

胆膵MRIの最新動向

高橋 護¹⁾、竹原 康雄²⁾、内藤 眞明³⁾¹⁾ 聖隷三方原病院放射線科²⁾ 浜松医科大学医学部附属病院放射線部³⁾ 磐田市立総合病院放射線科

The latest trend of MRI in the pancreatic and biliary area

Mamoru Takahashi¹⁾, Yasuo Takehara²⁾, Masaaki Naito³⁾¹⁾ Department of Radiology, Seirei Mikatahara Hospital²⁾ Department of Radiology, Hamamatsu University of Medicine³⁾ Department of Radiology, Iwata Municipal Hospital

抄録

MDCTの登場により、CTのみでの胆膵系の画像による詳細な評価が可能となってきた。その高い空間分解能は、従来のMRIや血管造影が不要と思えるほどの情報を有している。ただし、MRIは、CTにはない多様な情報を提供する可能性がある。3.0T MR装置の導入や新たな撮像技術の改良・開発などにより着実に空間分解能も進化しており、今後も胆膵領域の画像診断の中核的役割の一角を担うことになると思われる。

Abstract

Current development of multi-detector row CT has significantly altered the selection of imaging modalities when lesions are suspected in the pancreatic and biliary area. Its highly improved spatial resolution particularly in the Z axis is obviating the use of conventional angiography before pancreatic and biliary surgeries. A depiction of multiplanar views in the arbitrary directions is no longer a unique capability of MRI or US. However, CT cannot provide varieties of tissue characteristics including new contrast of diffusion weighted images or tissue specific or non-specific contrast media. Emerging technique of 3 tesla and parallel RF transmit techniques will help contribute further improvement of the SNR and the suppression of artifacts. The role of MR will remain important in the pancreatic and biliary area in the future.

Key words | MRI, Pancreas, Biliary, 3T, development

印刷請求先：〒433-8558 静岡県浜松市北区三方原町3453
 聖隷三方原病院 放射線科 高橋 護
 TEL：053-436-1251 FAX：053-439-6896

MRIとMDCT

多列化したCTの出現に伴い胆膵領域のMRIはその優位性が限定的なものとなりつつある。16列や64列MDCTに続いて、現在は256列、320列のMDCTも登場した。もっとも通常の胆膵領域のCT studyでは16列時代とそれほど大きな変化はない。MDCTでは0.5mm程度の空間分解能のisotropic voxel imageを数秒で得ることができ、非常に細かい解剖まで詳細に検討できるようになった。任意の断面を得られるということはCTに対するMRIの優位点の一つであったが、もはや共通点あるいはCTが優位な点となってしまった。

胆膵領域でMRIとMDCTを比較したstudyも多数報告されている。比較的新しいものを取り上げてみると、膵癌の診断で16列MDCTとMRIの診断能は、正診率（AUCはそれぞれ0.96と0.90）ならびに局所浸潤の評価はともにMDCTが勝っていたと報告されている¹⁾。胆管癌に関する報告では、MRCPを含んだMRIとMDCT・ERCPの組み合わせで比較したstudyがある。腫瘍の進展度診断の比較ではその成績はほぼ同等であったとしている²⁾（この報告では、MRI検査のみ行えばERCPならびにMDCTを省略できる可能性も示唆されている）。嚢胞性病変の診断は、MRCPという強力な武器を持つMRIが優位と考えられてきた。58例の膵嚢胞性病変の診断能をCT（single, 4ch, 16ch混在）と1.5T MRIとで比較した報告があり、AUCは、CTで、0.76-0.82と、MRIで0.85-0.91とほぼ同等の成績であったとしている³⁾、28例のIPMNのmalignancyの検出能の検討で、Dual phase MDCTのCurved ReformationとMRCPを比較したところ、Sensitivity/Specificity/Accuracyが、それぞれ70%/87%/76%と70%/92%/80%とほぼ同等であったとする報告がみられるなど⁴⁾、充実性腫瘍の診断のみならず、嚢胞性病変においても、MRIの絶対的優位性は薄れてきているようである。しかしながらMRIは不要になったというわけではなく、電離放射線の被爆がないMRIは、繰り返し検査の行われるfollow up studyに適しているし、各種シーケンスの組み合わせによる質的診断やCTではっきりしない病変がその強い組織コントラスト分解能により明瞭に描出される例があるなど、依然としてMRIの役割は大きい。

MDCTが劇的に進化している一方で、MRIもハードウェア自体の性能の向上やparallel imageなどのソフトウェアの改良・開発などにより高速高精細での検査や拡散強調画像といった腹部領域では今までになかった新たな情報を得ることが可能となってきている。また、全身用3.0T MRIが2005年に薬事承認され、腹部領域での臨床使用が始まり、より高いS/Nをもった画像を得ることも可能となってきている。

3.0T MRI

全身用3.0T MRIは、2005年3月にGE社の装置が薬事承認され、続いてシーメンス社とフィリップス社の装置が承認され、腹部領域での使用が可能となった。3.0T MRIの最大のメリットは、その高いS/Nにある。ただし、1.5T MRIと比較するとS/Nは理論上の2倍にはならず、総じて1.5倍程度までに留まるようである。上腹部への3.0T MRIの利用は、RF penetrationの不良、定常波artifact、組織T1延長によるT1コントラストの劣化、腸管内ガスによる磁化率artifact、動きのartifact等々、多くの問題点があるが、これらは周辺技術の進歩により改善されてきており、腹部においても1.5T MRIと同等あるいはそれを凌駕する画像を得ることも可能となった。胆膵領域の3.0T MRIは、高い可能性を有しており、今後もその発展が大いに期待できる。なお、3.0T MRIの個々の応用については、各項目に譲る。

MRCP

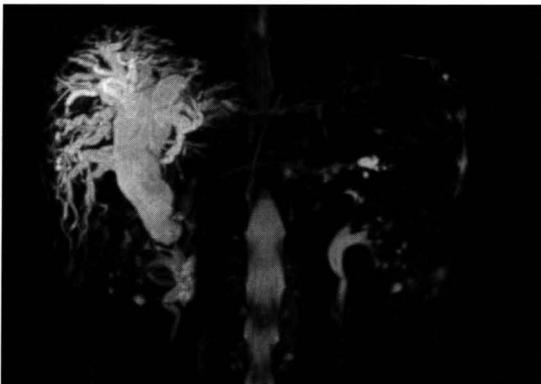
MRCPは、胆汁や膵液を直接画像化できる方法である。ERCPやPTCD tube造影では見ることのできない途絶部を跨いだ情報も得ることができる。非侵襲的でERCP不成功例などでの有用性もある。

Single shot fast spin echo (SSFSE) を用いた2D single thick slab MRCPは、膵管や胆管全体の状況を確認することができる。1秒以下で画像が取得可能で、最大吸気時と最大呼気時での撮影や連続撮影をおこなうことで、胆管・膵管の機能的評価にも利用できる。また、小児などの息止めの協力の得られない被験者でも施行可能である。厚いスライスの画像のため、前後の情報が重なって投影され、詳細な解剖的位置関係の把握に悩むこともある。このため、薄いスライス厚で、胆管を軸として回転

させたり、膵管の走行に沿って撮影されたmulti slice (angle) thin slice MRCPも併用される。2D MRCPは、ERCPに比較し依然として空間分解能が低く、胆管癌の水平方向への進展範囲の決定に問題となることが多い。画質向上を目指し、2D MRCPへのparallel imaging techniqueの併用の報告がある。2D MRCPで利用されるSSFSEは、parallel imaging techniqueの併用で、echo trainを短くすることができ、理論的にはT2減衰の影響によるblurの発生を減らし画質の向上が期待できる。ただし、コントラストの向上や末梢の描出力向上の可能性はあるが、画質の向上はあまり見られなかったと報告されている⁵⁾。

3D MRCPは、通常は呼吸同期下に撮影され、高いS/Nと高空間分解能を両立させることができる。胆管や膵管をvolumeで撮影するので、撮影終了後にMIPやVR法による任意の方向からの観察やMPR

で任意の断面での詳細な観察が可能である。前後の重なりによる影響がなくなり、小さな胆管や膵管内のdefectも明瞭になる。また、不必要な構造を取り除くことや他の3D画像とfusionすることもできる。MRCPで利用されるHeavy T2強調画像は、水のみを信号を画像化するので本来高いS/Nがあり、スライス厚を薄くすることも可能である。ただし、その分撮像時間も延長することになり、長い撮像時間(通常8-12分)のために呼吸同期不良や体動などによるartifactも出現する可能性が高かった。Parallel image techniqueの併用により、1mmのisotropic voxel imageを3分程度で得ることも可能となった⁶⁾。この報告では、2D MRCPに比較し、S/N、C/Nともに高く、画質も良好であったとしている。また、呼吸停止下に薄いスライス厚の3D MRCPも撮影可能となり、こちらも2D MRCPよりも良好な画像が得られている。Fast recovery法は、



(a)
(b)

図1. 3.0T MRI 3D MRCP (FRFSE) MIP像 (a)と元画像 (b)(一部のみ提示)

80歳代 下部胆管癌

下部胆管腫瘍により、上流胆管の拡張が認められる。薄いスライスにも関わらず、高いS/Nが確保され、末梢まで詳細に描出されている。(磐田市立総合病院より提供)



エコー信号取得後に、 -90° パルスを付加し、残存する横磁化を強制的に回復させることにより、S/Nを保ったまま、TRを短くすることができる撮像シーケンスである。Fast recovery法とParallel imaging techniqueを併用した3D MRCPの報告もあり、こちらも1mm程度のisotropic voxel imageを短時間(3-7分)で撮影可能で、画質も良好であったとしている。ただし、3mm以下の結石に関しては、依然として成績が悪かったとも報告している(sensitivity 33-42%)⁷⁾。呼吸同期下で撮影される3D MRCPは、呼吸が安定しない被験者では同期がうまくかからず画質が不良となることがあり、2D multi angle thin slice MRCPと比較しながら読影することもしばしばである。呼吸同期は腹部にペローズを巻いて、間接的に横隔膜の動きを観察しているが、間接的であるため症例によっては、横隔膜の動きにうまく一致しないことがあった。Navigator echoや2D Prospective Acquisition and Correction (PACE)といった方法で、横隔膜の上下運動や前後方向の動きを直接観察し、同期・補正しながら撮影する方法が開発され、3D MRCPにも併用され良好な成績が報告されている⁸⁾。

3.0T MRIでは、本来持っているその高いS/Nを空間分解能の向上や撮像時間短縮に振り分けることが期待される。T2緩和時間の軽度短縮や磁場

の不均一性によるT2*の短縮などにより、水の信号が低下することが指摘されているが、周辺技術の進歩や撮像法の工夫により改善されてきている。1.5Tと3.0TのMRIで胆道系のMRCPを比較すると、3.0Tでコントラストが良好で、肝内胆管の描出にも優れていたと報告されている。特に3D MRCPでの有用性が高かったとしている⁹⁾。3.0T MRIは、1.5T MRIと比較するとS/Nは理論上の2倍には達しないが、それでも、T2強調画像では、薄いスライス厚での512マトリックスでも十分なS/Nが得られる。1.5T MRIと比較しより正確で詳細な胆管ならびに膵管の評価が可能になるとと思われる(図1、2)。Cubeは、GE社製の新しい撮像シーケンスで、isotropic voxelのvolume dataでT2強調画像、プロトン密度強調画像ならびにFLAIR法を撮影することが可能である。長いecho trainによるblurを生じにくくするためにModulated flip angleと呼ばれるflip angleを変化させたRefocus pulseを用いるが、通常のFSE法に比べて低いflip angleを用いるためSARが大幅に低減され、3.0T MRIに適したシーケンスともいえる。また、新しいparallel imaging techniqueであるARCとの組み合わせも可能である。Coilの感度mapを必要としないparallel imaging techniqueであり、k-spaceデータを変換する前に間引いたデータライン



図2. 3.0T MRI 3D MRCP (FRFSE) MIP像

80歳代 肝門部胆管癌

肝門部に閉塞起点があり、左右胆管が泣き別れとなっている。isotropic voxel imageからは、良好な3D MIPが作成でき、様々な方向から観察できる。(磐田市立総合病院より提供)

をすべて推定するため、もともと折り返しが生じるような小さなFOVの画像でも正しく再構成することができる。さらにARCは K_y 方向だけでなく K_z 方向のreductionを行うparallel imagingが可能で、有り余るS/Nをもった3.0T MRIにとって非常に期待されるアプリケーションである。3D MRCPに利用することにより高分解能な画像を短時間で得ることができる(図3)。

造影Dynamic MRI

胆膵領域でもガドリニウムキレート造影剤をボラス注入して撮影するDynamic studyが有益な情報を提供する。3DFT spoiled gradient echoに脂肪抑制パルスを用いた撮影が有効で、通常は、動脈相、門脈相、平衡相の3相が撮影される。最近ではこれに効果的な脂肪抑制法やparallel imaging techniqueを駆使した方法が使われている。parallel imagingによる位相エンコード数の減少は、motion artifactならびに大動脈からのphase-encoding artifactの軽減をもたらす。Dynamic studyは胆管癌においては、動脈相は血管新生の多寡を反映するのみなのに対して、その誘導された線維成分を反映して門脈相から平衡相で強い染まりを呈することが多い(特に管状腺管癌)。浸潤性膵管癌は早期の染まりは弱く、動脈相から門脈相でよく染まる膵実

質とのコントラストがこの時相で最も高く良好となる。この所見はMDCTでも同様であるが、脂肪浸潤がある場合や随伴性膵炎や慢性膵炎が存在し、膵実質の染まりが弱い場合には、コントラストに勝るMRIで優れる。最近の検討では、2005年にBichardらは、57例の膵癌を疑われた患者の1.5T MRIで造影Dynamic 3D-GREでの膵癌の検出能の報告をしている。Sensitivity / Specificity = 85.7% / 88.9% (ないしは、閾値を下げると97.7% / 85.1%)と良好な成績であった。ただし、感度は良好なものの、腫瘍形成性膵炎など3例の良性疾患で膵癌と鑑別困難であったとし、造影剤による染まりのみによる鑑別には限界があるとしている¹⁰⁾。

3.0T MRIではT1緩和延長の影響のために、T1強調画像に弱いとされるが、造影剤を用いることで、高いS/Nを保ったまま、1.5Tと比較してより薄いスライスでの3D撮影が可能である。Liver Acquisition with Volume Acceleration (LAVA)は、GE社製の比較的新しい脂肪抑制3D-GREである。IRパルスをかけた後のnull point近傍でデータを収集するため、きわめて均一な脂肪抑制とS/N・C/Nを併せ持ち、スライス内parallel imagingとK空間充填を併用することで良好な空間分解能ならびに時間分解能を擁している。3.0T MRIで使用することでその高いS/Nを生かした撮影が可能である。

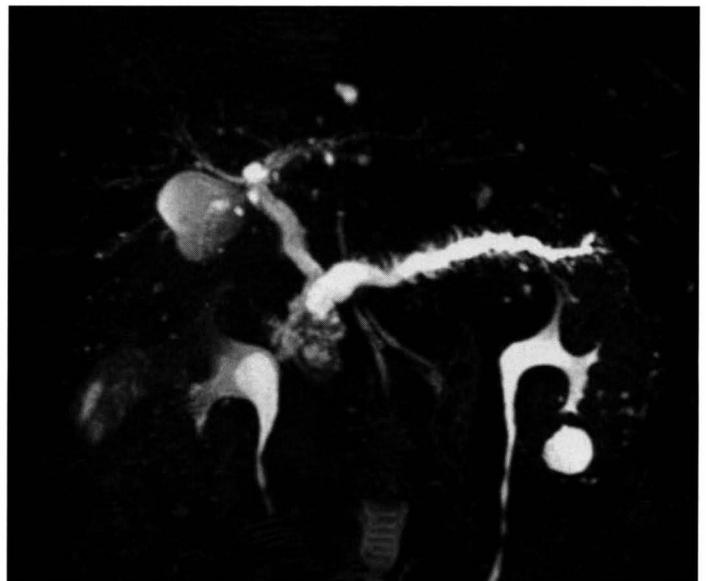


図3. 3.0T MRI 3D MRCP (Cube) MIP像

70歳代 膵頭部膵癌
膵頭部に閉塞病変があり、体尾部主膵管の拡張が認められる。分枝までも明瞭に描出されている。Cubeでは、1.4mmスライス厚(0.7mm gap)の高精細画像を約4分で得ることができる。(Reduction factor 2.5)(磐田市立総合病院より提供)

薄いスライスのvolume dataであり、MIPやVR画像と組み合わせることでMDCTに匹敵するような良好な3D画像を作成することもできる(図4)。

拡散強調画像

撮像装置の発達、多チャンネルコイルの利用、parallel imaging techniqueの併用などにより、腹部領域でも良好な拡散強調画像が撮影可能となった。息止めせずに加算回数を増加させる撮像法が利用されるようになってからは¹¹⁾、腹部骨盤領域でも拡散強調画像が日常的に撮影されるようになってきている。肝臓、腎臓、結腸、子宮頸部ならびに前立腺などの悪性腫瘍に対する拡散強調画像の有用性が相次いで報告されている。膵臓に関する報告も散見され、拡散強調画像単独での膵癌のsensitivityは71.4-100%である^{12,13)}。我々の施設の検討でも浸潤性膵管癌26例中22例(85%)が周囲膵実質と比較し高信号に描出され、既存の報告と一致するものとなった。従来の検査法と比較し際立ったもの

ではないが、他のモダリティーでは確認できないような極小さな膵癌が拡散強調画像で高信号となりその診断に有用であった症例も経験している。膵癌の拡散強調画像での信号強度の解釈は、主にtightな高密度線維化による細胞間隙での拡散域と細胞密度上昇による細胞内水分子の増加などが考えられているが、例えば、強い線維化があっても、細胞がまばらな腫瘍などでは、拡散強調画像でほとんど信号を出さないこともある。膵嚢胞性病変に対する拡散強調画像の検討の報告も認められる。b=1000sec/mm²の拡散強調画像で、42例の膵嚢胞性病変の嚢胞部と周囲膵実質の信号比を計算したところ、単純嚢胞や偽嚢胞で低く、膿瘍、包虫嚢胞、腫瘍性嚢胞で高く、カットオフ値を1.9とすると、sensitivity/specificity=70%/90%であったと報告している。ADC値に関しても、有意に前者で高く後者で低かったとしている¹⁴⁾。

胆道癌に関連しては、拡散強調画像のsensitivityが73%(8/11)であったとの報告があるが¹⁵⁾、当院

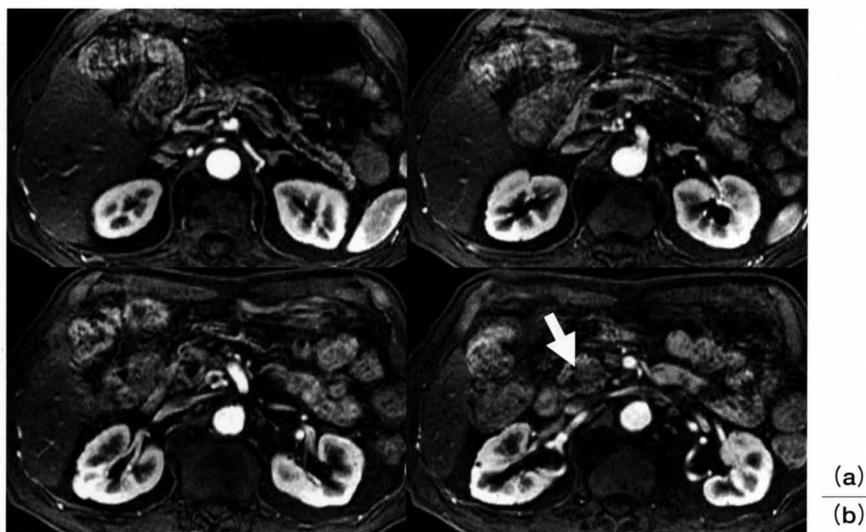


図4. 3.0T 3D 脂肪抑制造影dynamic MRI (LAVA) (動脈相)元画像(a)とMIP像(b)

70歳代 膵頭部膵癌
膵頭部に膵実質比較し染まりの悪い領域(矢印)が認められる。2.4mm厚(1.2mm gap)という薄いスライスにも関わらず、高いコントラストが保たれている。薄いスライス厚の画像からは、良好な3D MIP像を作成することもできる。(磐田市立総合病院より提供)

でも肝外胆管癌で17例中16例(94.1%)、胆嚢癌で9例中6例(66.7%)が高信号となった。管状腺癌は、線維成分を誘導することが多く、拡散強調画像では淡い高信号となることが多いが、乳頭腺癌は、細胞成分が多いため、拡散強調画像では強い高信号となることが通例である。胆嚢癌では、胆嚢内腔(胆汁)が拡散強調画像で高信号となることがしばしばで、腫瘍そのもの高信号をこれと分離できないことも多い。

リンパ節に関しては高率に高信号となるが、非特異的である。しかし、それでも無視されがちなリンパ節を見落とさないという点では有用である。CT、MRIでも見落とされるような播種の診断もできれば、無用な手術を回避することができるが、今後の検討課題である。

3.0T MRIでの腹部拡散強調画像は、B0、B1不均一からくるartifactが強く安定した画像が得にくいといわれていたが¹⁶⁾、撮像装置自体の性能の向上や撮像方法の工夫で比較的安定した画像が得られ

るようになってきている。1.5T MRIではほとんど白黒だけの画像だったものが、高いS/Nによってコントラストが良好となり、グレイスケールの画像に変化した。病変の描出力が向上するのみでなく、他の画像とfusionすることなく拡散強調画像のみでも正確な位置情報が得られるようになってきている(図5)。

拡散強調画像に関する多数の報告の中でADC値に関する検討もなされており、ほとんどの悪性腫瘍はADC値が低かったとしている。ただし、ADC値には報告によるばらつきが目立つ。例を挙げると正常脾実質のADC値は $0.69-2.28 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{sec}$ と大きなばらつきが認められる。(なお、脾頭・体・尾部間でもADC値が異なると言われている。)1.5Tと3.0TでのADC値の比較の報告もあるが、同一組織で前者が高い傾向があったとする報告がある一方で、後者が高かったとする報告もある。本来ADC値は、その組織が持っている固有の値(灌流の影響を受けない範囲)で、シーケンス、機種、磁場

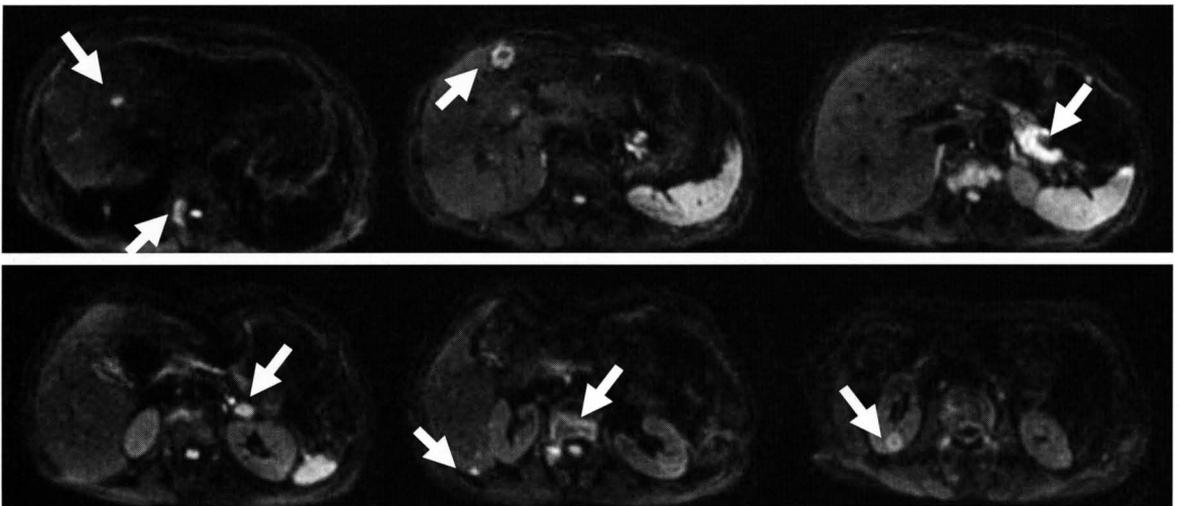


図5. 3.0T 拡散強調画像

60歳代 女性 肺癌・多発転移

多発肝転移、骨転移、脾尾部転移、副腎転移、腎転移(白矢印)が拡散強調画像で明瞭な高信号として描出されている。3.0T MRIでは、1.5T MRIでは不足しがちなS/Nを補うことができる。コントラストに優れるため正常組織も明確に認識することができる。(3.5mm厚、2NEX、160×160matrix、reduction factor2)(磐田市立総合病院より提供)

の強さなどへの値の依存はないはずであり、キャリアレーションに問題があるのかもしれない。また、3.0TでのADC値の再現性に関する検討の報告では、中・短期間でのそのCV値は約14%で、27%以下のADC値の変化を有意に検出することが困難であろうとしている¹⁷⁾。現時点での拡散強調画像は正確なADC値を得るレベルに至っていないと思われる。心電図同期をおこなうことや異方性MPG pulseを利用することでADC値の正確性が高めることができるという報告などもあり^{18,19)}、様々な試行錯誤が現在もおこなわれている。

ところでADC値は、2つ以上の異なったb値で撮影された画像にROIを置き算出するが、少なからず歪みの存在する画像上に正確にROIを置くことは困難であり、これも再現性を低下させる原因のひとつと考えられる。我々は、ADC値以外での拡散強調画像の半定量化を報告している²⁰⁾。高b値での拡散強調画像で、病変部の信号と同一断面内の脊髄の信号比 (Ratio between the Lesion and the Spinal cord : LSR) に注目した。正常膵や各種膵疾患と比較すると膵癌のLSRの平均が 1.00 ± 0.48 と最も高く、膵癌を陽性としてROC解析を行ったところ、ADC値のAUCは、LSRの半分以下であった。LSRでのカットオフ値を0.5とすると膵癌のSensitivityは85%を超え、specificityは95%に近い高い値となった。急性膵炎・腫瘍形成性膵炎・自己免疫性膵炎も比較的LSRが高い傾向が見られたが、膵癌では、LSRが1.0をこえるものが膵癌では42%に見られたがその他の疾患では皆無であった。LSRの有用性を示唆する結果であったが、今後も症例を積み重ねる必要がある。

セクレチン

セクレチン (セクレパン) は膵臓からの重炭酸塩の外分泌を亢進させる消化管ホルモンである。セクレチン負荷MRCPは、慢性膵炎、膵癒合不全、機能的狭窄の診断など、形態診断の向上のみならず、外分泌能を非侵襲的に評価でき、臨床的に有用といわれている。

セクレチンを使用したEPI-SEでの拡散強調画像で、慢性膵炎の診断やその予備軍を診断できる可能性が報告されている²¹⁾。一方、ごく最近の報告では、セクレチンを使わないMRIでも、慢性膵炎群は、正常群に比較し、ADC値が低下するとしており、

ADC値 $1.79 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{sec}$ をカットオフ値とするとSensitivity/Specificity/AUC=74%/66%/0.75で慢性膵炎と正常群の鑑別ができたとし、セクレチン投与による有用性はなかったとする報告もある²²⁾。同じグループからの報告で、3.0T MRIでの報告もあり、ADC値 $2.20 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{sec}$ を閾値とするとSensitivity/Specificity=100%/73%で慢性膵炎と正常群の鑑別ができ、やはり、セクレチン投与による有用性はなかったとしている²³⁾。我々も1.5T MRIでセクレチンを利用せずに、慢性膵炎群30名と正常群30名のADC値の比較を行っているが、それぞれ $1.27 (\pm 0.45) \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{sec}$ と $1.19 (\pm 0.45) \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{sec}$ で逆の結果となってしまった。標準偏差も大きく、信頼性の高いデータが得られていないようである。

MRS

MRSは腹部領域においては、未だに診断に十分活用できるレベルにはないが、Choらは、MRSを用いてlipidの量を測定することで、腫瘍形成性膵炎と浸潤性膵管癌を鑑別できたと報告している²⁴⁾。

ボースデル

MRI用経口陰性造影剤であるボースデルが2006年4月に承認され臨床使用が可能となった。胃、十二指腸、小腸など腸管内の液体の信号を抑えることにより、MRCPで、胆管・膵管の末梢までをより良好に描出することが可能になる。従来は、経口陽性造影剤フェリセルツを代用して用いることが多かったが、陰性造影剤である当剤はより強力な効果が期待できるようである。3.0T MRIでは、多少局所磁場不均一の原因となりうるため希釈して使用している施設もある。

最後に

3.0T MRIの臨床応用や新たな撮像技術の開発・改良などによりMRIは着実に進化しており、今後も胆膵領域の画像診断の中核的役割の一角を担うことになると思われる。

参考文献

1. Mehmet Erturk S, Ichikawa T, Sou H, et al: Pancreatic adenocarcinoma: MDCT versus MRI in the detection and assessment of locoregional extension. *J Comput Assist Tomogr* 30 (4): 583-90, 2006.
2. Park HS, Lee JM, Choi JY, et al: Preoperative evaluation of bile duct cancer: MRI combined with MR cholangiopancreatography versus MDCT with direct cholangiography. *Am J Roentgenol* 190 (2): 396-405, 2008.
3. Visser BC, Yeh BM, Qayyum A, et al: Characterization of cystic pancreatic masses: relative accuracy of CT and MRI. *AJR Am J Roentgenol* 189 (3): 648-56, 2007.
4. Sahani DV, Kadavigere R, Blake M, et al: Intraductal papillary mucinous neoplasm of pancreas: multi-detector row CT with 2D curved reformations-correlation with MRCP. *Radiology* 238 (2): 560-9, 2006.
5. Hosseinzadeh K, Furlan A, Almusa O: 2D thick-slab MR cholangiopancreatography: does parallel imaging with sensitivity encoding improve image quality and duct visualization? *Am J Roentgenol* 190 (6): W327-34, 2008.
6. Jingbo Zhang, Gary M. Israel, Elizabeth M. Hecht, et al: Isotropic 3D T2-weighted MR cholangiopancreatography with parallel imaging: feasibility study. *Am. J. Roentgenol* 187: 1564-1570, 2006.
7. Kiran R. Nandalur, Hero K. Hussain, William J. Weadock, et al: Possible biliary disease: diagnostic performance of high-spatial-resolution isotropic 3D T2-weighted MRCP. *Radiology* 249: 883-890, 2008.
8. Ceyla Basaran, A. Muhtesem Agildere, Fuldem Yildirim Donmez, et al: MR cholangiopancreatography with T2-weighted prospective acquisition correction turbo spin-echo Sequence of the biliary anatomy of potential living liver transplant donors. *Am J Roentgenol* 190: 1527-1533, 2008.
9. Merkle EM, Haugan PA, Thomas J, et al: 3.0- Versus 1.5-T MR cholangiography: a pilot study. *Am J Roentgenol* 186 (2): 516-21, 2006.
10. Birchard KR, Semelka RC, Hyslop WB, et al: Suspected pancreatic cancer: evaluation by dynamic gadolinium-enhanced 3D gradient-echo MRI. *185 (3): 700-3, 2005.*
11. Takahara T, Imai Y, Yamashita T, et al: Diffusion weighted whole body imaging with background body signal suppression (DWIBS): technical improvement using free breathing, STIR and high resolution 3D display. *Radiat Med* 22 (4): 275-82, 2004.
12. Matsuki M, Ichikawa, Nakai G, et al: Diffusion-weighted MR imaging of pancreatic carcinoma. *Abdom Imaging* 32 (4): 481-3, 2007.
13. Ichikawa T, Erturk SM, Motosugi U, et al: High-b value diffusion-weighted MRI for detecting pancreatic adenocarcinoma: preliminary results. *Am J Roentgenol* 188 (2): 409-14, 2007.
14. Inan N, Arslan A, Akansel G, et al: Diffusion-weighted imaging in the differential diagnosis of cystic lesions of the pancreas. *Am J Roentgenol* 191 (4): 1115-21, 2008.
15. 吉満研吾、入江裕之、田嶋強等: 【肝胆膵の画像診断 最近の進歩】MRIによる胆膵の診断. *画像診断* 27 (11) 1334-1343, 2007.
16. von Falkenhausen MM, Lutterbey G, Morakkabati-Spitz N, et al: High-field-strength MR imaging of the liver at 3.0T: intraindividual comparative study with MR imaging at 1.5T. *Radiology* 241: 156-166, 2006.
17. Braithwaite AC, Dale BM, Boll DT, et al: Short- and midterm reproducibility of apparent diffusion coefficient measurements at 3.0-T diffusion-weighted imaging of the abdomen. *Radiology* 250 (2): 459-65, 2009.
18. Petra Mürtz, Sebastian Flacke, Frank

- Träber, et al: Abdomen: diffusion-weighted MR Imaging with pulse-triggered single-shot sequences. *Radiology* 224:258-264, 2002.
19. Yoshikawa T, Ohno Y, Kawamitsu H, et al: Abdominal apparent diffusion coefficient measurements: effect of diffusion-weighted image quality and usefulness of anisotropic images. *Magn Reson Imaging* 26 (10): 1415-20, 2008.
20. 高橋護、竹原康雄、遠山典宏等：高b値拡散強調画像の脊髓信号との比による膵疾患の定量評価に関する検討。日本医学放射線学会雑誌 第68回日本医学放射線学会総会抄録集 S234, 2009.
21. Erturk SM, Ichikawa T, Motosugi U, et al: Diffusion-weighted MR imaging in the evaluation of pancreatic exocrine function before and after secretin stimulation. *American Journal of Gastroenterology* 101; 133-136, 2006.
22. M. Fatih Akisik, Alex M. Aisen, Kumar Sandrasegaran, et al: Assessment of chronic pancreatitis: utility of diffusion-weighted MR imaging with secretin enhancement. *Radiology* 250 (1) : 103-9, 2009.
23. M. Fatih Akisik, Kumaresan Sandrasegaran, S. Gregory Jennings, et al: Diagnosis of chronic pancreatitis by using apparent diffusion coefficient measurements at 3.0-T MR Following Secretin Stimulation. *Radiology* 252:418-425, 2009.
24. Cho SG, Lee DH, Lee KY, et al. Differentiation of chronic focal pancreatitis from pancreatic carcinoma by in vivo proton magnetic resonance spectroscopy. *J Comput Assist Tomogr* 29 (2) : 163-9, 2005.

ダウンロードされた論文は私的利用のみが許諾されています。公衆への再配布については下記をご覧ください。

複写をご希望の方へ

断層映像研究会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。

本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター（(社)学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体）と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません（社外頒布目的の複写については、許諾が必要です）。

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F FAX：03-3475-5619 E-mail：info@jaacc.jp

複写以外の許諾（著作物の引用、転載、翻訳等）に関しては、(社)学術著作権協会に委託致しておりません。

直接、断層映像研究会へお問い合わせください

Reprographic Reproduction outside Japan

One of the following procedures is required to copy this work.

1. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has concluded a bilateral agreement with an RRO (Reproduction Rights Organisation), please apply for the license to the RRO.

Please visit the following URL for the countries and regions in which JAACC has concluded bilateral agreements.

<http://www.jaacc.org/>

2. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has no bilateral agreement, please apply for the license to JAACC.

For the license for citation, reprint, and/or translation, etc., please contact the right holder directly.

JAACC (Japan Academic Association for Copyright Clearance) is an official member RRO of the IFRRO (International Federation of Reproduction Rights Organisations).

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)

Address 9-6-41 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan

E-mail info@jaacc.jp Fax: +81-33475-5619