

Patient Friendly MRI : MRA 最新技術と臨床応用

第44回日本医学放射線学会秋期臨床大会が2008年10月22日(水)～24日(金)の3日間、福島県郡山市において開催された。10月22日(水)に行われた東芝メディカルシステムズ(株)共催のランチョンセミナーでは、東北大学大学院医学系研究科医科学専攻内科病態学講座・量子診断学分野の高橋昭喜氏が座長を務め、Toshiba Medical Research Institute USAの宮崎美津恵氏と杏林大学医学部放射線医学教室の土屋一洋氏の2名が講演を行った

講演 1

State of the art : MRA アプリケーションの最新動向

宮崎美津恵

Toshiba Medical Research Institute USA

非造影MRAは日本発の撮像法であり、いまや世界各国で研究が進められている。その手法にはさまざまなものがあるが、TOF法やPS法が原点となり、近年ではFBI法やBalanced-SSFP法、TrueSSFP法、さらにはTime-SLIP法やFSBB法(89～91P参照)などの新しい技術が登場している。ISMRM 2006で発表された、下肢閉塞性動脈硬化症(ASO) 13例における50%以上の有意狭窄に関する非造影MRAとCTA(16列MSCT)の診断能の比較¹⁾においても、診断精度は95%以上と、CTAと遜色のない結果が得られている(図1)。本講演では、最新技術を中心に、非造影MRAがめざす方向性について紹介する。

Time-SLIP法の原理と有用性

●選択的非造影MRA:Time-SLIP法 Time-SLIP(Time Spatial Labeling

Inversion Pulse)法は、ASL(Arterial Spin Labeling)法を用いた最先端の非造影MRA技術であり、血液を内因性造影剤に見立てるSpin Labeling手法を用いることで、血管の選択的描出が可能になる。具体的には、描出したい部位にタグ(Tag)付けをし、さらにTI(Null Point)設定によって背景信号や特定のT1値を持った血液信号を抑制することで、対象血管が描出できる(図2)。これにより、非造影によるさまざまな血管の選択的な描出や動静脈分離のほか、TI時間を変えていくことで、生理的な血行動態機能の描出も可能である。

●Time-SLIP法による血管の評価

図3は、血管描出の選択性の実例である。タグ付けしていない画像(Tag OFF)では、血液およびT2緩和時間の

長い組織がすべて高信号に描出されるが、タグ付けする(Tag ON)ことで、肝動脈、肝静脈、門脈、腎動脈がそれぞれ特異的に描出されている。また、図4のように、非造影で第三分枝や腎臓の中の血管まで明瞭に描出することもできる。図5の、Time-SLIP法とTrueSSFP法による腎動脈MRA 26症例に対する、CTAおよびX線DSAとの診断能の比較²⁾では、実臨床でも使用可能と考えられる結果が得られている。

図6は、Time-SLIP法による頸部血管の狭窄評価である。通常、TOF法を用いると、どうしてもスライス方向に流れる血流が欠損してしまうが、Balanced-SSFP法やTrueSSFP法では方向の依存性がなく、分枝を明瞭に描出することができる。また、造影MRAとTime-SLIP法を用いた非造影MRAと

Flow-Spoiled FBI法による下肢ASO 13例
50%以上の有意狭窄について、CTAに対する診断能を比較

Performance of FBI compared with CTA

	Sensitivity	Specificity	Positive Predictive Value	Negative Predictive Value	Accuracy
Aortoiliac	100	96	90	100	97
Femoral	85	98	85	98	96
Popliteocrural	100	93	80	100	95
Total	97	96	88	99	96

図1 非造影MRAの臨床実績¹⁾

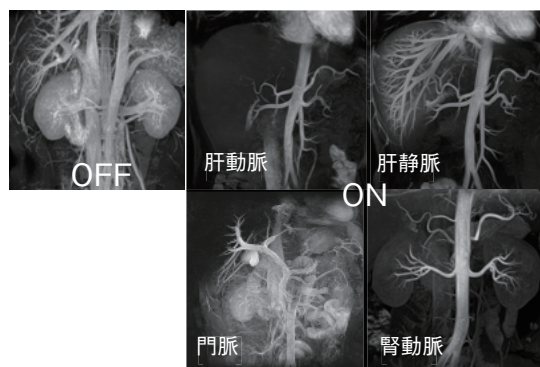


図3 血管描出の選択性の実例

Inversionpulseで描出をコントロール

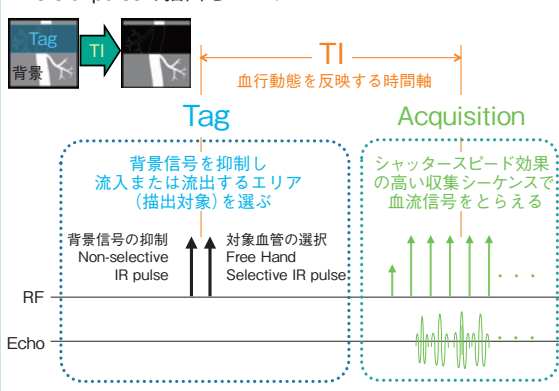
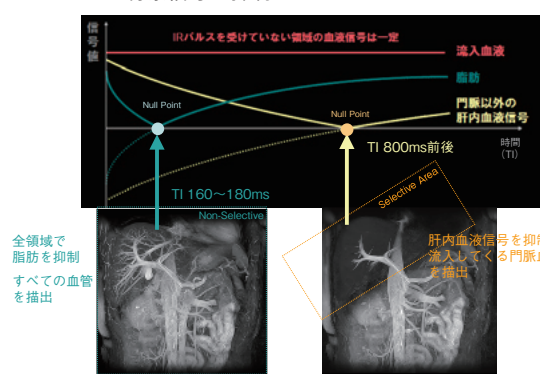
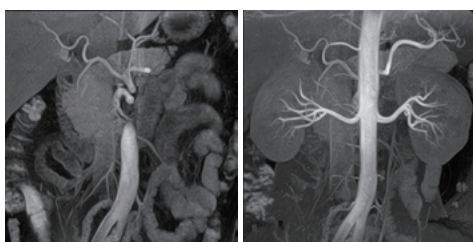


図2 Time-SLIP法の原理

Null Pointで背景信号を抑制



正常腎動脈



STAM

MIP

図4 非造影MRAによる分枝動脈の描出

Time-SLIP TrueSSFPによる腎動脈MRA症例 26例
CTA, X線DSAに対する診断能を比較

Diagnostic Accuracy for Non-Contrast MRA

	Sensitivity	Specificity	Positive Predictive Value	Negative Predictive Value
Right Renal Artery	5/5 (100%)	19/23 (83%)	5/9 (56%)	19/19 (100%)
Left Renal Artery	2/4 (50%)	24/24 (100%)	2/2 (100%)	24/26 (92%)
Overall	7/9 (78%)	43/47 (91%)	7/11 (64%)	43/45 (96%)

図5 腎動脈狭窄の臨床評価²⁾

の比較では、TOF法よりも乱流の影響を受けずに狭窄部位が描出可能である。

アダムキュービッツ動脈は、MRIで撮像するのは非常に難しく、CTで撮像するのが一般的である。しかし、Time-SLIP法では非造影でありながら一部が描出されており(図7)、臨床応用への可能性が感じられる。

●生理的な血行動態の評価

門脈狭窄のPTA術後の経過観察症例などにも、Time-SLIP法を用いるこ

とができる。狭窄部にタグ付けすれば、術後に血行が再開している様子がきちんと評価できるため、非造影での経過観察が可能になる。

図8は、肺動脈の非造影パーフュージョン画像である。図8bではTI時間を800msとして心臓にタグ付けし、図8cでは、TIを1700msにすることで、タグ付けされた血液が肺の末梢まで流れていく様子がわかる。

非造影MRAにさらなる向上をもたらす新技術

最近では、シーケンスの多様化や、よりSNRの高いRFコイルの開発、レシーバーチャンネルの多様化、装置の高磁場化、画像処理における定量解析などによって、Time-SLIP法のさまざまな臨床応用が可能になっている。

例えば、タグとTI時間については、2つのタグ付けを行う“Double Tag

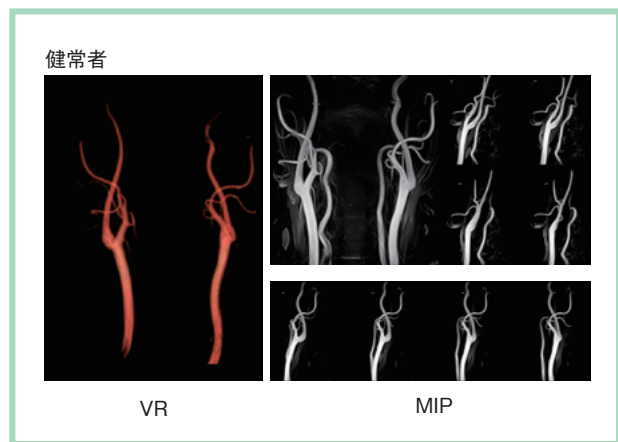


図6 頸部血管の狭窄評価

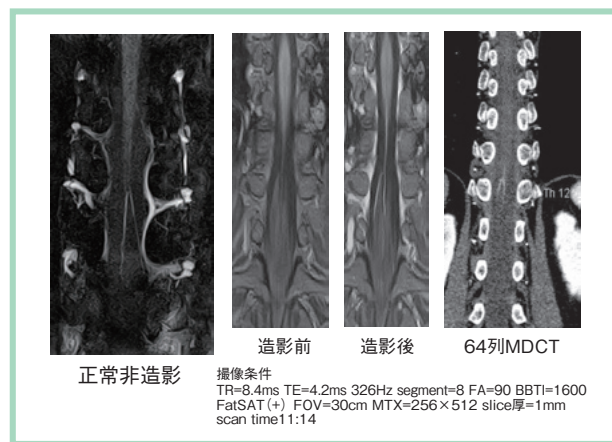
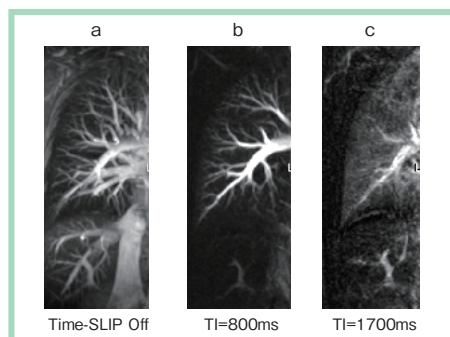
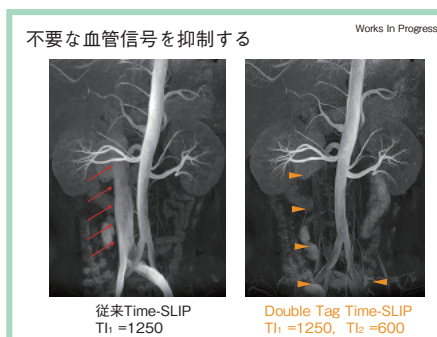
図7 アダムキュービッツ動脈の評価
(画像ご提供：済生会熊本病院・野満洋平氏)図8 非造影肺パーフュージョン
(画像ご提供：熊本セントラル病院・立石文明氏)

図9 Double Tag Time-SLIP (W.I.P.)

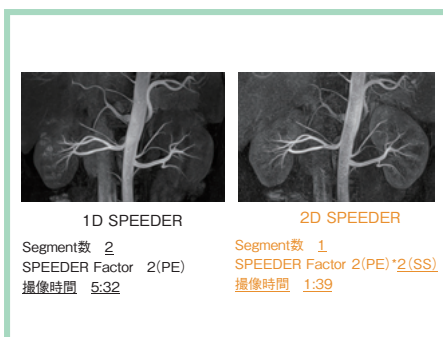
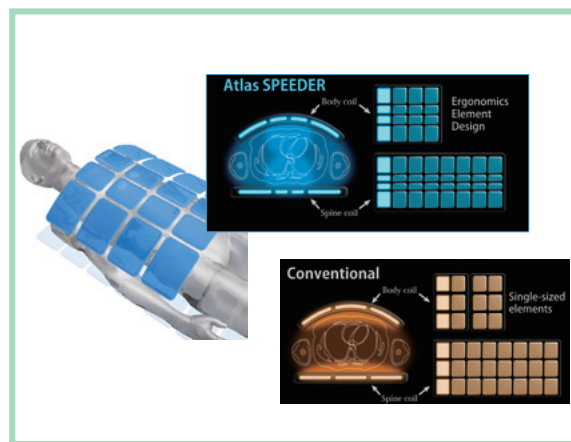
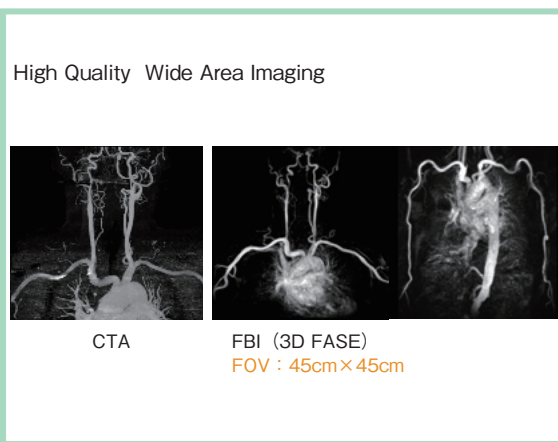


図11 パラレルイメージングによる、さらなる撮像時間短縮

図10 Atlas SPEEDER Coilを用いた非造影MRA
(画像ご提供(右)：共愛会戸畑共立病院画像診断センター山本晃義氏，中村克己氏)

Time-SLIP” (W.I.P.) によって、部分的に静脈を消して動脈のみを表示することが可能である (図9)。また、通常のコイルは同じサイズのエレメントが配列されているが、当社の Atlas SPEEDER Coil では、中央を小さなコイル、体側部分を大きなコイルにすることで、相乗効果によって高SNRを得ることができる (図10)。さらに、コイルの多様化によ

て、パラレルイメージングのファクターを上げることが可能になり、撮像時間の短縮化が図られた (図11)。心臓への応用も期待されており、32チャンネルコイルで、SPEEDER Factor を5倍 (位相エンコード2.5倍、スライス方向2倍) に速度を上げて、高信号に冠動脈を描出することが可能である。

このように、日本で始まった非造影

MRA は、さらなる広がりを見せている。

●引用文献

- 1) 中村克己：Fresh blood imaging (FBI) of peripheral arteries ; Comparison with 16-detector row CT angiography. ISMRM Cardiovascular Poster Award, 2006.
- 2) 宇都宮大輔：Clinical role of non-contrast MRA for evaluation of renal artery stenosis. *Circulation Journal*, **72**, 1627～1630, 2008.

講演2

頭部のMRAの新たな展開： FSBBとHOP-MRAで脳血管疾患に迫る

土屋 一洋

杏林大学医学部放射線医学教室

本講演では、FSBB (Flow-Sensitive Black Blood) 法ならびにHOP-MRA (Hybrid of OPposite-contrast MRA) について、それぞれの原理や演者の施設における臨床経験とその応用などについて解説する。

FSBB法とは何か？

●磁化率強調画像との違い

磁化率強調画像 (Susceptibility-Weighted Imaginig) は、血液の分解産物や鉄の描出に優れるほか、deoxy-Hbの常磁性に基づいて静脈を描出するvenographyとしての役割もあることが知られている。磁化率強調画像では基本的に、flow rephasingにより血流の信号は抑制される。

われわれは、虚血性脳血管障害の症例に磁化率強調画像を用いる中で、動静脈の信号をより積極的に低信号として描出することで、新たな情報が得られるのではないかと考えた。そこで、両者の信号を恣意的に低減させるために、ボクセル内のスピン位相の分散を強調するdephasingシーケンスを加えるblack blood撮像法を考案した。これが、FSBB法である。1.5T MRI「東芝社製EXCELART XGS」による標準的な撮像法を図1に示す。

われわれは、正常ボランティア (3名) と虚血性脳血管障害患者 (15例) において、血管系の描出状況や閉塞・狭窄所見、SPECTとの比較などを行った。図2に、正常ボランティアの磁化率強調

画像 (右) とFSBB (左) の画像を示す。磁化率強調画像にdephaseを加えることによって、動脈の分枝レベルや深部静脈を非常に低信号に描出することができる。

●FSBBの実地臨床応用

上記の虚血性脳血管障害患者15例におけるFSBBの血管系描出能は、慢性期11例中9例、急性期4例中2例で良好という結果が得られている。FSBBによって、内頸動脈や中大脳動脈の遠位の灌流領域血管がよく描出されている。

図3は、中大脳動脈閉塞慢性期の患者で、time-of-flight (TOF)法MRAでは病変の末梢血管がほとんど描出されない症例である。FLAIR像 (図3a 中、右) では、閉塞血管の領域に対応する虚血

- ・1.5T装置 (EXCELART XGS), 5chコイル
- ・3D-FE法 (TR/TE/FA = 50ms/40ms/20°), FOV = 22cm
撮像マトリクス = 320×320, slab厚 = 0.75×60mm (2倍補間後), SPEEDER factor = 2
撮像時間 = 4:16
- ・dephasing用傾斜磁場 (b-factor = 4s/mm²)

図1 FSBB法の標準的撮像法

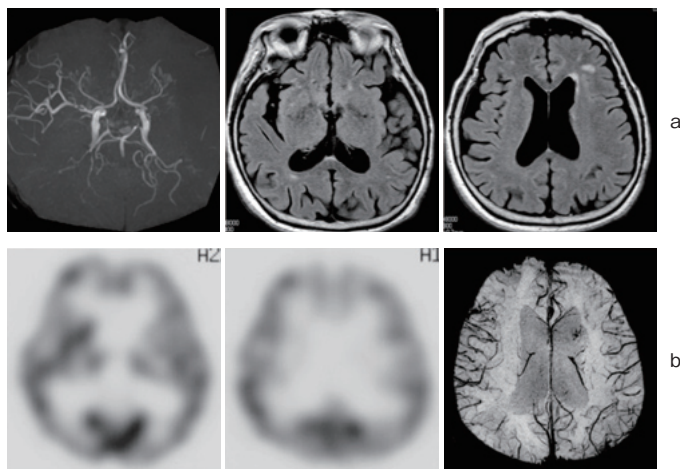
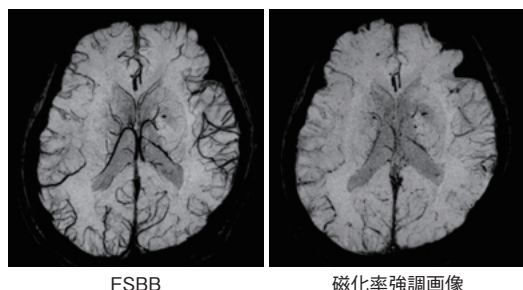
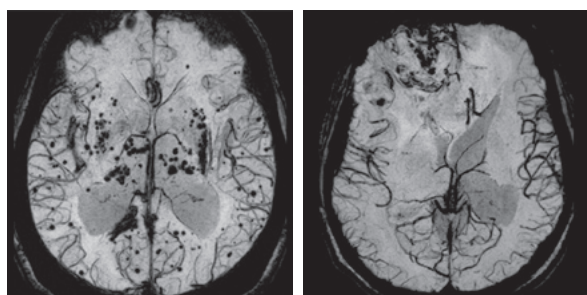


図3 中大脳動脈閉塞慢性期 (74歳、女性)

- a: MRA (左) で左中大脳動脈が閉塞している。FLAIR像 (中、右) では、左中大脳動脈の閉塞に起因する虚血病変はわずかである。
- b: MRIに対応するSPECT所見 (左、中) で、側副血行の発達を示唆される。FSBB (右) では、側副血行による左中大脳動脈分枝の描出が良好で、SPECT所見に合致する。

図2 正常ボランティア

FSBB法ではrephasingシーケンスに比し、血管構造全般の低信号が明瞭である。



62歳, 女性
多発性海綿状血管腫

41歳, 女性
膠芽腫

図4 FSBBの海綿状血管腫や膠芽腫への応用

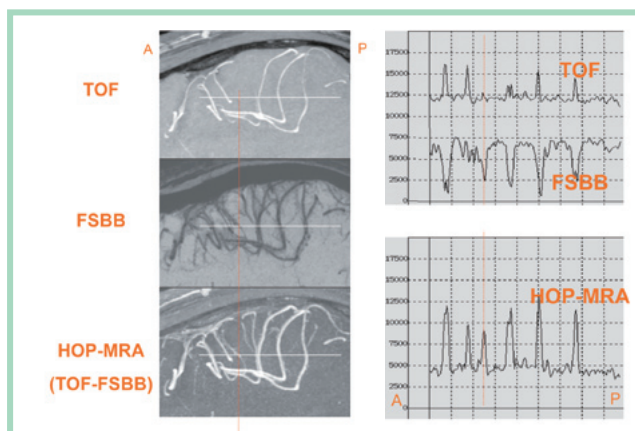


図6 HOP-MRAの原理

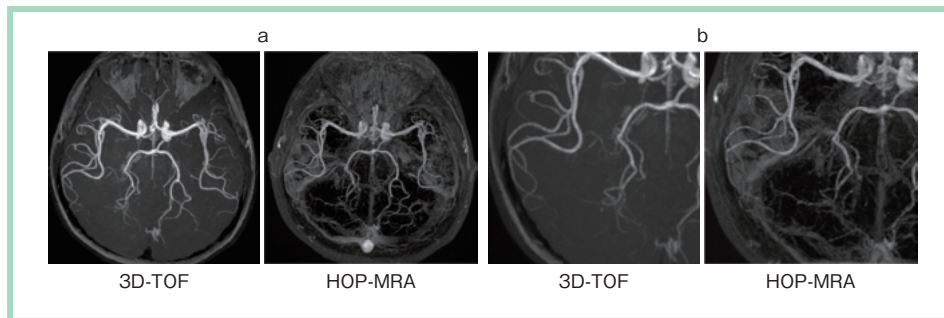


図8 正常ボランティア群での主幹動脈の描出状況 (21歳, 女性)
b: aの拡大像

病変はわずかししか認められない。SPECT (図3b 左, 中) でも同様の所見である。FSBB (図3b 右) では左右差がほとんど認められず, 良好な側副血行が描出されていると考えられる。SPECT所見 (図3b 左, 中) とも合致している。

FSBBは磁化率強調画像の基本的性格は維持しているため, 血管系病変だけでなく海綿状血管腫や膠芽腫においても, 微細な出血成分や一部の拡張血管を低信号に描出することができる (図4)。また, 急性期には血栓や皮質/

深部静脈の信号増強, 血栓をとらえることができ, 急性期・慢性期とも, 動脈分枝の開存状況が把握できる。ただし, 動静脈ともに低信号に描出されるため, 形態による判別が必要であること, 撮像時間と範囲の制限や後処理の時間がかかることなどが課題と言える。

●FSBBの応用的撮像

FSBBは, 非常に微細な血管の描出能に優れているため, 冠状断撮像によって中大脳動脈の穿通枝, 特に外側線状体動脈 (LSA) の描出に応用できる。

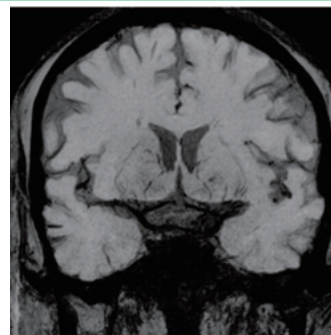


図5 40歳, 正常男性のFSBB

EXCELART Vantage powered by Atlasでの画像
(TR/TE/FA=35/20/20, b=4s/mm², SPEED-ER=2, voxel size=0.4×0.4×0.4mm, partial MinIP=6.4mm)

- ・1.5T装置 (EXCELART XGS)
- ・3D-FE法
TR/TE1/TE2/FA=50ms/6.5ms/40ms/20°
または
TR/TE1/TE2/FA=34.1ms/6.5ms/27ms/20°
FOV=20×20 cm, matrix=192×240,
slab厚=70mm, partition=1mm, NEX=1,
SPEEDER factor=2, scan time=4min 9s
- ・Double echo
第1エコー: 3D-TOF (MTCパルス併用なし)
第2エコー: FSBB (b-factor=2s/mm²の
dephase用傾斜磁場を印加)

図7 HOP-MRAの標準的撮像法

図5のように, レンズ核線状体動脈が非常に明瞭に描出されている。このような症例が徐々に蓄積されており, ある程度発症前にラクナ梗塞などの可能性を予知できるのでないかと期待されている。

HOP-MRA

●HOP-MRAとは何か?

HOP-MRAは, 3D-TOF法での動脈信号とFSBB元画像の血管信号の組み合わせにより, 末梢動脈の描出能を向上させる撮像法である。われわれは,

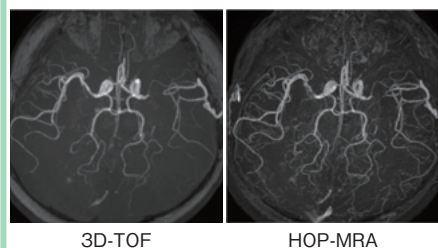


図9 左中大脳動脈狭窄に対する
STA-MCA バイパス術後 (47歳, 女性)

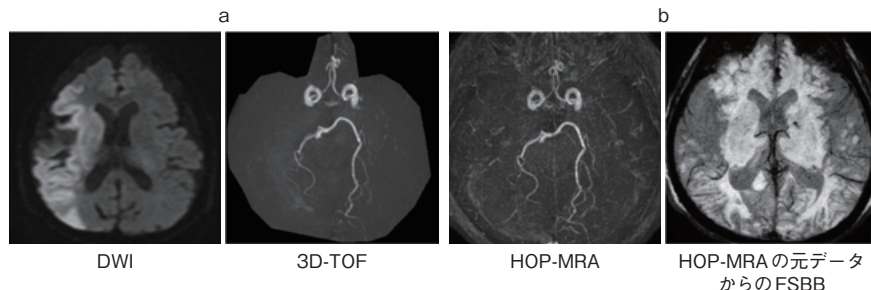


図10 左片麻痺発症2時間後 (78歳, 女性)

3D-TOF法の高信号からFSBBの低信号をサブトラクションすることを考案した(図6)。差分後、MIP処理を行い、通常のMRAと同じ画像を作成する。

図7に標準的な撮像法を示す。撮像時間の延長を防ぐため、ダブルエコーで撮像している。

● HOP-MRAの実地臨床応用

HOP-MRAでもFSBBと同様、正常ボランティア(3名)と虚血性脳血管障害患者(19例)で描出能の検討を行った。図8aに、正常ボランティアの3D-TOF(左)とHOP-MRA(右)を示す。拡大してみると(図8b)、中大脳動脈や後大脳動脈の枝分信号が3D-TOF(左)ではわずかにしか描出されていないことが明らかである。このようにHOP-MRAは、主幹動脈末梢の描出能が向上する。ただし、脳表・深部静脈や静脈洞の信号も描出される。

一方、頭蓋底の諸構造からの信号が同時に描出されたり、頭蓋内の背景(無血管域)に雑音のような信号が見られる。profile曲線で比較し定量的に評価してみると、HOP-MRAでは中大脳動脈分枝以外からの信号が有意に多いことが判明し、最近ローパスフィルタ処理を加えるよう工夫している。

疾患群での主幹動脈における3D-TOFと比較したHOP-MRAの描出能は、閉塞・狭窄の末梢の描出能が向上した例が19例中12例、バイパス自体の描出能の向上(図9)が4例中2例であった。また、モヤモヤ病での臨床的有用性を検討したところ、前/中/後大脳動脈末梢の描出能が向上した例は16検査中13例、虚血病変と良好に対

応した例が16検査中10例、SPECTと良好に対応した例が7例中6例であった。同一範囲なら、3D-TOFと同じ撮像時間で末梢動脈描出能を向上可能で、後処理にも手間や時間がかからない。また、モヤモヤ病の多くで、3D-TOFでは評価困難な末梢分枝が描出でき、DSAに近い形態情報が得られる。これにより、MRIやSPECT所見により対応する血管情報が無侵襲に取得できる。バイパス術後の経過観察にも有用である。

最近の左片麻痺発症直後の症例を提示する。3D-TOF(図10a右)では、両側の中大脳動脈が描出されていない。HOP-MRA(図10b左)では、左側はわずかに描出され、側副血行路が形成されていることがわかる。HOP-MRAのデータからFSBB(図10b右)を作成すると、右側は動静脈がかなり乏しいことが認められ、拡散強調画像(図10a左)の異常信号に対応する所見である。このような使い方も現在検討中である。

まとめ

FSBBは本来の磁化率強調画像としての血栓や静脈の信号増強などの描出に加え、虚血域への側副血行の情報をもたす点で、主幹動脈の閉塞・狭窄病変の診断に有望である。

HOP-MRAは主幹動脈の閉塞・狭窄病変の末梢部の評価に有用で、新たな頭部MRAの撮像法と言える。

これらの撮像法は、脳血管疾患の病態把握における新しい非侵襲的なMRI技術として注目される。

座長

高橋 昭喜

東北大学大学院医学系研究科医科専攻
内科病態学講座・量子診断学分野教授

宮崎美津恵

Senior Scientist, MRI Manager of
Advanced Clinical Research, Toshiba
Medical Research Institute USA

1988年、イリノイ大学院博士課程修了。
同大学医学部放射線科。91年、東芝入社。
MRIの研究・開発に従事し、96～98年、
非造影MRA技術であるFresh Blood
Imaging(FBI)を開発。Toshiba
America Medical Systems社駐在を経て、
2008年から現職。

土屋 一洋

杏林大学医学部放射線医学教室准教授

1980年、北海道大学医学部卒業。東京
大学医学部放射線科研修医。81年、
東京大学医学部放射線科助手。84年、
公立昭和病院放射線科科長。85年、防
衛医科大学放射線医学教室助手。
93年、杏林大学放射線医学教室講師を
経て、2000年から現職。