

— Open MRIにおけるルーチン検査と基本画像 —

大日方 研¹⁾ Ken Obinata
森分 周子²⁾ Chikako Moriwake

高橋 義一¹⁾ Yoshikazu Takahashi

¹⁾大日方医院(木更津市)

²⁾株式会社日立メディコ アプリケーション部

前回の予告でも触れましたが、今回紙上セミナー連載開始にあたり、改めて趣旨を述べたいと思います。

Open MRI(APERTO^{*1} Inspire、AIRIS Elite^{*2}、AIRIS^{*3} II comfort、AIRIS mate)は安定した画質・高機能を有し、高い経済性・設置性により普及してきました。このため、かかりつけ医の医師・技師および受診者に“MRI検査を身近なものにする”上で大きな役割を持っていると思います。そこで、このOpen MRIを今まで以上に使いこなすために、放射線科専門医のみならずかかりつけ医であるドクターKENの登場となりました。

この連載を通じて、かかりつけ医の現場の方々へ助けとなるような内容をお伝えしていきたいと考えています。第1回は、Open MRIを使いこなす上での基本的な事項を実際の臨床画像を交え述べていきます。また、ドクターKENによる臨床例を用いた説明に加えて、Open MRIの基本原理や必要事項について「アプリコメント」として補足させていただきます。

かかりつけ医がOpen MRIを極めるために、「画像診断」、「臨床」、「基本原理」の三本柱をわかりやすく伝えることができれば幸いですと考えています。

(編集委員 伊藤陽一)

1. はじめに

高度医療病院・研究施設におけるMRI装置の高分解能・高性能の追求の結果として、一般診療所・民間病院においても急速に高磁場化が進む一方で、医療経済性と臨床の有用性の2つの側面から総合的・現実的に検討した結果、中低磁場のオープン型MRI装置(Open MRI)を導入する一般診療所を数多く目にする。

かかりつけ医におけるOpen MRIの活用法について、手法や事例を示し考えていきたいと思う。

このシリーズで使用する画像はすべてかかりつけ医、すなわ

ち一般診療所・民間病院の症例である。かかりつけ医の現場で、ともに働く診療放射線技師が一生懸命にOpen MRIで撮像した症例である。

2. Open MRIを用いた基本画像

Open MRI(APERTO Inspire)で果物—キウイとスイカを撮像した(図1)。各シーケンスでそれぞれの特徴がよく現れて

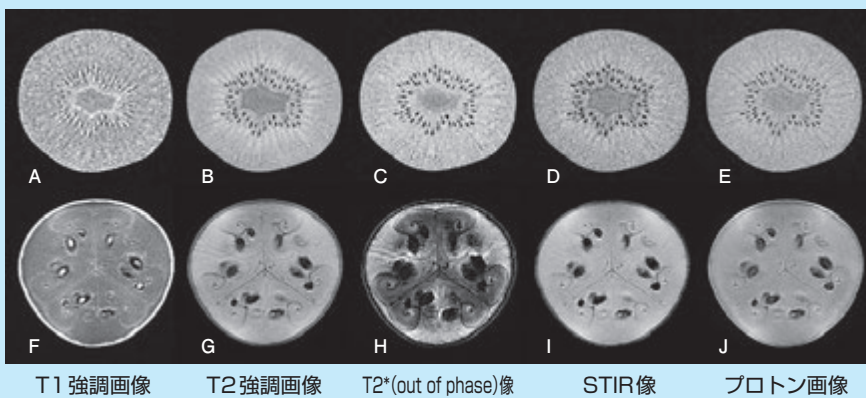


図1: キウイ(上段)とスイカ(下段)

キウイ thickness:2mm FOV:120mm

A: T1強調画像 TR:420/TE:24

B: T2強調画像 TR:3300/TE:120

C: T2*(out) TR:300/TE:11

D: STIR TR:3300/TE:20

E: PD TR:2700/TE:25

スイカ thickness:3mm FOV:180mm

F: T1強調画像 TR:350/TE:25

G: T2強調画像 TR:3120/TE:100

H: T2*(out) TR:1000/TE:45

I: STIR TR:3120/TE:20

J: PD TR:2700/TE:25

いる。キウイでは細い線維と種の様子が繊細に描出されている。スイカでは皮と果肉と種のコントラストが明瞭である。実際に切らずに果実の中身が観察できる。このMRI画像からもOpen MRIの高い性能を感じ取ることができる。

(1) 基本的シーケンス

Open MRIでは、MRI検査に必要な基本シーケンスを撮像することができる。具体的にはT1強調画像、T2強調画像、プロトン密度強調画像、T2*強調画像、MRAngiographyなどである。T1強調画像では、SpinEcho法とFastSpinEcho法のいずれも可能であり、SpinEcho法ではMRIが持つ本来の組織コントラストを示すことができ、FastSpinEcho法ではSpinEcho法と同じ時間で高いSNRを得られる(T2強調画像、PD画像も同様)。

(2) 機能的シーケンスの紹介

Open MRIでは、基本シーケンスのみならず、基本シーケンスを発展させた機能的シーケンスの撮像にも対応している。具体的にはFLAIR、脂肪抑制、拡散強調画像、各種Hydrographyなどである。

(アプリコメント)

Open MRIは高磁場機に比べて共鳴周波数が低いため、水と脂肪の共鳴周波数が近く、脂肪抑制が難しいですが、最新の機種ではこの問題を解決して脂肪抑制が可能となっています。MRIにおける水と脂肪の信号強度の組み合わせを表1に示します。

(3) 組織内コントラストに優れたMRI画像

MRIの最大の利点は、組織内コントラストに優れている点であろう。CT検査で十分な画像化困難な部位、たとえば骨髄内の観察を可能とする。MRIはCTのように一画像ではなく、さまざまな特性を持った複数のシーケンスで同部位を撮影することで、得られた各画像の信号の組み合わせにより、質的診断を行う検査である。また、CTでは造影しないとコントラストが得にくい臓器・部位、子宮や前立腺などにおいてもMRIでは良好なコントラストが得られる。

(アプリコメント)

— Open MRIの画質の利点—

実は、高磁場機よりOpen MRIの方が優れていると考えられ

表1：MRIにおける水と脂肪の信号強度の組み合わせ

	水成分	脂肪成分
T1強調画像	低信号	高信号
T2強調画像	高信号	高信号
脂肪抑制画像(T2base、STIR)	高信号	低信号

る点があります。組織間におけるT1コントラストが良好である点です(図7：腰椎MRI T1強調画像)。また、流れのアーチファクトが少なく、撮像の難しい頸椎SAG像も良好に撮像することができます(図5：頸椎MRI T2強調画像)。

3. かかりつけ医におけるルーチン検査法

かかりつけ医の現場にとって、MRI検査のルーチン化は非常に重要である。各部位におけるルーチン化を行うことで、安定した検査をすることができ、経過観察の際にバラツキを最小限にすることで比較しやすい画像が得られ、臨床上大変有用である。

ルーチン検査法の作成は、大きく2Stepに分けて設定をする。ルーチン検査法の根幹となる基本撮像法のFirst Stepと、そこから症状などにより派生する追加撮像法のSecond Stepから成り立つ。この二段階に分けた2Stepルーチン検査法を行うことで安定した検査や画像の提供につながる。また、MRI検査のルーチン法を確立するにあたり、画像診断全般に対して、診断医の関与体制の確保とレポート作成の重要性を忘れてはならない。

(1) 頭部ルーチン検査

頭部ルーチン検査は、次の画像を撮像している。

- ・横断：T1強調画像、T2強調画像、FLAIR画像
- ・矢状断：T1強調画像

頭部検査の中で最も頻度が高い疾患として、慢性虚血性変化をベースとしたラクナ梗塞や分水嶺梗塞等が挙げられる。小さな脳梗塞の検出にFLAIR画像は大変有用である。陳旧性脳梗塞の画像所見は、T1強調画像で低信号域、T2強調画像で高信号域を示す。また、めまいや歩行時のふらつきなどの主訴がある場合には、脳幹部および小脳を含む冠状断：T2強調画像を追加撮像する。最近では、超急性期の脳梗塞への対応が求められるようになり、発症からの経過時間を考慮して、発症数時間であれば拡散強調画像(DWI：Diffusion Weighted Image)を撮影する(図2)。ほかのシーケンスで異常所見がない場合でも、DWI-高信号域をみとめることがある。

一方、痴呆や物忘れなどの主訴がある場合は、海馬に垂直

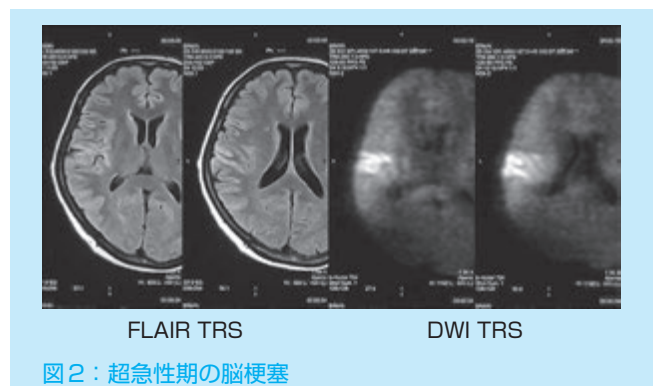


図2：超急性期の脳梗塞

な断面となる冠状断FLAIR画像を追加撮像し、海馬周囲の萎縮性変化を確認する。

図3に頭部ルーチン検査を示す。T1強調画像では白質と灰白質のコントラストが良好で、アーチファクトの少ない鮮明な画像が得られている。脳梗塞か血管周囲腔なのかを明確にするためにFLAIR画像をルーチン検査に入れている。

めまいの訴えがある時は以下を追加する(図4)。

追加シーケンス1：T2強調画像(COR)、MRA(頭蓋底中心)

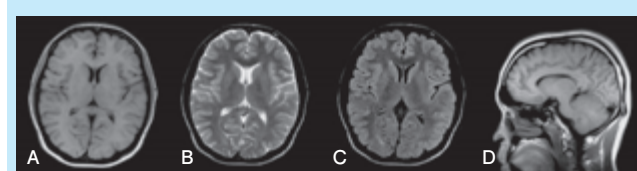
追加シーケンス2：3D BASG(MIP)

(アプリコメント)

MRIは組織の緩和時間をはじめとし、さまざまなパラメータをコントラストに反映するため、形態診断はもとより機能的な情報も付加することが可能です。一般に使用されるT1WI、T2WI、FLAIRは形態画像であるため、組織が変性した場合に画像上に現れるコントラストおよび大きさの変化を用いて、診断を行います。一方DWIは、「形態」に加え「機能的な情報」を反映した画像と言えます。DWIは病変により組織の変化が形態的に現れる前に発生する機能的な変化を捉えることで、より早期の画像化を可能としました。これにより、早期診断が必要とされる脳梗塞においては、DWIを用いた診断が極めて有効とされています。

(2) 脊椎ルーチン検査

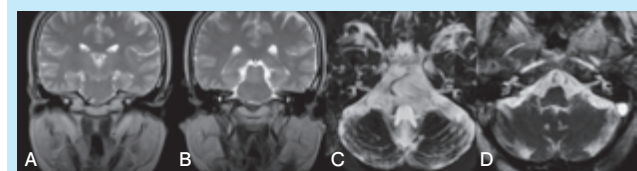
脊椎ルーチン検査は、次の画像を撮像している。



T1 強調画像 TRS T2 強調画像 TRS FLAIR TRS T1 強調画像 SAG

図3：頭部MRIルーチン検査

A：TR:350/TE:15.0 thickness:7mm 撮像時間 2:37
 B：TR:4300/TE:120 thickness:7mm 撮像時間 2:35
 C：TR:8500/TE:119 thickness:7mm 撮像時間 3:07
 D：TR:350/TE:15.0 thickness:7mm 撮像時間 2:37
 頭部ルーチン検査においては、1シーケンス2～3分弱と短時間での撮像が可能



T2 強調画像 COR 3D T2 MIP 3D BASG MIP

図4：めまい時の追加シーケンス

A：内耳をcheck
 B：TR:3100/TE:100 thickness:3mm 撮像時間 4:58
 C：thickness:1.7mm MIP表示 撮像時間 5:52
 D：thickness:1mm MIP表示

・矢状断：T1強調画像、T2強調画像

・横断：T2強調画像(椎間板レベル)

頸部の痛みや四肢のしびれ、腰痛、坐骨神経痛が検査対象となり、実際の疾患としては椎間板ヘルニア、脊柱管狭窄症、変形性脊椎症などが多く、ほかに外傷等に起因する圧迫骨折などがある。

変形性脊椎症や側弯症でMRI検査を行う場合には、冠状断：T2強調画像を追加撮像し、椎体および椎間板の変性を確認している。また、圧迫骨折や転移性骨腫瘍などの疾患を疑う場合は、矢状断：STIR画像を追加撮像する。腫瘍性疾患に対しては造影検査を併用しサブトラクション処理(造影T1強調画像一非造影T1強調画像)を施行することで、腫瘍内造影効果の有無を明瞭にしている。

図5に頸椎MRI像を示す。

図6は腰椎のOpen MRI像で、コントラストの高い良好な画像を得ることが可能である。痛みが強く長時間仰臥位が保持できない患者や側臥位でしか撮影できない患者にもOpen MRI

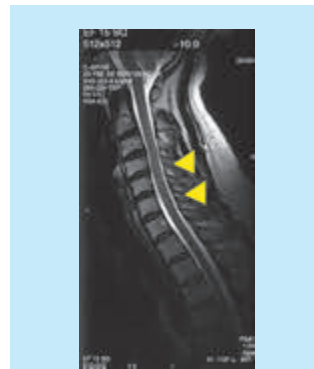


図5：頸椎MRI

T2 強調画像 SAG
 TR:3000/TE:120
 脳脊髄液アーチファクト対策に苦勞せず、撮像可能 (APERTO Inspire Vol2)

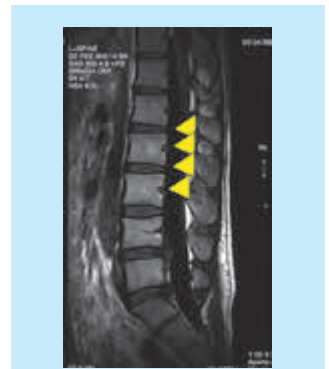
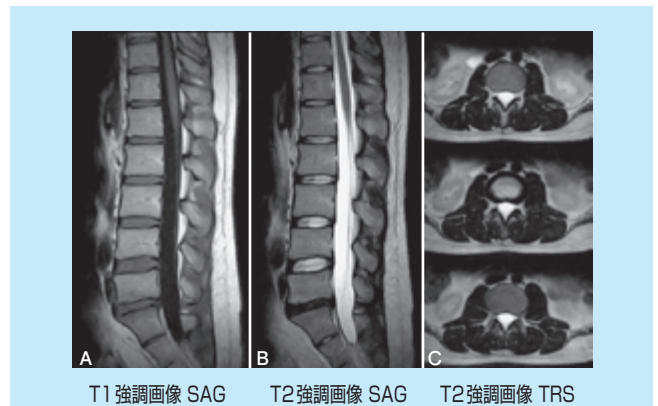


図7：腰椎MRI

T1 強調画像 SAG
 TR:440/TE:14
 (APERTO Inspire Vol2)



T1 強調画像 SAG T2 強調画像 SAG T2 強調画像 TRS

図6：腰椎MRI

A：TR:440/TE:14.0 thickness:4.5mm 撮像時間 4:32
 B：TR:2700/TE:120 thickness:4.5mm 撮像時間 5:02
 C：TR2800/TE:100 thickness:5mm 撮像時間 5:47

は有用である。ルーチン撮像時間は、頸椎で12分、腰椎で14分程度である。

(アプリコメント)

垂直磁場方式を採用しているため、サーフェスコイルを用いる必要がなく、体全体を覆うボディコイルを用いることができます。このため、体表の脂肪を気にする必要がなく、背部の筋肉量など、周辺組織も観察しやすくなります(図6：腰椎MRI)。

(3) 腹部ルーチン検査

MRCP検査は超音波検査やCT検査を施行し、胆石、総胆管結石が確認されたときや総胆管、膵管の拡張が認められたときなどに施行している。MRCP検査においては、腹腔鏡下胆嚢摘出術の適応を決定するために胆嚢管を必ず描出するようにしている。また、総胆管結石を確認する症例も多い。当院のMRCPルーチン検査法は胆嚢管および総胆管の描出を重要視している。

MRCPルーチン検査は、次の画像を撮像している。

- ・横断：T2強調画像、T1強調画像
- ・MRCP 2D像(息止め法)：冠状断、第一斜位、第二斜位、その他(全7断面程度)をシーケンスを変えて撮像し、吸気および呼気の両画像を撮像
- ・MRCP 3D像(呼吸同期法)：再構成方法はMIP(maximum intensity projection)とVR(Volume Rendering)法を用い、胆道系の検査を施行する際には超音波検査、CT検査、DIC-CT検査、MRCP検査を併用して施行

MRCPはMRIの禁忌としてペースメーカーなど体内金属を有する患者に施行できないものの、エックス線の被曝がないという利点があり、さらに施設によって経口造影剤を使用することがあるものの、体内に含まれる水自身が造影剤として作用するため、造影剤による過敏反応などの心配が少ない。

さらに閉塞性胆道や肝機能障害例などにも安全に施行すること

が可能である。急性膵炎の症例にも施行することが可能である。

図8は腹部MRI像(MRCP)である。経口消化管造影剤フェリセルツ2包(1包3g中クエン酸アンモニウム600mg含有)を水50ccに溶解し、飲用した後撮像した。総胆管、膵管ともに良好に描出されている。2Dでは撮像時間6秒、息止め2秒である。3Dの撮像時間は4分17秒である。

(アプリコメント)

MRCPには2Dと3D法があり、それぞれに特長があります。MRCP2Dは短時間で撮像可能であり、息止め撮像を行うことによって簡便に画像を取得できます。患者の年齢や容態によって息止めができない場合もありますが、息止めを行わなくともある程度安定した画像が得られます。MRCP3Dは3Dデータを取得し、MIP処理を行って回転させることにより、多方向からの観察が可能です。MIP処理を行うときは、全体をMIPした後、部分MIPを行うことにより、パーシャルボリューム効果の影響を減じて画像観察を行うことができます。また、MIP処理ではなくVR処理を行うことも可能です。VR画像はMIP画像に比べて組織の前後関係が把握しやすいという特長があり、患者への説明(インフォームドコンセント)におすすめします。

(4) 骨盤腔ルーチン検査

男性では前立腺肥大が大半を占め、女性では子宮筋腫、子宮内膜症、卵巣腫瘍などの疾患が多い。

a. 前立腺ルーチン検査法

前立腺ルーチン検査は、次の画像を撮像している。

- ・冠状断：T1強調画像、T2強調画像
- ・横断：T1強調画像、T2強調画像、STIR画像
- ・矢状断：T2強調画像

腫瘍性疾患に対しては造影検査を併用しサブトラクション処理を施行することで、腫瘍内造影効果の有無を明瞭にしている。

図9は前立腺の冠状断像で、T2強調画像で前立腺右外腺部に大きさ約18mm大の外方にやや突出する淡い低信号領域を認める。造影MRIにて、その部位に不均一な造影効果を認める。

b. 子宮、卵巣ルーチン検査法

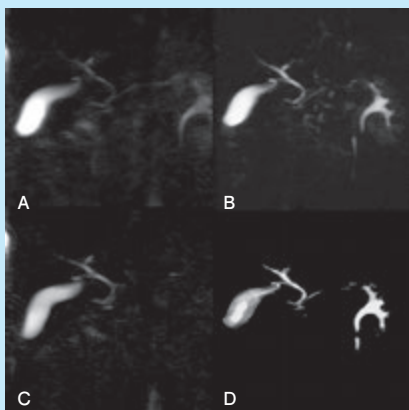


図8：MRCP

- A：MRCP 2D：thickness:60mm 撮像時間 0:06
- B：MRCP 3D：MIP表示 撮像時間 4:17
- C：MRCP 2D：thickness:30mm 撮像時間 0:06
- D：MRCP 3D：VR表示

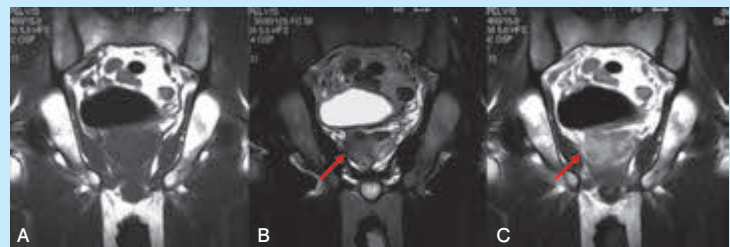


図9：前立腺癌

- 前立腺右外腺部に約18mm大の外方にやや突出するmass様の所見を認める。
- A：TR:400/TE:15.0
- B：TR:3600/TE:125
- C：TR:400/TE:15.0

子宮、卵巣ルーチン検査は、次の画像を撮像している。

- ・矢状断：T1強調画像、T2強調画像
- ・横断：T1強調画像、T2強調画像
- ・冠状断：T2強調画像

子宮筋腫、子宮癌などの疾患を疑う場合は、矢状断：STIR画像を追加撮像する。また、卵巣に疾患を疑う場合は、横断：STIR画像、水脂肪分離画像(T1強調の脂肪抑制画像)を追加撮像する。

MRIでは脂肪抑制シーケンスにより脂肪の存在を明らかにすることが可能でありMRIの特徴の一つである。

脂肪抑制シーケンスで得られた画像では信号が抑制されていればその組織は脂肪であるということが言える。MRIではさまざまな撮像原理にもとづいた脂肪抑制手法がある。装置の制限が非常に少ない手法としてSTIR(Short TI IR)が古くから利用されてきた。STIRは手軽な追加シーケンスとして日常診療で利用することが多い手法であるが、場合によっては信号の解釈に気をつけなければいけないことがあり、注意が必要である。実際には出血性変化による信号の変化がある。出血性病変の信号変化では亜急性期にT1短縮効果によりT1WI、T2WIともに高信号、STIRで低信号を示すことがある(表2)。

日常よく遭遇する病変については各シーケンスにおける信号のパターンをまとめ、目につくところに掲示することも、かかりつけ医の日常診断には有用なことと思われる。

図10は子宮のT2強調画像矢状断像である。子宮壁は子宮内膜、筋層、漿膜の3層構造となっており、明瞭に描出されている。子宮内膜と筋層部の境界部をjunctional zone = T2強調画像-low SI bandという。

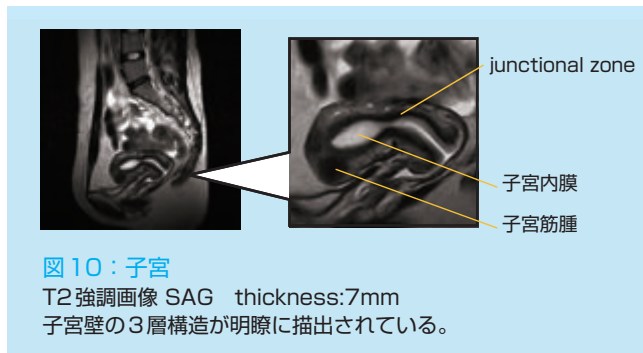


図10：子宮
T2強調画像 SAG thickness:7mm
子宮壁の3層構造が明瞭に描出されている。

表2：脳出血におけるMRI信号の経時的変化

経過時間	ヘモグロビン代謝産物	T1WI	T2WI
0～24時間	オキシヘモグロビン	等	等
1～3日	デオキシヘモグロビン	等	低
3～14日	メトヘモグロビン	高	等(溶血なし) 高(溶血あり)
3週目～	ヘモジデリン	等	低

(アプリコメント)

－出血性変化とSTIR－

血液はヘモグロビンの変化(デオキシヘモグロビン→メトヘモグロビン→ヘモジデリン)により多彩な信号強度を呈します。以下にT1強調画像およびT2強調画像の信号強度変化とその要因について述べます。

出血急性期には病変部の含水量により、淡い低信号を呈します。亜急性期にはメトヘモグロビンが生成され、T1短縮作用が見られT1強調画像およびT2強調画像で高信号を呈するようになります。さらに時期が進むと、血腫辺縁の鉄イオンがマクロファージに貪食されてヘモジデリンが生成されます。ヘモジデリンは常時性でありそれによるT2短縮効果のために、高信号領域を低信号領域が取り囲んだようになります。

慢性期になるとヘモジデリンに変化が進むことによりT2強調画像で低信号を示し、T1強調画像においても信号強度は低下します。出血亜急性期では上述のメトヘモグロビンによるT2短縮効果によりSTIRで低信号を示すことがあり、出血の時期によっては信号の解釈に注意を払う必要があります。このほか、Gd製造造影剤を使用する際にもT1短縮効果が生じるため、造影T1WIに対する脂肪抑制としてSTIRがふさわしくないことがお分かりいただけると思います。

(5) 膝関節ルーチン検査

変形性膝関節症、半月板損傷、靭帯損傷などの疾患が多い。膝関節MRI撮像に際して、各シーケンスのスライス厚は3mm(ギャップ厚1mm)に設定し撮像体位は軽度屈曲位にしている。

膝関節ルーチン検査は、次の画像を撮像している。

- ・矢状断：T1強調画像、水脂肪分離像(T2*強調の脂肪抑制画像)
- ・冠状断：T1強調画像、水脂肪分離画像
- ・横断：水脂肪分離画像

靭帯損傷の疑いがある場合は、プロトン/T2強調画像を追加撮像する。外傷などにより骨部に損傷を疑うときは、STIR画像を追加撮像し骨髄部の変性を確認している。ほかにベーカー嚢腫などを疑う場合は、矢状断：T2強調画像、STIR画像を追加撮像するとともに、MR Hydrography(Heavy T2強調画像)画像を用いて嚢腫全体像を描出している。

図11は膝関節の矢状断像である。大腿骨遠位端骨髄内に、基本的シーケンスT1強調画像(A)とT2強調画像(B)で異常信号は不明瞭であるが、機能的シーケンスであるSTIR(E)と水画像(F)の脂肪抑制画像では骨髄内脂肪成分を抑制し病変部である不均一な高信号部を明瞭に描出している。また、T2*強調画像(D)では、病変部中央に不均一な高信号領域を認め、骨髄内の出血性変化が示唆される。Open MRIでもこのようにさまざまなシーケンスで撮像が可能である。これらの信号の組み合わせから病態を考え理解することができる。

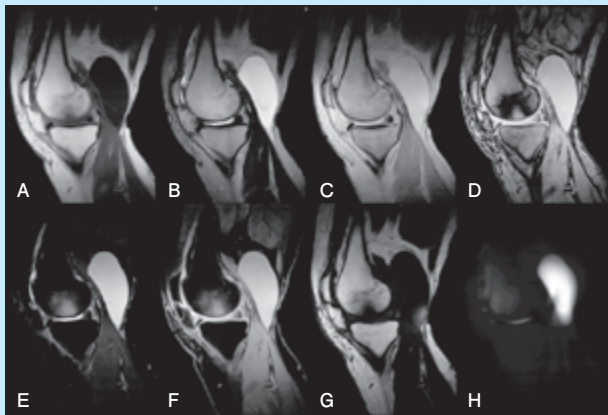


図 11 : 膝関節MRI thickness:3.0

A : T1 強調画像 : TR:380/TE:19.0 撮像時間 4:49
 B : T2 強調画像 : TR:4520/TE:100 撮像時間 6:38
 C : T2*in phase : TR:400/TE:13.4 撮像時間 4:46
 D : T2*out of phase : TR:400/TE:13.4 撮像時間 4:46
 E : STIR : TR:4400/TE:20 撮像時間 5:49
 F : 水強調画像 : TR:550/26 撮像時間 5:59
 G : 脂肪強調画像 : TR:550/26 撮像時間 5:59
 H : MR Hydrography : TR:5000/TE:910 撮像時間 0:05

(アプリコメント)

関節におけるT2*のコントラストが良好に描出されています。すなわち骨が高磁場機のような低信号とならず、SNRの低下を招かない画像です。骨の辺縁が明瞭に観察できます(膝関節T2*画像…高磁場機でよく使われるPDの撮像を省略することも可能だと思われます)。

4. 身近になったMRI検査

Open MRIの存在そして利点の再確認、画質・機能の向上、運用・経済的利点

実際のOpen MRIによる撮影時には、body coilなどを体に巻き付け、目前に装置の一部が覆いかぶさり、必ずしも快適空間とは言えないが、被検者に与える圧迫感・閉所恐怖感などの負担軽減やアクセス制限の緩和を実現しているのは事実である。

Open MRIの出現により、一般診療所・民間病院における画像診断・検査のあり方・流れに変化がみられてきた。単純X線撮影や超音波検査の後、CTやMRIなどのモダリティによる精査を即日あるいは近日中に施行し、次のステップへと速やかに検査・診断が進められるようになってきている。MRIを備えた民間病院への他院からのMRI検査依頼もよく目になってきている。これら病診連携にもOpen MRIは貢献している。

MRIは組織コントラスト(組織構造の描出)に優れていることから、脳脊髄領域、整形外科領域に加えて、婦人科領域、腹部(肝、胆道系、腎尿路系)領域、また、最近では心血管系の

循環器領域も加わり、全身が対象となってきている。今後、総合診療所・科的に幅広くさまざまな疾患への対応が求められる“総合医(かかりつけ医)”の場でOpen MRIは大きな力を発揮してくれると思われる。

“総合医”(かかりつけ医)にとってOpen MRIは日常の一般的なMRI検査を行うにあたり十分に対応できる安定した画像を提供する装置である。高磁場装置と比較すると特殊シーケンスや撮像時間の面で限界はあるものの、基本画像としての基準は超えていると思う。Open MRIは、医療経済性と臨床有用性ともに優れており、十分活用できるということである。

ある放射線科医が“Open MRIの方がきれいだ”と言った話を聞いたことがある。Open MRI画像が診断に必要なかつ十分なレベルにあるということではなかろうか。しかしながら、装置は使い手に依存する。医師や技師の臨床面・技術面の研修教育体制を整え、Open MRIをより使いこなし有効に活用したい。

謝辞

多大な協力をいただいた彩のクリニック(所沢市)、岡村記念クリニック(日高市)、吉川病院(所沢市)の諸先生方、診療放射線技師の方々に深謝します。

※1 APERTO、※2 AIRIS Elite、※3 AIRISは株式会社日立メディコの登録商標です。