

脳虚血症例における磁化率強調位相画像と 非造影灌流強調画像の対比 —3T MRIによる初期検討—

山下栄二郎^{1,2}, 金崎佳子², 藤井進也², 田中拓郎¹,
崎本翔太¹, 平田吉春¹, 小川敏英²

¹鳥取大学医学部附属病院放射線部 ²同医学部病態解析医学講座医用放射線学分野

はじめに

近年, Haacke らによって提唱された susceptibility-weighted imaging (SWI) は^{1,2)}, 各 MR 装置メーカーより同等あるいは類似の撮像法が提供され, 中枢神経領域を中心に本法の有用性を示す報告が数多くなされている^{2)~8)}. 当院で用いている磁化率強調位相画像 (phase-sensitive image: PSI) も, 撮像法および画像処理を含め Haacke らの方法と基本原理はほぼ同じである. すなわち, 高分解能 gradient recalled echo (GRE) 法から作成された強度画像に, 磁化率差異による位相成分の変化を用いた位相マスク処理をして, さらに組織コントラストを強調した画像である. そのため, 従来の T_2^* 強調画像に比べ磁化率変化に鋭敏で, より微細な出血や静脈構造などの描出も可能であり, 灌流測定に用いられる blood-oxygen level dependent (BOLD) 効果も反映していると考えられている^{9)~11)}. 当院では, 脳虚血症例に対し PSI の撮像を施行しているが, しばしば灌流障害が疑われる領域に一致して静脈の増強象を示す知見を得ている. この新たな知見についての報告は

見られるものの, 実際の灌流画像と対比した具体的な報告は少ない.

一方, arterial spin labeling (ASL) の一手法である flow sensitive alternating inversion recovery (FAIR) 法は, 血液のプロトンを生体内造影剤として用いる非造影灌流画像であり, 非侵襲的に繰り返し施行することが可能な簡便法として提唱されている^{12),13)}. また, 既に造影剤を用いた dynamic susceptibility contrast-perfusion weighted imaging (DSC-PWI) や脳血流シンチグラムによる灌流異常と良好な相関を示したとする報告もなされている^{14),15)}.

今回, 我々は, PSI でみられる静脈の増強象は, 灌流異常領域における BOLD 効果によると考え, 磁化率効果と S/N 比が向上した 3T MRI 装置を用いて, この所見と FAIR 法による灌流異常領域の対比検討を行ったので報告する.

方 法

4 例の脳虚血症例を対象に MRI を施行した. MRI 装置は GE 社 Signa Excite HD 3T でコイ

キーワード phase-sensitive image (PSI), flow sensitive alternating inversion recovery (FAIR), ischemic stroke, blood-oxygen-level-dependent (BOLD), 3 tesla MR

ルは 8ch head coil を用いた。脳虚血に対する通常の MRI 検査に加え PSI および FAIR 法による灌流画像を追加した。PSI は、TR/TE/FA/matrix/FOV/slice thickness=50 ms/30 ms/15°/512×196/210 mm/1.5 mm である。また、位相画像にフィルターサイズを 64×64 としたマスク処理を作成し、強度画像に 4 回掛け合わせ、得られた画像を 10 mm 厚の最小値投影法で再構成をした。FAIR 法は TR/TE/TI/matrix/FOV/slice thickness/gap=2000 ms/20 ms/1200 ms/64×64/230 mm/7 mm/3 mm である。なお、本撮像に際してはあらかじめ患者またはその家族より同意を得た。

症例提示

1. 62 歳，男性 急性期アテローム血栓性脳梗塞

一過性の運動性失語で入院中に、失語、右片麻痺が出現し、緊急 MRI を施行した。MRA で、左中大脳動脈水平部の閉塞が認められた。拡散強調画像では、左被殻外側、前障から放射冠にかけて広がる高信号域を認め、このほか中大脳動脈皮質枝末梢領域にも点状の高信号域を認めた。外側線状体動脈および皮質枝末梢領域の急性期アテローム血栓性脳梗塞を疑った。PSI では、左中大脳動脈領域に一致して皮質静脈および髄質静脈の増強像が認められ、FAIR 法による灌流画像では、同様の左中大脳動脈領域に一致して低灌流域が認められた (Fig. 1)。

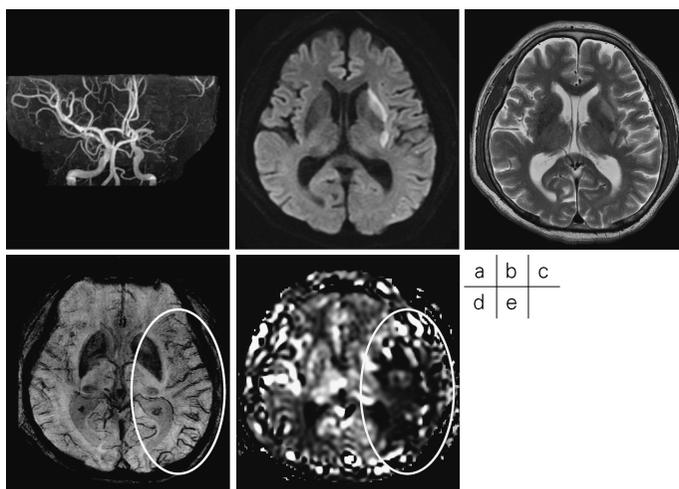


Fig. 1. Case1. 62-year-old man with acute atherothrombotic infarction
 a: MRA obtained 6 hours after the onset shows occlusion of the left middle cerebral artery trunk. b, c: DWI and T₂WI show hyperintense area of left lateral lenticulostriate artery territory. d, e: PSI shows increased contrast of cortical veins in the left cerebral hemisphere (circle) in which FAIR image shows hypoperfusion (circle).

2. 56歳，男性 急性期アテローム血栓性脳梗塞

左不全麻痺を主訴に来院。来院時，左不全片麻痺，左顔面神経麻痺，左視空間無視，見当識障害を認めた。脳梗塞の精査および治療のため入院し，頭部 MRI を施行した。MRA で右中大脳動脈起始部の閉塞が認められた。拡散強調画像では，右尾状核，被殻，淡蒼球外節，無名質，前交連右側の右外側線条体動脈領域に高信号域が広がり，右中大脳動脈領域の前頭葉，側頭葉，頭頂葉皮質から皮質下白質にも高信号域が散在性に認められた。PSI では，右中大脳動脈領域全域において皮質静脈および髄質静脈の増強像が認められ，FAIR 法による灌流画像では，同一領域に一致して低灌流域が認められた (Fig. 2)。

3. 73歳，女性 一過性脳虚血発作

繰り返す左手の脱力発作および呂律の回りにくさを自覚し来院。来院時に明らかな局所神経学的所見は認めなかった。頭部 CT で，右中大

脳動脈水平部に石灰化が認められた。MRA で右中大脳動脈水平部遠位に高度狭窄が認められ，右中大脳動脈末梢の描出は左側に比べて全体にやや低下していた。拡散強調画像では明らかな新鮮梗塞を認めなかったが，PSI では右中大脳動脈領域において，左側に比べて皮質静脈の増強像が認められた。FAIR 法による灌流画像では，同一領域に低灌流域が認められた (Fig. 3)。

4. 9歳，女児 もやもや病

一週間前より嘔吐が続き，腸感冒薬で改善せず近医を受診した。頭部 CT で両側側脳室と第4脳室に出血が認められ，当院へ搬送された。搬送時，項部硬直あるも，意識清明で他に神経症状を認めなかった。精査のための頭部 MRI 検査移動時に右下肢麻痺出現を自覚。MRA で両側内頸動脈終末部から中大脳動脈近位に高度狭窄を認め，もやもや血管の描出が左側優位に認められた。左中大脳動脈水平部は全般に狭窄し左後大脳動脈の迂回槽部や前大脳動脈にも狭

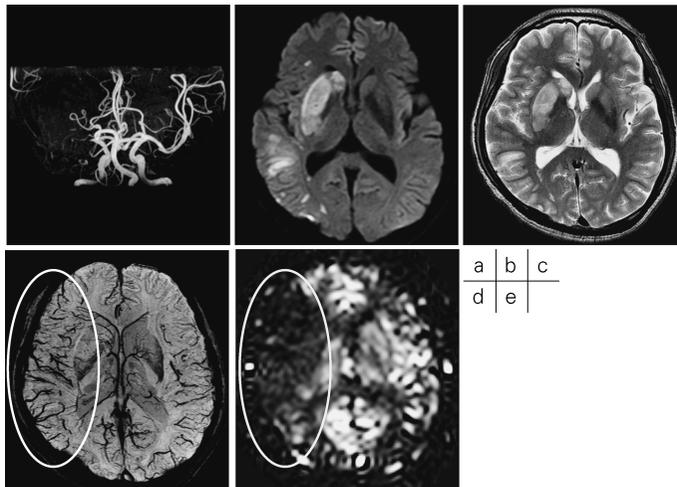


Fig. 2. Case 2. 56-year-old man with acute atherothrombotic infarction a: MRA obtained 20 hours after the onset shows occlusion of the right middle cerebral artery. b, c: DWI and T₂WI show hyperintensity of the right middle cerebral artery territory. d, e: PSI image shows increased contrast of cortical and medullary veins in the cerebral hemisphere (circle) in which FAIR shows hypoperfusion (circle).

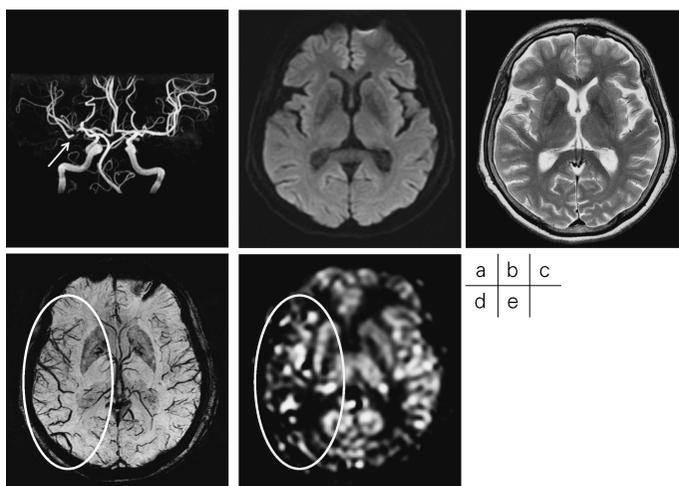


Fig. 3. Case 3. 73-year-old woman with transient ischemic attack
 a: MRA obtained 2 days after the onset shows severe stenosis of the right middle cerebral artery (arrow). b, c: DWI and T2WI show no evidence of abnormalities. d, e: PSI shows increased contrast of cortical vein in the cerebral hemisphere (circle) in which FAIR shows hypoperfusion (circle).

窄を認め、皮質枝の描出は全体に右側より低下していた。側脳室内に出血を認めるほか、拡散強調画像で左前頭葉や半卵円中心、左側脳室三角部近傍深部白質に高信号域を認め、急性期脳梗塞を生じていた。PSIでは、右大脳半球と比べると左大脳半球では髓質静脈と皮質静脈の増強像がわずかながら目立ち、FAIR法による灌流画像では、同一領域に低灌流域が認められた (Fig. 4)。

考 察

我々の急性期脳虚血症例の検討では、PSIで皮質静脈や髓質静脈の増強像をしばしば認め、その所見は主に主幹動脈の閉塞の場合に観察された^{3),4)}。通常、MRIで測定される毛細血管ないし静脈内のoxyhemoglobinの比率は、酸素摂取率、脳酸素消費量の影響を受けると言われている¹⁶⁾。しかしながら、通常のT₂強調画像では静脈の拡張所見は認められない。したがっ

てPSIにおける静脈の増強像は、静脈そのものの拡張というより、脳虚血領域における還流静脈中のoxyhemoglobinの減少とdeoxyhemoglobinの増加を反映したBOLD効果によると考えられる。

今回、我々は2例の急性期脳梗塞、1例の一過性脳虚血発作、そして1例のもやもや病の計4症例においてPSIおよび非造影灌流画像であるFAIR画像を撮影し、対比を行った。その結果、FAIR画像で観察される低灌流領域に一致してPSIで皮質静脈や髓質静脈の増強像が認められた。このことより、PSIにおける静脈の信号の増強は、脳血流量が低下した領域において酸素摂取率が上昇し、それに伴って増加した静脈血中のdeoxyhemoglobinを反映したBOLD効果によるものとする仮説に合致するものであった。次に、一過性脳虚血発作症例では、拡散強調画像で異常が検出されない領域においてもPSIとFAIR画像は同一領域の異常所見を示した。これは、拡散強調画像が灌流異

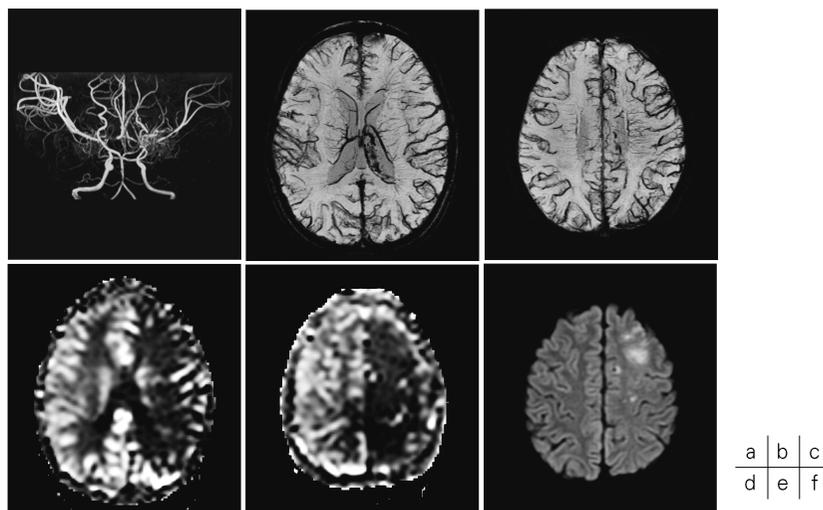


Fig. 4. Case 4. 9-year-old girl with Moyamoya disease
 a: MRA shows severe stenosis of terminal portion of bilateral internal carotid arteries and left middle cerebral artery. Moyamoya vessels are also visualized in the bilateral basal ganglionic areas. b, c: PSI shows increased contrast of medullary and cortical veins in the both cerebral hemispheres. In particular, medullary arteries are prominent in the left cerebral hemisphere. d, e: FAIR shows hypoperfusion in the left middle cerebral artery territory. f: DWI shows hyperintensities in the borderzone of left anterior and middle cerebral arteries.

常によって生じた非可逆的な変化を示す細胞性浮腫を反映しているのに対し、PSIは酸素摂取率に関連した信号を示し、FAIR法は灌流異常そのものを反映していることによると考えられる。さらに、これらのことにより両撮像法によれば、酸素摂取率と灌流異常との関連について慎重な判断が必要ではあるものの、可逆的な虚血領域の存在を評価できる可能性が示唆された。今回は少数例の検討ではあるが、PSIは拡散強調画像では描出されない、すなわち梗塞に陥っていない領域を含めた灌流異常も評価し得る、有用な手法であることが示唆された。また、再開通後に静脈の増強像が正常化する症例もあり、経過観察にも有用と思われる。一方、FAIR法による灌流画像は、3T MRIの高いS/Nによって従来装置と比べかなり画質改善がなされており、正確な灌流異常域の評価が可能

となってきた。さらに今後は、選択的な血管の標識も可能となってきたため¹⁷⁾、より詳細な知見を取得できる可能性も示唆される。

PSIは、新たなコントラストを得る手法として注目を集め、本院でも脳虚血症例を中心に積極的に用いている。しかし、少なからず課題も残されている。まず、第一に、これまでのT₂*強調画像での報告から、磁化率強調画像での皮質静脈、髄質静脈の増強像は misery perfusionあるいは可逆的な領域である penumbra の存在を示唆しており^{18),19)}、PSIでも同様の機序が考えられるが、現時点では脳虚血急性期における血栓溶解療法の適応や予後との関連性は確認されていない。第二に、当院のPSIの撮像時間では、脳全体の1/2をカバーする範囲で7分程度要し、撮像時間の長さから体動も生じや

すい。したがって血栓溶解療法の判断基準の一つとして用いられている diffusion-perfusion mismatch の代替画像となり得たとしても、さらに撮像時間の短縮など撮像法に工夫が必要である。最後に、症例4に示したもやもや病においては、FAIR法では、到達時間の違いによる低灌流域を過大評価する場合があります、一方PSIでは、撮像条件や磁場強度により正常でも静脈の増強像は異なるため、本症例のような両側病変の評価に際しては、これら両者の画像を相補的に用いるなど注意深い読影が必要である。

結 語

PSIにおける皮質静脈あるいは髄質静脈の増強領域に一致して、FAIR法による灌流画像では灌流異常が生じていることが確認できた。PSIにおける皮質静脈や髄質静脈の増強は低灌流領域のBOLD効果によると考えられる。

謝 辞

共同研究として、PSI並びにFAIR法の研究用ソフトウェアをご提供いただいたGE横河メディカルシステム社に深謝いたします。

文 献

- 1) Haacke EM, Xu Y, Cheng YC, et al.: Susceptibility weighted imaging (SWI). *Magn Reson Med* 2004; 52: 612-618
- 2) Sehgal V, Delproposito Z, Haacke EM, et al.: Clinical applications of neuroimaging with susceptibility-weighted imaging. *J Magn Reson Imaging* 2005; 22: 439-450
- 3) 金崎佳子, 藤井進也, 杉原修司, 他: 新しい撮像法の臨床応用 急性期脳梗塞の診断におけるSWI (susceptibility-weighted imaging) の有用性. *日独医報* 2007; 52: 53-60
- 4) 金崎佳子, 藤井進也, 柿手 卓, 他: 頭部3T MRIにおけるSWI. *画像診断* 2008; 28: 1061-1071
- 5) 井田正博, 吉澤 寿, 元良健一, 他: SWIの臨床応用—画像構築の原理と急性期梗塞における有用性. *INNERVISION* 2006; 21: 41-46
- 6) Yamada N, Imakita S, Sakuma T, et al.: Evaluation of the susceptibility effect on the phase image of a simple gradient echo. *Radiology* 1990; 175: 561-565
- 7) Sehgal V, Delproposito Z, Haddad D: Susceptibility weighted imaging to visualize blood products and improve tumor contrast in the study of brain masses. *J Magn Reson Imaging* 2006; 24: 41-51
- 8) Thomas B, Somasundaram S, Thamburaj K, et al.: Clinical applications of susceptibility weighted MR imaging of the brain - a pictorial review. *Neuroradiol* 2008; 50: 105-116
- 9) Fujii S, Kanasaki Y, Matsusue E, et al.: Demonstration of deep cerebral venous anatomy on phase-sensitive MR imaging. *Clin Neuroradiol* 2008; 18: 216-23
- 10) Lee BC, Vo KD, Kido DK, et al.: MR high-resolution blood oxygenation level-dependent venography of occult (low flow) vascular lesions. *AJNR Am J Neuroradiol* 1999; 20: 1239-1242
- 11) Reichenbach JR, Jonetz-Mentzel L, Fitzek C, et al.: High resolution blood oxygen-level dependent MR venography (HRBV): a new technique. *Neuroradiology* 2001; 43: 364-369
- 12) Williams DS, Detre JA, Leigh JS, et al. Magnetic resonance imaging of perfusion using spin inversion of arterial water. In: *Proc Natl Acad Sci USA* 1992; 89: 212-216
- 13) 高須深雪: Non-invasive perfusion-weighted MRIの臨床的評価. *広大医誌* 2000; 48: 375-389
- 14) Yoneda K, Harada M, Morita N, et al.: Comparison of FAIR technique with different inversion times and post contrast dynamic perfusion MRI in chronic occlusive cerebrovascular disease. *Magn Reson Imaging* 2003; 21: 701-705
- 15) Harada M, Uno M, Yoneda K, et al.: Correlation between flow-sensitive alternating inversion recovery perfusion imaging with different inversion times and cerebral flow reserve evaluated by single-photon-emission computed tomography.

- Neuroradiology 2004 ; 46 : 649-654
- 16) Li D, Wang Y, Waight DJ : Blood oxygen saturation assessment *in vivo* using T₂* estimation. Magn Reson Med 1998 ; 39 : 685-690
- 17) Hendrikse J, van der Grond J, Lu H, et al. : Flow territory mapping of the cerebral arteries with regional perfusion MRI. Stroke 2004 ; 35 : 882-887
- 18) Tamura H, Hatazawa J, Toyoshima H, et al. : Detection of deoxygenation-related signal change in acute ischemic stroke patients by T₂*-weighted magnetic resonance imaging. Stroke 2002 ; 33 : 967-971
- 19) Lee JM, Vo KD, An H, et al. : Magnetic resonance cerebral metabolic rate of oxygen utilization in hyperacute stroke patients. Ann Neurol 2003 ; 53 : 227-232

Evaluation of Ischemic Stroke Using Phase-sensitive MR Imaging and Flow-sensitive Alternating Inversion Recovery at 3T MR : A Preliminary Study

Eijiro YAMASHITA^{1,2}, Yoshiko KANASAKI², Shinya FUJII²,
Takuro TANAKA¹, Shouta SAKIMOTO¹, Yoshiharu HIRATA¹,
Toshihide OGAWA²

¹*Division of Clinical Radiology, Tottori University Hospital
1-36 Nishi-cho, Yonago, Tottori 683-8504*

²*Division of Radiology, Department of Pathophysiological and Therapeutic Science,
Faculty of Medicine, Tottori University*

Phase-sensitive imaging (PSI) is based on principles resembling those of susceptibility-weighted imaging (SWI) and exploits the magnetic properties of tissues, such as blood or iron content. It often reveals increased contrast of the returning veins in ischemic stroke, and we believe their change on PSI is attributable to the blood-oxygen-level-dependent (BOLD) effect from increased intravenous deoxyhemoglobin. On the other hand, flow-sensitive alternating inversion recovery (FAIR) imaging is a noninvasive, noncontrast perfusion-weighted imaging.

In 4 patients with acute ischemic stroke, we compared the area exhibiting increase of contrast of returning veins on PSI with the area of hypoperfusion on FAIR at 3 tesla and found them almost the same in all patients. Though our number of cases is small, this finding supports our hypotheses that hypoperfusion increases deoxyhemoglobin in vessels in the ischemic territory, and BOLD effect in the area of hypoperfusion causes the increased contrast of returning veins on PSI. Because the ischemic area on diffusion weighted imaging was smaller than the area exhibiting increased contrast of returning veins on PSI, we postulate that the increasing contrast may indicate misery perfusion.

PSI is an effective tool to provide additional information for clinical evaluation of ischemic stroke.