合は、損傷部の椎間孔に脳脊髄液の漏出による root pouch がみられるが、矢状断像では評価が難しく、横断像や冠状断像が有用である。

⑦ 脊髓空洞症

矢状断 T₂強調画像 (A)

横断 T₂強調画像 (頸椎では横断 T₂*強調画像) (A)

矢状断 T₁強調画像 (A)

横断 T₁強調画像 (B)

検査範囲は頭部～脊髓円錐部までが必要である。

本疾患の確定診断は T₁強調画像のみで可能であるが、T₂強調画像ではさらに空洞内溶液の動きに関する情報を得ることができる。そこで、通常の SE 法による撮影が望ましい。

⑧ 先天奇形

矢状断 T₂強調画像 (A)

横断 T₂強調画像 (頸椎では横断 T₂*強調画像) (A)

矢状断 T₁強調画像 (A)

横断 T₁強調画像 (A)

脊柱側彎を伴っている症例では、長軸方向の位置づけに工夫を要する。長軸方向の撮影が困難な場合は、広範囲の横断像を撮影する。

⑨ 血管性病変 (動静脈奇形, 動静脈瘻など)

矢状断 T₂強調画像 (A)

矢状断 T₁強調画像 (A)

矢状断造影 T₁強調画像 (A)

横断造影 T₁強調画像 (A)

MRDSA (A)

Parallel imaging や k 空間分割法の併用により、3D の造影 MRA の時間分解能は向上して

いる。しかし、2D の高速造影 MRA もかなりの高時間分解能が確保されており、後処理も簡便で血管造影類似の画像が得られ、臨床的有用性は高い。

⑩ 環軸椎亜脱臼, 平山病

矢状断 T₂強調画像 (前屈位/後屈位) (A)

横断 T₂*強調画像 (A)

平山病では、脊柱管内硬膜外静脈叢の拡張を来すため、前屈位での撮像を必ず加える。

各パルス系列における設定パラメータ

複数施設および成書のサーベイ結果より、1.5 tesla の装置を用いた脊椎・脊髓の MRI では次のような parameter が用いられており、推奨される。

なお、矢状断像・横断像の撮像では、parallel imaging が可能な場合は使うことが望ましい。

① 矢状断 T₂強調画像 (A)

TSE, FRFSE

TR/TE = 2500~4000/85~120

FOV 230~340 mm

matrix 256~512 × 132~270

slice 厚 3~4 mm (頸椎), 4~5 mm (胸腰椎)

slice 間隔 なるべく最小に設定

slice 枚数 9~12 枚

位相エンコード方向 頭→尾側

saturation slab 脊椎前方, 冠状方向

撮像時間 1分43秒~3分39秒

② 横断 T₂強調画像 (A)

TSE, FRFSE

TR/TE = 3290~4310/85~150

matrix 256~512 × 132~270

FOV 160~200 mm

slice 厚 4~5 mm

slice 間隔 なるべく最小に設定

slice 枚数 12~15 枚

位相エンコード方向 後→前

- saturation slab 脊椎前方, 冠状方向および矢状断スライス上下方, 横断方向
撮像時間 2分30秒~3分33秒
- ③ 矢状断 T₁強調画像 (A)
TSE, FSE
TR/TE = 350~615/9.8~25
FOV 230~340 mm
matrix 256~512×132~270
slice 厚 3~4 mm
slice 間隔 なるべく最小に設定
slice 枚数 9~12枚
位相エンコード方向 前→後
saturation slab 脊椎前方, 冠状方向
撮像時間 2分17秒~3分40秒
- ④ 横断 T₁強調画像 (A)
TSE, FSE
TR/TE = 450~644/10~20
FOV 160~200 mm
matrix 256~512×132~270
slice 厚 4~5 mm
slice 間隔 なるべく最小に設定
slice 枚数 12~15枚
撮像時間 2分44秒~3分40秒
- ⑤ 横断 T₂*強調画像 (B, 頸椎では A)
GRE
TR/TE = 810/28
FOV 160~200 mm
matrix 256×160~218
slice 厚 4~5 mm
slice 間隔 なるべく最小に設定
slice 枚数 15枚
撮像時間 3分16秒
- ⑥ 矢状断 STIR 法もしくは矢状断脂肪抑制 T₂強調画像 (A)
STIR, T₂-FRFSE-FatSat
TR/TE = 2000~4530/86~102
slice 厚 3~4 mm
slice 間隔 なるべく最小に設定
slice 枚数 11~12枚
撮像時間 3分11秒~3分30秒
- ⑦ 矢状断造影 T₁強調画像 (A)
脂肪抑制あり/なし
TSE, FSE
TR/TE = 350~615/9.8~25
FOV 230~340 mm
matrix 256~512×132~270
slice 厚 3~4 mm
slice 間隔 なるべく最小に設定
slice 枚数 9~12枚
位相エンコード方向 前→後
saturation slab 脊椎前方, 冠状方向
撮像時間 2分17秒~4分47秒
- ⑧ 横断造影 T₁強調画像 (A)
脂肪抑制あり/なし
TSE, FSE
TR/TE = 450~644/10~20
FOV 160~200 mm
matrix 256~512×132~270
slice 厚 4~5 mm
slice 間隔 なるべく最小に設定
slice 枚数 12~15枚
撮像時間 2分55秒~4分47秒
- ⑨ 冠状断造影 T₁強調画像 (髄液播種では A)
脂肪抑制あり/なし
TR/TE = 690/11
slice 厚 4 mm
slice 間隔 なるべく最小に設定
slice 枚数 11枚
撮像時間 2分59秒
- ⑩ MR myelography (B)
a. ss-MRM
2D/3D-ssTSE (腰椎では脂肪抑制 (STIR) 併用)
TR/TE = 5000~8000/1400~1600
FOV 250~330 mm
matrix 256~512×128
slice 厚 40~60 mm
b.
TR/TE = 6000/250
FOV 300 mm

matrix 512×512

slice 厚 50 mm

2 stacks

撮像時間 1分

⑪ ダイナミック撮影 (前屈位/後屈位) (B)

① (矢状断 T₂強調画像) に準じる.

⑫ 拡散強調画像 (C1)

従来の T₁強調画像・T₂強調画像のみでは確定診断が難しいとされる, 急性期を含む梗塞の診断や脊柱管内腫瘍の鑑別 (悪性リンパ腫, 類皮腫), 良性圧迫骨折と骨転移との鑑別などに試みられている. 拡散強調画像を追加すると正診率の向上が望め, 特に占拠性病変の場合はその特異なコントラストで診断可能な場合があるといわれている. しかし, 適切な撮像法はまだ確立されていない. 脳の撮像で用いられる ssEPI 法はゆがみが強く実用的ではない. 他に, line scan 法, parallel imaging 併用下の SSEPI 法, 心電同期の multishot EPI 法や SSFP 法を用いた報告がある.

⑬ 拡散テンソル画像 (C1)

多発性硬化症, 頸椎症性脊髄症, 外傷, 腫瘍性病変において有用であるとの報告がみられるが, 臨床的意義 (特に予後) との関連についてはまとまった報告がなく, 今後の検討が望まれる.

⑭ MR spectroscopy (MRS) (C1)

T₁強調画像・T₂強調画像では得られない細胞の代謝物の情報を得ることができるが, 磁場均一性やシミングの精度, 脳脊髄液の拍動による artifact がデータの質に大きく影響し, 撮像時間も長いことから, 実用化には更に研究が必要と考えられる.

参考文献

1) Ross JS, et al. Diagnostic Imaging Spine. 1st ed. Amirsys/Elsevier Saunders, 2004
 2) 吉川宏起監訳, 小林有香訳. MRI 撮像ポケットアトラス. 第1版. メディカル・サイエンス・

インターナショナル, 2004

3) 多田信平監修, 田中 宏, 石井千佳子, 佐藤希光共著. MRI テクニックマニュアル. 第1版. 南江堂, 2002
 4) 櫛橋民生編著. MRI プロトコール集. 第一版. 医療科学社, 2006
 5) 柳下 章編, 柳下 章, 井上佑一, 相田典子, 森 壘著. エキスパートのための脊椎脊髄疾患の MRI. 第1版. 三輪書店, 2004
 6) 菅 信一編著. 画像診断の御法度 それでいいの?. 第1版. 秀潤社, 2005
 7) 上谷雅孝編著. 骨軟部疾患の画像診断. 第1版. 秀潤社, 1999
 8) 片山 仁, 大澤 忠編. 骨・関節の MRI. 第1版. 第3刷. 南江堂, 1996
 9) 守屋秀繁編著. 整形外科の MRI. 第1版. 中外医学社, 1993
 10) 山下康行. これで完璧! MRI. 第1版. 金原出版, 2000
 11) 杉村和朗監修, 渡邊祐司編. 現場で役立つ臨床 MRI シリーズ2 MR hydrography と MR angiography 水と流れの画像. 第1版. MEDICAL VIEW 社, 1999
 12) 特集 脊柱管のすべて—one-stop shopping—. 画像診断 2007; 27
 13) 特集 脊椎の MRI. 臨床画像 2005; 21: 131-198
 14) 日常遭遇する脊椎疾患の MRI—これをどう読むか—. 画像診断 2004; 24: 136-240
 15) 伴野辰雄, 蜂谷裕道, 伴 直樹, 澤田高広, 井澤浩之, 成田泰詞: 私が奨める MRI ルーチン撮像法: 脊椎・脊髄. 臨床画像 1998; 14: 1327-1337
 16) 永山雅子, 渡邊祐司, 奥村 明, 天羽賢樹, 中下 悟, 勝部 敬, 辰村 愛, 菅 剛, 小山新吾, 百々義廣: 特集 MRI の基本—自信をもって診断するために—: MR hydrography. 画像診断 2002; 22: 1360-1370
 17) 藤本 肇: 特集 MRI の使い方 プライマリ・ケア医のための MRI の基礎知識: 脊椎 MRI. JIM 2005; 15: 122-124
 18) 長田周治, 西村 浩, 内田政史, 早瀬尚文: 特集 拡散強調画像 最新画像温故知新: 骨軟部領域での拡散強調画像の臨床応用. 日獨医報 2005; 50: 640-651
 19) 相井平八郎: Fatty filum terminale の臨床的意

- 義. 臨床放射線 1997; 42: 705-711
- 20) Baur A, Stähler A, Brüning R, et al.: Diffusion-weighted MR imaging of bone marrow; differentiation of benign versus pathologic compression fractures. Radiology 1998; 207: 349-356
- 21) Zhou XJ, Leeds NE, McKinnon GC, et al. Characterization of benign and metastatic vertebral compression fractures with quantitative diffusion MR imaging. AJNR Am J Neuroradiol 2002; 23: 165-170
- 22) Castillo M. Diffusion-weighted imaging of the spine: is it reliable?. AJNR Am J Neuroradiol 2003; 24: 1251-1253

乳 腺

担当：兵庫県立がんセンター放射線科（現 明石市立市民病院放射線科） 門澤秀一
Reviewer：栃木県立がんセンター画像診断部 黒木嘉典

乳腺 MRI のバックグラウンド並びに撮像のポイント

我が国では乳腺科医や外科医が外来でマンモグラフィや US を実施して病変の検出，診断を行い，必要と判断される場合には直ちに US ガイド下に細胞診や組織診を行って診断の確定まで行っている施設が多い。MRI 検査は多くの場合，病理学的に診断された乳癌に対して，治療法の選択のために乳腺内の腫瘍の広がりや評価する目的で行われている。US で病変が不明な場合や細胞診や組織診の結果が確定的でない場合，あるいはマンモグラフィ，US 所見と矛盾する場合などに良悪性の判定や診断確定を目的として MRI 検査が行われる。なおアメリカでは 2007 年に American cancer society が乳癌のハイリスク患者に対してマンモグラフィに MRI 検査を加えたスクリーニングを推奨する指針を発表した。現在 American College of Radiology (ACR) においてこのスクリーニング MRI に推奨される撮像法について検討が進められている。

乳癌は T_1 強調像や T_2 強調像で乳腺実質と等信号を示す場合がほとんどであり，造影検査が不可欠である。喘息や造影剤アレルギーなどでガドリニウム造影剤を使用できない場合には乳腺 MRI の適応はない。拡散強調像では造影剤を使用することなく腫瘍を描出可能だが，広がり

り診断に耐え得るだけの画質を得るのは現時点では難しいと考えられる。乳癌は血流に富む腫瘍で，造影剤静注後 1 から 2 分後の早い時相で強い増強効果を示し，最も良好に描出される。さらに遅い時相でも描出されるが，腫瘍の増強効果が減弱したり，乳腺実質の増強効果が強くなってきたりするためにコントラストは低下することが多い。したがって造影剤静注後早期（1～2 分）の画像をどのように撮像するかは乳腺 MRI 検査の重要なポイントである。

本検討では本邦の様々な 12 施設における乳腺の MRI の撮像法について調査票によって詳細に調べた。また 2002 年から 2005 年の乳腺 MRI に関する内外の論文を集め，撮像シーケンスが詳述されている 19 施設の論文について検討した。

撮像体位，撮像範囲，断面と目的別パルス系列

A. 撮像体位

全施設で乳腺専用受信コイルを用いて，伏臥位で撮像が行われていた。伏臥位では胸壁がコイルの台で固定されるので，呼吸運動の影響を受けにくい利点がある。また伏臥位では乳腺が下垂し歪曲なく伸展されるために，病変と乳頭との解剖学的な位置関係や乳管内進展など乳管に沿って広がる病変の把握が容易である。ただし，手術は仰臥位で行われるため，その際には

伏臥位の MR 画像とは乳房の形状が変化し、病変の位置にずれが生じることを理解しておく必要がある。

B. 撮像範囲—両側乳腺撮像 versus 片側乳腺撮像

サーベイ結果より乳腺の MRI 検査では対側の乳腺の検索を重視するかしないかによって撮像範囲について次のような異なるアプローチが採られていた。

- I. 患側の乳腺を重点的に精査
- II. 対側乳腺を含めて両側の乳腺を精査

Dynamic study 早期相又は造影早期相の画像を患側乳腺に field of view (FOV) を絞って撮像し患側の乳腺を重点的に精査している施設と両側乳腺に FOV を広げて撮像を行い対側乳腺の検索も重視している施設がみられた。前者のような患側に重点をおいて検査を行っている施設は 31 施設中 20 施設 (65%) で、患側乳腺のみしか撮像しない施設もみられたが、早期相で患側のみを撮像し、後期相で両側の撮像を追加している施設が多かった。また後者のような施設は 11 施設 (35%) あり、両側のみを撮像している施設と両側を主として撮像し患側の撮像を追加している施設がみられた。

乳腺症の診断には両側の乳腺を撮像し、左右を比較するのが有用である。また乳癌の同時両側発生は 3~5% にみられることから、対側乳腺の観察は欠かせない。一方、腫瘍の形状、辺縁の評価や乳管内進展などの微細な病変の観察には、空間分解能の高い画像が有利である。両側乳腺の撮像には FOV を大きくする必要があるが、trade-off の関係にある空間分解能の低下というデメリットが生じる。ほかの検査で対側乳腺の評価が十分になされ乳癌の存在が否定的である場合には、腫瘍の広がり进行评估するという本来の目的を重視して、早期相では FOV を患側乳腺に絞って撮像を行い、その後の時相で FOV を広げて両側乳腺を撮像するというアプローチが有用であろう。最近では、改良されたフェーズドアレイコイルや撮像シーケ

ンスを搭載し、両側乳腺を高い空間分解能で高速撮像可能な機種が開発されており、このような機種を使用できる場合には両側の撮像で検査を進めていくのがよいと思われる。先述した ACR の推奨する撮像法ではスクリーニングという目的もあり両側乳腺の撮像を行うべきとされている。

C. 撮像断面

横断像や矢状断像は病変の位置がマンモグラフィと対比しやすく、皮膚や胸壁への浸潤の評価も容易である。冠状断像は乳腺内における腫瘍の位置や横方向の広がり、担癌区域を把握しやすい。乳癌の乳管内進展は乳腺内を 3 次元的に広がることから、2D 画像で検査を進める場合は、少なくとも 2 方向の撮像を行って病変を観察すべきである。3D 画像では最大値投影法 (maximum intensity projection, MIP) の画像を多方向から観察したり、multiplanar reformation (MPR) により多方向の断面を作成して評価したりする必要がある。

D. 撮像プロトコール

- 脂肪抑制 fast spin echo T₂強調 (A)
- gradient echo T₁強調 (C1)
- 脂肪抑制高速 3D-gradient echo T₁強調 dynamic study (A)
- 造影後期相 (B)

Dynamic study を行わない場合は静注後 2~3 分以内の造影早期相を撮像する

各パルス系列における設定パラメータ

複数施設および論文のサーベイ結果より、1.5 tesla の装置を用いた乳腺の MRI では次のような parameter が用いられており推奨される。

- ① 脂肪抑制 T₂強調画像
 - fast (turbo) spin echo TR 3000~5000/TE 80~100
 - ETL 13~19
 - 脂肪抑制あり、STIR でもよい

slice 厚 4~5 mm

slice 枚数 15~20 枚

撮像時間 2~4 分

断面 Cor, Sag, Ax (適宜選択)

乳癌は T₂強調像で乳腺実質と等信号を示し不明瞭な場合が多く、乳癌の検出という点では T₂強調像の有用性は必ずしも高くない。このためと思われるが、31 施設中 7 施設 (23%) で撮像を省略していた。しかしながら、T₂強調像は嚢胞性病変や粘液癌などの描出には優れており、できるだけ撮像すべきと思われる。24 施設 (77%) で fast spin echo 法による T₂強調像が撮像されており、そのうち 18 施設 (58%) で脂肪抑制法を併用していた。乳腺は脂肪に富むため、脂肪抑制法はコントラストを改善する点で有効である。ただし CHES (chemical shift selective) 法に代表される周波数選択的脂肪抑制法では磁場の不均一性が原因となって脂肪抑制が均一にからず、かえって読影の障害になる場合も起こることも経験される。周波数選択的脂肪抑制法で良好な抑制効果が得られない場合は short inversion recovery (STIR) 法を用いるのもよい。STIR は 3 施設 (10%) で使用されていた。多くの施設で TR は 3000~6000 ms, TE は 80~100 ms, echo train は 13~19 が用いられ、この間でパルス系列の設定を行えば標準的な T₂強調画像が得られると考えられる。

② T₁強調画像

2D-gradient echo T₁強調 TR 150~200 /

TE minimum-in phase/フリップ角 90

脂肪抑制なし

slice 厚 4~5 mm

slice 枚数 15~20 枚

撮像時間 30 秒

断面 Cor, Sag, Ax (適宜選択)

乳癌は T₁強調像で乳腺実質と等信号を示し不明瞭な場合が多く、乳癌の検出という点では T₁強調像の有用性は低い。このためと思われるが、18 施設 (58%) が T₁強調像を撮像して

いなかった。ただ症例によっては役立つ場合も認められる。特に脂肪性の乳腺では腫瘍が明瞭に描出され形状や辺縁の評価に有用である。また乳腺外脂肪への浸潤が明瞭に描出される症例も経験される。7 施設 (23%) では spin echo 法による T₁強調像を撮像していたが、短時間で撮像可能な gradient echo 法でも十分と思われる。

乳腺では乳管内に血性乳汁の貯留を認めることがあり、T₁強調像で乳管が高信号域として描出される。乳癌の担癌区域に認められた場合、乳管内進展の増強効果と区別が困難な場合が少なくない。T₁強調像で血性乳汁の貯留を把握しておくことで読影におけるこの問題をある程度避けることが可能である。ただ脂肪と血性乳汁の区別が難しいため、脂肪抑制法を併用した T₁強調像の方が観察しやすく、この目的には dynamic study の造影前画像が最も有用である。

③ Dynamic study

高速 3D-gradient echo T₁強調 TR 5~10 / TE minimum-in phase/フリップ角 15~20
脂肪抑制あり (脂肪抑制なしの場合はサブトラクション法)

slice 厚 1~2 mm

slice 枚数 60~100 枚

撮像時間 60~120 秒

time intensity curve の計測には撮像時間 1~2 分のスキュンを繰り返す、多相で撮像する。

断面 Cor, Sag, Ax (適宜選択)

高速型で良好な結果を得られない場合には通常の 3D-gradient echo 法で撮像を行う。

3D-gradient echo T₁強調 TR 25 以下 / TE minimum-in phase/フリップ角 25~30

脂肪抑制あり

slice 厚 1~2 mm

slice 枚数 60~100 枚

撮像時間 120~240 秒

造影前 早期相 後期相

時間分解能は低いが time intensity curve の計測も可能

断面 Cor, Sag, Ax (適宜選択)

乳腺 MRI の主目的は①乳癌の広がり診断、②乳腺腫瘍の良悪性の鑑別に大別される。

① 乳癌の広がり診断

乳癌の腫瘍や乳管内進展の広がりを評価する目的で行われる。ピクセルサイズの小さい、スライス厚の薄い空間分解能の高い画像が望ましい。

② 乳腺腫瘍の良悪性の判定

乳腺腫瘍の良悪性の鑑別には time intensity curve の解析が有用である。時間分解能の高い dynamic study を行い、time intensity curve を計測して良悪性の判定を行う。時間分解能の低い撮像法においても、少なくとも、造影前、早期相 (2 分以内)、後期相の 3 相の撮像が必要である。

乳癌の乳管内進展は微細な病変であり、その評価には空間分解能の高い撮像法が欠かせない。一方、良悪性の鑑別には時間分解能の高い dynamic study が最適である。低い時間分解能で time intensity curve の解析を行うと、増強効果の peak をとらえられずに washout pattern を見逃す危険性があるとされている。時間分解能と空間分解能は trade-off の関係にあり、どちらを優先させるかの問題については、諸家によってさまざまな議論がなされている。造影剤の静注後同一のシーケンスを少なくとも 2 回繰り返して time intensity curve を意図した撮像を行っていた施設は 24 施設 (77%) であった。これら 24 施設中、撮像時間 2 分以下の gradient echo 法による撮像を繰り返して、時間分解能の高い観察を行っていたのは 20 施設 (65%) であった。Time intensity curve の解析に静注後何分まで計測が必要かについての明確な結論は得られていないが、数分程度まで計測を行っていた施設が大多数であり、おそらくそれで十分と考えられる。なお計測に際しては 3 ピクセルサイズ以上の関心領域を用い

て、腫瘍内の最も早く増強される部位や washout pattern を示す部位を探して関心領域を設定する必要がある。MRI 検査前に乳癌の診断が確定している場合には、time intensity curve の評価の重要性はかならずしも高くないので、dynamic study のかわりに高空間分解能の造影早期相画像を撮像して、腫瘍や乳管内進展の広がり診断に重心を置くアプローチでも良いように思われる。

Dynamic study あるいは造影早期相の撮像に 2D-gradient echo 法を使用していた施設が 5 施設 (16%) であったのに対して、3D-gradient echo 法を使用していた施設が 25 施設 (81%) と多くみられた。おそらく多くの施設が乳腺内を 3 次元的に広がる乳管内進展の評価には 3D 撮像が適当と判断しているためであろう。なかでも高速 3D-gradient echo 法を使用していた施設が 15 施設 (48%) と多かった。このシーケンスは MR angiography のパルス系列を発展させた方法で、MRI 機器メーカーによって k-space の充填方法、脂肪抑制法などに違いがみられるが、TR を 10 ms 以下 (多くは TR が 6 ms 前後であった) に短縮できるため薄いスライス厚の 3D 画像を高速に撮像可能である。その一方で、TR を短くしているために通常の 3D-gradient echo 法に比べて信号/雑音比が劣り、高速化のために脂肪抑制パルスを間引いて加えていることから脂肪抑制効果もやや不良である。通常の 3D-gradient echo 法を使用していた施設もみられたが、TR をあまり下げられず (多くは 20 ms 前後であった) 撮像時間が 3 分以上に延長するため、time intensity curve が造影前、早期相と後期相の 3 点での計測に留まり、時間分解能の低い評価になる点に注意が必要である。ベースラインとなる造影前の画像の撮像にも同じ時間がかかってしまう点も問題であろう。実際の診断には高速型がやはり有利と考えられるが、高速型で良好な結果が得にくい場合には通常型の撮像法を試みるのがよいと思われる。早期相の撮像開始のタイミングに

については、採用するシーケンスの k-space の中心の収集がどこで行われるかを把握し、静注開始 60~90 秒後に中心の収集が行われるように配慮する必要がある。なお、ACR ではスクリーニングの撮像法として 2 分以下の時間分解能で、スライスのピクセルサイズが 1×1 mm 以下、厚さが 2~3 mm の空間分解能のダイナミック MRI を推奨するようであり、高速 3D-gradient echo 法の使用を前提としているように思われる。

TE は 2 ms 前後の最短に設定していた施設と in phase の TE (4.2~4.6 ms 前後) に設定していた施設に分かれた。TE を短くすることで強い T₁ コントラストとスライス数の増加を期待できるが、逆に partial echo 収集となって信号/雑音比が低下する危険性や out of phase に相当するため化学シフトアーチファクトの影響が出やすくなる点が懸念される。一方、in phase に近い時相では T₁ コントラストが低下するが、full echo 収集となり信号/雑音比が改善する可能性もある。また、化学シフトアーチファクトの影響も見られない点で有利である。ただし、TR が長くなって撮像時間の延長を来す懸念がある。どちらが適切かについてのコンセンサスは得られていない。

21 施設 (68%) が脂肪抑制法を併用していた。乳腺は脂肪に富む組織であり、脂肪抑制法を併用することでコントラストが改善し診断能の向上が期待できるので、原則として脂肪抑制法の使用が必須と考えられる。脂肪抑制法には CHES 法に代表される周波数選択的脂肪抑制法や spectral presaturation with inversion recovery (SPIR) 法、水選択励起法があり、使用機器の性能に応じて選択されていた。脂肪抑制法は一般に磁場の不均一性に弱く、脂肪抑制が不均一にかかり、かえって読影の障害になる場合もある。また TR が少し長くなるので撮像時間の延長を来し時間分解能を犠牲にしなければならない場合もみられる。これらの問題により脂肪抑制法を利用しにくい場合には、造影後

の画像から造影前の画像をサブトラクションする方法を行うのがよい。10 施設 (32%) で脂肪抑制法を併用せず、それらの多くがサブトラクション法を使用していた。

④ 造影後期相

高空間分解能撮像又は両側乳腺の撮像

目的に合わせて FOV を設定

2D-gradient echo T₁ 強調 TR 150~200/

TE minimum-in phase/フリップ角 90

脂肪抑制あり

slice 厚 4~5 mm

slice 枚数 15~25 枚

撮像時間 1~2 分

断面 Cor, Sag, Ax (適宜選択)

又は

高速 3D-gradient echo T₁ 強調 TR 5~10/

TE minimum-in phase/フリップ角 15~20

あるいは

3D-gradient echo T₁ 強調 TR 25 以下/TE

minimum-in phase/フリップ角 25~30

脂肪抑制あり

slice 厚 2~4 mm

slice 枚数 30~60 枚

撮像時間 60 秒~4 分

断面 Cor, Sag, Ax (適宜選択)

Dynamic study のシーケンスとは別に dynamic study の途中あるいは終了後に造影後期相を追加して撮像していた施設が 17 施設 (55%) にみられた。施設によって考え方が様々で、断面を変更してダイナミック MRI のシーケンスを続ける施設や高分解能画像の撮像を行う施設、患側のみから両側へ、あるいは両側から患側のみへ受信コイルの設定を切り替えて撮像を行う施設がみられた。具体的には目的 (以下重複あり) は位相エンコード数やスライス枚数を上げて空間分解能の向上を意図した施設が 8 施設 (26%)、撮像断面の変更 (空間分解能の向上と同義かも知れないが) が 8 施設 (26%)、両側乳腺の撮像を行っていた施設が 7 施設 (23%)、患側乳腺の撮像を行っていた施設が 2

施設 (7%) にみられた。シーケンス別でみると脂肪抑制高速 3D-gradient echo 法と脂肪抑制 3D-gradient echo 法が各々 5 施設 (16%) で、spin echo 法あるいは fast spin echo 法が 4 施設 (13%) で使用されていた。先述したように、一般に後期相では乳腺実質と腫瘍の間のコントラストは低下するため早期相ほど診断能の向上は期待できないことを念頭に置く必要がある。短時間のシーケンスであれば、コントラストの良い比較的早い時間を狙って dynamic study の早期相と後期相の間に撮像するのも良いと思われる。ただし、time intensity curve の計測を行う場合は後期相の撮像パラメータ (中心周波数やゲインなど) を早期相と同一にする必要がある。

参考文献

- 1) Kuhl CK, Mielcareck P, Klaschik S, et al. : Dynamic breast MR imaging : are signal intensity time course data useful for differential diagnosis of enhancing lesions? *Radiology* 1999 ; 211 : 101-110
- 2) Kinkel K, Helbich TH, Esserman LJ, et al. : Dynamic high-spatial-resolution MR imaging of suspicious breast lesions : diagnostic criteria and interobserver variability. *AJR Am J Roentgenol* 2000 ; 175 : 35-43
- 3) Nunes LW, Schnall MD, Orel SG : Update of breast MR imaging architectural interpretation model. *Radiology* 2001 ; 219 : 484-494
- 4) Orel SG, Schnall MD : MR imaging of the breast for the detection, diagnosis, and staging of breast cancer. *Radiology* 2001 ; 220 : 13-30
- 5) Liberman L, Morris EA, Lee MJ, et al. : Breast lesions detected on MR imaging : features and positive predictive value. *AJR Am J Roentgenol* 2002 ; 179 : 171-178
- 6) American College of Radiology Breast Imaging Reporting and Data System® (BI-RADS®) MRI lexicon 1st ed. American College of Radiology Reston VA 2003
- 7) Schnall MD : Breast MR imaging. *Radiol Clin North Am* 2003 ; 41 : 43-50
- 8) 磯本一郎, 興石 剛, 沖本智昭, 他 : 脂肪抑制 T₂ 強調像における乳腺腫瘍内に見られる著明な高信号域について. その分類と病理組織学的背景因子の検討. *日医放誌* 2004 ; 64 : 99-106
- 9) Tozaki M : Interpretation of breast MRI : correlation of kinetic and morphological parameters with pathological findings. *Magn Reson Med Sci* 2004 ; 3 : 189-197
- 10) 磯本一郎, 上谷雅孝 : MR mammography の現況. *臨床画像* 2005 ; 21 : 1072-1083
- 11) Saslow D, Boetes C, Burke W, et al. : American Cancer Society guidelines for breast screening with MRI as an adjunct to mammography. *CA Cancer J Clin* 2007 ; 57 : 75-89