

第27回 日本腹部放射線研究会イブニングセミナー

320列面検出器CTと3テスラMRIが 創り出す最新臨床応用

座長 山下康行 先生 (熊本大学大学院生命科学研究部放射線診断学分野)

3 テスラ腹部 MRI の現状と展望

吉川 武 先生
(神戸大学大学院医学研究科内科系講座放射線医学分野)

320列面検出器CTと3テスラMRIが 創り出す最新臨床応用

日時：2013年6月21日(金)
場所：宇都宮東武ホテルグランデ
共催：東芝メディカルシステムズ株式会社

座長
熊本大学大学院生命科学研究部
放射線診断学分野
山下康行 先生



3テスラ腹部MRIの現状と展望

神戸大学大学院医学研究科内科系講座放射線医学分野 吉川 武 先生

はじめに

近年、3T MRI は急速に普及してきており、腹部においてもルーチン検査で用いられる施設が増加している。今回は、腹部 3T MRI および東芝メディカルシステムズ製 3T MRI Vantage Titan 3T の特長、最近の撮影法の進歩について報告するとともに、高磁場を生かした新しい撮影法の検討結果と新たな画像処理として話題になっている Computed/Calculated diffusion(cDWI) について紹介したい。

◆ 3T MRI の特長と第 4 世代における進化

3T MRI の特長として、まず S/N が非常に高いという利点がある。しかし磁化率効果やケミカルシフトの影響が大きくなる、あるいは RF 磁場 (B1) の不均一による penetration の低下、SAR が高いといった短所もある。また T1 の延長により造影効果の向上が予想されるが、造影剤の性質自体が磁場強度によって変わってしまう可能性があるという指摘もあり、必ずしも造影効果が上がるかは明らかになっていない。そのほか、撮像時の騒音が大きい、磁場酔い、吸引力の上昇による安全性の問題などが指摘されてきた。

当施設で使用している 3T MRI 装置は、これらの短所を改善した第 4 世代といわれる Vantage Titan 3T である。その特長として、Pianissimo 機構と、Multi-phase Transmission があげられる。撮像音については、Vantage Titan 3T の Pianissimo 機構には聴感で約 90% カットする静音効果があり、患者負担を考えれば非常に重要な要素である。B1 不均一への対策についても、Multi-phase Transmission 技術がある。RF アンプ 2 台で位相と振幅を独立制御し、また 4 ポートの給電により RF 強度分布の均一化が図られている。

実際の画像を 1.5T 装置と 3T 装置で比較すると、3T 装置におい

て S/N の大幅な改善が得られていることは一目瞭然である。また、従来の Single Transmit においては不自然なコントラストになっていたが、それも大きく改善し、自然な画像となっている。拡散強調画像 (DWI) については、1.5T MRI 装置では肝左葉の信号が落ち、心臓の大きい患者では拍動によって信号が飛んでしまうのがこの十数年の課題であったが、3T MRI では心臓の近くにある病変も明瞭に検出できるようになった。また、3T MRI における DWI の有用性を示唆するものとして、**図 1** に示すように EOB dynamic 早期像や肝細胞造影相で検出できなかった病変が 3T MRI の DWI のみで描出されるような症例も経験している。

◆ 3D-dual echo T1 強調像

これまで 3T MRI において、グラディエント・エコー法での T1 強調

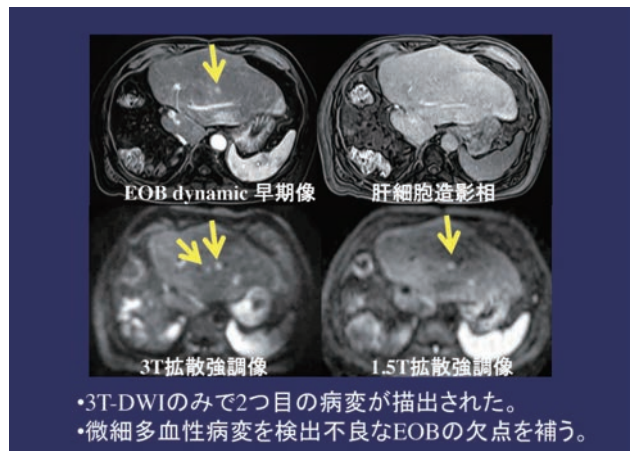


図 1 拡散強調像 HCC 術後再発

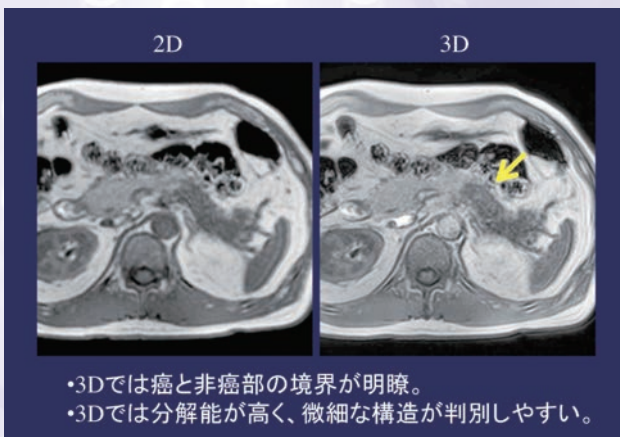


図2 3D-dual echo T1WI 膵体部癌

像では、薄層撮像と in phase および opposed-phase の dual echo 撮像の両立は困難であった。しかし今回、シーケンスの工夫により、T1のコントラストを保ったまま、高分解能 dual echo の撮像が可能になり、微細な構造物の観察ができるようになった。たとえば図2に示す膵体部癌の症例では、2D-T1 強調像で診断可能ではあるものの分解能が低いため境界がわかりにくい。一方 3D-T1 強調像ではきれいに輪郭が描出され、微細な構造物が観察しやすいことがわかる。このように、in phase、opposed-phase の両方を撮影し、なおかつ高分解能であることは臨床において特に必要な機能だと思われる。

◆ True-SSFP の画質改善

True-SSFP の画質については banding artifact などの課題があり、これまで体幹部 3T MRI で最も苦しんできた領域であった。撮像シーケンスを工夫した改良型 True-SSFP では、SAR のレベルを保ったまま TR、TE を短縮し、banding artifact は大幅に減少することが可能となった。肝細胞癌患者における肝右葉後区域切除後の画像(図3)では、従来法と比較すると改良型では banding artifact が消失し、画像全体のコントラストも改善している様子が見られる。

◆ Time-SLIP 法を用いた非造影 MRA

Time-Spatial Labeling Inversion Pulse(Time-SLIP) 法を用いた MRA は 3T の強みを生かした撮影方法であり、選択的に血管が描出できるため血行動態を観察できることが特長である¹⁾。この手法は一般的に Flow-in、Flow-out、Tag-on/off という3法に分かれるが²⁾、今回我々は肝動脈の撮像にあたり、最もシンプルな手法である Flow-in を用いた。撮影シーケンスは True-SSFP を使用した。他の非造影 MRA 手法と異なるのは、空間的にどこをラベリングするかという Tag の設定と、どの時間で撮影したらいいのかという TI の設定が重要なパラメーターになることである。

Time-SLIP 法は、描出したい血液を選択的 IR パルスや非選択的 IR パルスでラベリングし、ある一定の時間においてデータ収集を行うシーケンスである。信号を消去したい領域を設定して血流だけを抽出したり、全体の信号を消去しておいて、Tag を付加したところだけ血流を描出する方法も報告されている²⁾。また BBTI を変えることで、血行動態を見ることもできる。

◆ Time-SLIP 法による非造影肝動脈 MRA

肝動脈の解剖学的評価は、腹部疾患における有効・安全な治療のためには不可欠である。近年では生体肝移植が行われていることもあり、重要性は高まっている。肝動脈の評価には造影 CTA が一般的

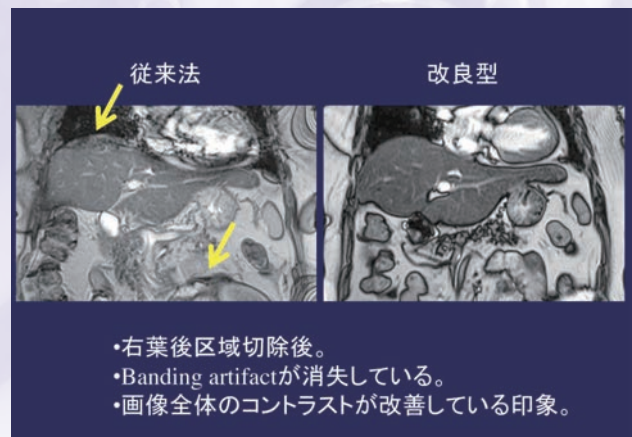


図3 改良型 True-SSFP HCC 術後

- 右葉後区域切除後。
- Banding artifact が消失している。
- 画像全体のコントラストが改善している印象。

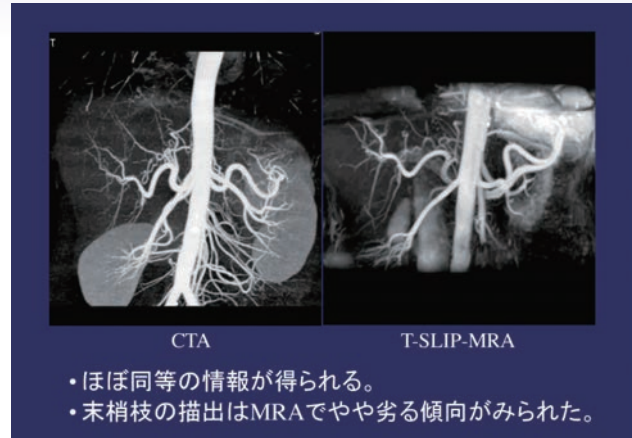


図4 正常分岐例

- ほぼ同等の情報が得られる。
- 末梢枝の描出は MRA でやや劣る傾向がみられた。

に使用されているが、造影剤や被ばくの問題があり、また描出不良例も経験している。我々は高磁場化にともなう 3T MRI のラベリング性能の向上をいかに、Time-SLIP 法による非造影肝動脈 MRA による肝動脈描出能と描出不良の要因について検討を行った。肝胆膵疾患疑いの 101 症例を対象とし、Flow-in 法、3D の True-SSFP 法を用いた。撮像時間は 5～8 分、呼吸同期を行いながら検査を実施した。BBTI については、ボランティアでの検討にて短めの 1,200msec の場合には胆管系や肝静脈が描出され、1,800msec と長めに設定すると下大静脈や門脈が描出されるため、肝動脈を描出するのに最も良好であった 1,500msec とした。

図4に示す正常分岐例では、解剖学的情報という意味では CTA と Time-SLIP-MRA とも、ほぼ同等で良好な画像が得られた。ただ、末梢枝の描出については、CTA と比べて MRA のほうがやや劣る印象であった。また狭窄の強調が Time-SLIP 法でも起こることがわかったが、これは腫瘍の進展範囲を評価するうえでは利点ともなり得ると考えられた。症例によっては胆管の描出がみられ、画像の劣化の原因にもなり得るが、逆に胆管が動脈を圧排している様子が観察できることもあり、症例によっては解剖学的情報が増えるとも考えられる。

我々の検討では、約 90% の症例では Time-SLIP-MRA が臨床で使用可能と考えられた。分岐様式を分類できなかった描出不良例は 9 例であった。描出不良例の背景因子を検討したところ、高齢、不規則な呼吸、肝動脈狭小化/狭窄、動脈硬化性変化、心拡大、画像のアーチファクトなどの因子が見出された。CTA 画像と比較可能であった 41 例のうち、15 例で MRA のほうが描出能は低いと判定されたが、これらはすべて先述の描出不良に関連する因子を複数有する症例で

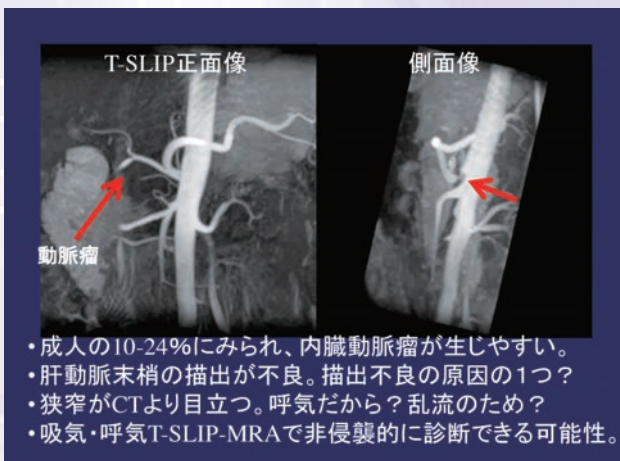


図5 弓状靭帯圧迫症候群

あった。また胆管癌7例中1例および膵癌5例においてencasementが認められ、これはCTAと比べてMRAで強調された。

課題は残っているが、体幹部において非造影でスクリーニング的に使用できる検査という意味では、高磁場MRIの有用性は高いと考えられる。

◆呼吸停止下 Time-SLIP 肝動脈 MRA

上記の描出不良因子の1つである肝動脈狭窄には、内臓動脈瘤が発生しやすい弓状靭帯圧迫症候群という病態が含まれる。今回の検討で我々が経験した弓状靭帯圧迫症候群の症例では、CTAと比較しTime-SLIP-MRAで狭窄が強調され、また、末梢肝動脈の描出が不良である場合が多かった(図5)。この狭窄以外にMRAの描出不良因子がみられない症例が散見され、この病態が非造影MRAの描出不良因子となる可能性が示唆された。CTAでは吸気での息止め、MRAは呼気での息止めで撮影しており、MRAで狭窄が強調される原因は、息止め時相の違いと乱流によるアーチファクトが考えられるが、特定はできていない。

これに対して、現在、息止めTime-SLIP法の開発と検討を行っている。息止め撮像が可能となれば、検査時間の短縮にもつながると期待している。現状では、背景信号の抑制がやや不良でぼけが目立つ症例もあり、呼吸同期に比べると少し画質が悪い印象である。しかし、吸気・呼気で撮影することにより、現状では造影CTAが必須とされる弓状靭帯圧迫症候群の診断を被曝と造影剤投与なしに非侵襲的に行うことが可能となるのではないかと期待している。

◆非造影 MR 灌流画像 (ASL)

非造影MR灌流画像(Arterial Spin Labeling: ASL)も3T MRIのラベリング性能を生かした方法である。これは関心領域の上流側にラベリングパルスを加えた画像とコントロールの画像を差分することにより、非造影で臓器実質内の灌流を画像化するものである³⁾。この方法を肝臓に応用すると、肝尾側にラベリングパルスを加えることで灌流を明瞭に画像化することができた。様々なTIで撮像を行えば血行動態の把握も可能であった。以前EPI法で同様の検討を行った際には不鮮明な画像しか得られなかったが、True-SSFP法を用いることで画質は大幅に向上しており、技術の進化が感じられる領域である。

◆拡散強調画像の新しい画像処理法—cDWI

DWIにおける最適なb値は病態や被検者によって全く異なると考

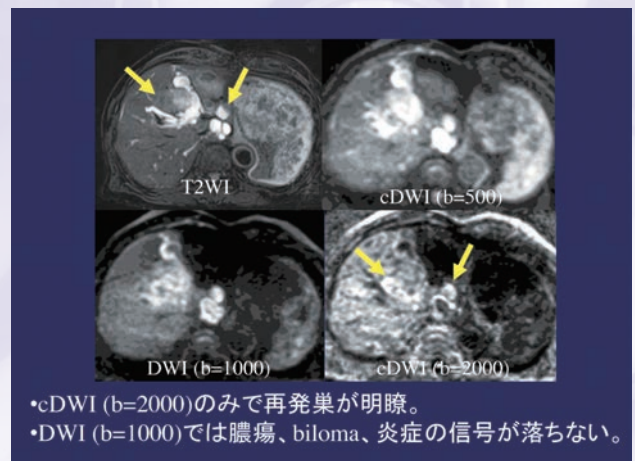


図6 cDWI HCC-TACE後、膿瘍合併

えられる。計算の上で最適なb値であっても、実臨床では嚢胞など液体の信号が消えないなどといった問題が起こることもある。そこで新たな画像処理法であるComputed/Calculated diffusion(cDWI)を用いると、撮像後にb値を変更して画像を再構成することが可能となる。これはもともとDWIBSの画質改善と背景信号抑制を意図して開発された技術で⁴⁾、DWI(b=0)とADC mapによりcDWI画像が作成される。計算時間は非常に短く、汎用のパーソナルコンピュータでも画像作成が可能である。

膿瘍を併発した肝動脈化学塞栓術(TACE)後の肝細胞癌(HCC)の症例(図6)では、T2強調像で胆汁性仮性嚢胞(biloma)か膿瘍、あるいはHCCの再発が疑われるが確証は得られなかった。元のb=1,000で撮像したDWI画像では全体が白くなっており、b=500のcDWI画像を作成しても判別できなかった。ところがb=2,000に上げるとT2強調像で疑われた再発巣のコントラストが高まることかわかる。これまでは膿瘍、biloma、HCCは鑑別が困難という報告が多かったが、この手法によって診断能の向上が期待される。

cDWIでは撮影後にDWIの条件を変更できるため、読影においても非常に有用である。低いb値で再構成すると画質が改善するケースがあり、高いb値で再構成すると質的診断に寄与する可能性があるのが特長であろう。したがって、低磁場MRI装置で撮影した画像や、不規則呼吸などの原因による画質不良時で有用性が期待される。ただし元の撮影条件での灌流の影響は除外できないことに注意が必要である。将来的には読影医がウインドウ幅、ウインドウレベルを読影端末上で変更できるような運用方法が理想的だと思われる。

まとめ

体幹部3T MRIは近年非常に進歩しており、腹部ルーチン検査としても1.5T MRIを凌駕しつつある。さらに高磁場を生かした様々な新しい撮影方法も開発されてきていることから、腹部3T MRIは今後ますます普及していくと考えられる。

<文献>

- 1) Miyazaki M et al: Non-contrast-enhanced MR angiography of the abdomen. Eur J Radiol 80(1): 9-23, 2011
- 2) 山下裕市: 造影剤を用いない選択的なMRA Time-SLIP法. Innervation 21(9): 64-65, 2006
- 3) 木村徳典: Modified STAR using asymmetric inversion slabs(ASTAR)法による非侵襲血流イメージング. 日本磁気共鳴医学会誌 20(8): 374-385, 2000
- 4) Blackledge MD et al: Computed diffusion-weighted MR imaging may improve tumor detection. Radiology 261(2): 573-581, 2011