

T₁強調画像を用いた頸動脈プラーク評価： 撮像装置・条件が与える信号強度比への影響

中 孝文¹, 高橋光幸², 秦 博文³, 竹田幸太郎⁴

¹社会医療法人財団石心会川崎幸病院放射線科,

²国家公務員共済組合連合会横浜栄共済病院放射線科,

³北里大学病院放射線科,

⁴IMS (イムス) グループ横浜新都市脳神経外科病院画像診療部

緒 言

近年, magnetic resonance imaging (MRI) における頸動脈プラークの性状評価が盛んに行われている. 特に T₁-weighted image (T₁WI) において高信号を示す頸動脈プラークは内部に比較的新しい出血や脂質を含んでおり, 脳虚血性合併症を高頻度に引き起こす重大なリスクファクターの一つであることが知られている^{1)~4)}.

頸動脈プラークの性状評価には胸鎖乳突筋との信号強度の比, signal intensity ratio (SIR) を用い, 病理と対比している施設が多い^{4)~10)}. しかし, 頸動脈プラーク描出に用いられる T₁WI 撮像法は, inversion recovery (IR) 併用 3-dimensional (3D) gradient echo (GRE) 法, 2-dimensional (2D) または 3D spin echo (SE) 系シーケンスなど様々な撮像法が用いられている^{5),6),11)~17)}. また各施設において, 用いられている装置やコイルも様々である. 以上より, SIR は施設間で異なっている可能性があると考えられる. 今回我々は, 多施設で実際に用いられているプラーク撮像法を同一ファントムで評価し, どの程度の差があるの

か比較検討した. 得られた結果より, 今後の方向性, 検討課題を考察したのでここに報告する.

方 法

1. 使用機器と撮像条件

使用機器は異なる施設に設置された 3 メーカー 4 機種, 使用コイルは各施設で実際の頸動脈プラーク検査で使用している受信コイルを使用した. 使用した装置は以下のとおりである.

施設 A : General Electric (GE) Healthcare 社製 Signa HDxt 1.5T/Head Neck Spine コイル,

施設 B : Siemens 社製 MAGNETOM Avanto 1.5T/Head+Neck Matrix コイル,

施設 C : Siemens 社製 MAGNETOM Symphony 1.5T/CP-Head+Neck Array コイル, 施設 D : Philips 社製 Ingenia 1.5T/ds Head Neck Spine コイル,

以上の装置を使用し, 各施設において実際の頸動脈プラーク検査で用いられている 8 通りの T₁WI にて検討した.

キーワード carotid plaque, T₁WI, SIR, multi center study

Table 1. Vendor and scan parameters of each institution

Imaging parameter	施設 A			施設 B	施設 C		施設 D	
	GE			Siemens (Avanto)	Siemens (Symphony)		Philips	
	3D CUBE	3D IR-FSPGR	2D FSE	3D SPACE	3D MPRAGE	2D TSE	3D VISTA	2D TSE Multi Vane
TR/TE (ms)	550/10.0	12.3/6.0	500/12.9	450/12	1300/2.3	500/11	500/15	400/17
FOV (cm)	26×26	26×26	16×16	25×25	24×24	15×15	18×26	26×26
Matrix (frequency × phase)	256×256	384×224	288×192	256×246	256×256	320×256	168×249	276×276
Slice thickness (mm)	1.2	1.2	3	1.2	1.25	3	1.2	4
ETL	28	—	2	45	—	5	25	4
TI	—	800	—	—	570	—	—	—
NEX	1	3	3	1	1	4	2	2
Parallel imaging factor	2.0	2.0	—	2.0	2.0	—	2.0	—
Uniformity	PURE	PURE	PURE	Prescan Normalize Filter	Normalize Filter	Normalize Filter	CLEAR	CLEAR

Table 2. T₁ value and T₂ value of each phantom

Component	T ₁ value (ms)	T ₂ value (ms)
Hemorrhagic plaque phantom	406	161
Muscle phantom	819	434
Blood vessel wall phantom	972	620

使用した各施設・装置の撮像法，撮像条件を Table 1 に示す．なお，CUBE, sampling perfection with application optimized contrasts using different flip angle evolutions (SPACE), volume isotropic T₂WI acquisition (VISTA), fast spin echo (FSE), turbo spin echo (TSE), TSE Multi Vane は SE 系シーケンスであり，inversion recovery-fast spoiled gradient echo (IR-FSPGR), magnetization prepared rapid acquisition with gradient echo (MPRAGE) は GRE 系シーケンスである．

また，脂肪抑制法は併用せず，3D-IR FSPGR と 2D FSE で通常使用している itera-

tive decomposition of water and fat with echo asymmetry and least-squares estimation (IDEAL) は計算画像であるため，SIR の測定に不向きであると考え，IDEAL を想定した加算回数および実効 TE を設定した．

2. 使用ファントム

使用ファントムは T₁ 値の異なる希釈 gadolinium (Gd) 水溶液を用いた．各ファントムの T₁ 値は出血性プラーク，筋肉，血管壁を想定した^{16)~18)}．各希釈 Gd 水溶液の T₁ 値および T₂ 値を Table 2 に示す．

ただし本検討は T₁ コントラストの検討であるため，ファントムの T₂ 値については留意し

ていない。これらの希釈 Gd 水溶液は円筒形容器に封入したものをポリエチレン容器内に配置し、周囲は高分子ポリマーにて固定した (Fig. 1)。また、ファントムは頸部に相当する位置に配置した。

3. 頸動脈プラークルーチン撮像における SIR の比較

各施設・装置の頸動脈プラーク検査において通常使用している T1WI の撮像法および撮像条件を用いてファントムの撮像を 2 回ずつ行い、得られた各ファントムの信号強度を測定した。ファントムは撮像位置に設置してから 10 分後より撮像を行い、室温は 24 度に設定した。撮像と撮像の間は 1 分間のインターバルとした。

1) 出血性プラークファントムと筋肉ファントムによる SIR の比較

得られた信号強度より、頸動脈プラークルーチン撮像法における出血性プラークファントム (: P) と筋肉ファントム (: M) の SIR を算出し装置メーカー・機種・コイルの違いによる影響を比較検討した。

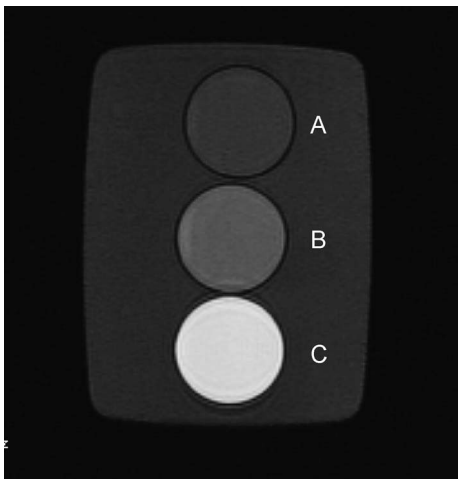


Fig. 1. Phantom used in this study. A-C correspond to the Blood vessel wall, Muscle, Hemorrhagic plaque, respectively.

なお、P と M との SIR は、 S_p を P の ROI 内の平均信号値、 S_m を M の ROI 内の平均信号値として次式にて算出した^{5),7),8)}。

$$SIR = S_p / S_m$$

2) 出血性プラークファントムと血管壁ファントムによる SIR の比較

得られた信号強度より、頸動脈プラークルーチン撮像法における P と血管壁ファントム (: V) の SIR を算出し装置メーカー・機種・コイルの違いによる影響を比較検討した。

なお、P と V との SIR は、 S_p を P の ROI 内の平均信号値、 S_v を V の ROI 内の平均信号値として次式にて算出した^{5),7),8)}。

$$SIR = S_p / S_v$$

結 果

1. 出血性プラークファントムと筋肉ファントムによる SIR の比較

Fig. 2 より装置や撮像法の違いにより相違が認められ、3D MPRAGE が最も高い SIR を呈し、2D TSE が最も低い SIR を呈した。両者の SIR を比較すると 2D TSE は 3D MPRAGE に対し、約 45% の低下を認めた。

2. 出血性プラークファントムと血管壁ファントムによる SIR の比較

Fig. 3 より装置や撮像法の違いにより相違が認められ、3D MPRAGE が最も高く、2D TSE が最も低い SIR を呈した。両者の SIR を比較すると 2D TSE は 3D MPRAGE に対し、約 56% の低下を認めた。

考 察

Saito らの検討では¹⁰⁾、同一装置を用い撮像法を変化させ、実際の患者において頸動脈プラークの性状評価を試みている。出血を伴う不安定プラークは 3D MPRAGE で最も高い SIR を有しており、今回のファントム実験と同じ傾

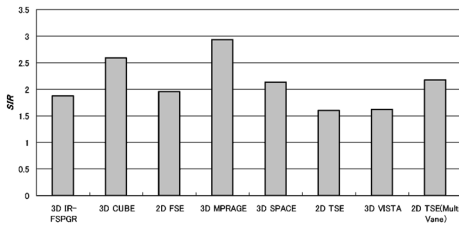


Fig. 2. SIR of the hemorrhagic plaque and muscle in the routine sequence of each institution.

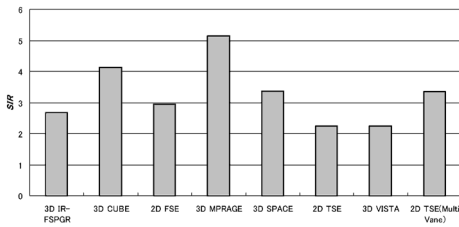


Fig. 3. SIR of the hemorrhagic plaque and blood vessel wall in the routine sequence of each institution.

向を示していた。また、conventional SE 法が頸動脈プラークの性状評価に有用であるとの結論であった。しかし、conventional SE 法は black blood 効果が弱く疑病変や過小評価を招く恐れが有ることから、今回の検討において conventional SE 法を用いている施設は存在しなかった。したがって conventional SE 法を用いた比較検討はできない。しかし、全施設で 2D 高速 SE 法を用いており、そのうち 2 施設で同一 TR を用いていたが、SIR の相違が認められた。これは Echo train length (ETL) などの違いによる影響が原因と考えられる。さらに、k 空間の充填方法が異なる高速 SE 法と比較しても SIR の相違が認められた。以上より、同一撮像法を用いても、TR 以外の撮像条件、k 空間充填方法の違いなどが原因で施設間において SIR は相違する可能性が考えられる。また、今回の検討では 3 装置メーカーの可変 flip angle (FA) を用いた 3D 高速 SE 法の SIR を得ることができた。Table 1 に示すよ

うに、それぞれ異なる TR (CUBE : 550 ms, SPACE : 450 ms, VISTA : 500 ms) で撮像されていたため、直接の比較は困難であるが、TR が CUBE > VISTA > SPACE の順に長い設定であったのに対し、SIR は CUBE > SPACE > VISTA であった。これは TR の変化の影響に加えて、ETL や可変 FA パターンの違いが複雑に絡み合っ て SIR に影響を及ぼしていることが考えられる。

すべての装置でファントムは実際の臨床を想定して頸部に相当する位置に配置したが、実際の頸動脈の位置とファントムの位置は若干異なっていると想定される。しかし、すべての撮像法において感度補償フィルタを用いたため、頸動脈の位置とファントムの位置の相違における SIR への影響は非常に小さいと推測され、装置メーカー、機種、コイル、撮像シーケンス、撮像条件などの影響により SIR は変化すると考えられる。

頸動脈プラークの性状評価はプラークと胸鎖乳突筋との SIR で評価することが一般的であり^{4)~10)}、撮像法や使用装置の違いによる SIR の相違は線維成分が主体である安定プラークと出血成分が主体である不安定プラークとの鑑別をする cut off 値に影響を及ぼす。さらに同一撮像法であっても使用装置の違いにより変化する可能性がある。したがって、現状では撮像法や使用装置により施設ごとの cut off 値を設定する必要があると考えられる。

P と V との SIR も同様の傾向を示したことから、胸鎖乳突筋と異なる T₁ 値をもつ組織との SIR を用いても、撮像法や使用装置および使用コイルにより SIR が変化すると考えられる。

結 語

頸動脈プラークの性状評価として T₁WI の有用性が認められている。しかし、T₁WI の撮像法に対する基準は定まっていないのが現状で

ある¹⁰⁾。そのため同じプラークであっても、施設によってその性状評価が異なる可能性がある。そこで同一ファントムを用い、各施設の実際に使用している頸動脈プラーク検査のルーチン撮像法による比較を行った。今回は統計学的な検討は行っていないが、撮像法や使用装置、使用コイルの違いにより異なる SIR が得られていることが分かった。使用装置をすべての施設で同一とするのは非現実的であるため、今後はどの装置およびコイルで撮像を行っても同等の SIR が得られるような撮像法、撮像条件の検討、など標準化を検討していく必要がある。

文 献

- 1) Murphy RE, Moody AR, Morgan PS, et al. : Prevalence of complicated carotid atheroma as detected by magnetic resonance direct thrombus imaging in patients with suspected carotid artery stenosis and previous acute cerebral ischemia. *Circulation* 2003 ; 107 : 3053-3058
- 2) Cai JM, Hatsukami TS, Ferguson MS, Small R, Polissar NL, Yuan C : Classification of human carotid atherosclerotic lesions with *in vivo* multicontrast magnetic resonance imaging. *Circulation* 2002 ; 106 : 1368-1373
- 3) Tanaka N, Yuan C, Chu B, et al. : Presence of intraplaque hemorrhage stimulates progression of carotid atherosclerotic plaques: a high-resolution magnetic resonance imaging study. *Circulation* 2005 ; 111 : 2768-2775
- 4) Yuan C, Mitsumori LM, Ferguson MS, et al. : *In vivo* accuracy of multispectral magnetic resonance imaging for identifying lipid rich necrotic cores and intraplaque hemorrhage in advanced human carotid plaques. *Circulation* 2001 ; 104 : 2051-2056
- 5) Yoshida K, Narumi O, Chin M, et al. : Characterization of carotid atherosclerosis and detection of soft plaque with use of black-blood MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 2008 ; 29 : 868-874
- 6) Narumi S, Sasaki M, Ohba H, Ogasawara K, Hitomi J, Mori K, Ono A, Terayama Y : Altered carotid plaque signal among different repetition times on T₁-weighted magnetic resonance plaque imaging with self-navigated radial-scan technique. *Neuroradiology* 2010 ; 52 : 285-290
- 7) Yamada K, Yoshimura S, Kawasaki M, Enomoto Y, Asano T, Hara A, Minatoguchi S, Iwama T : Embolic complications after carotid artery stenting or carotid endarterectomy are associated with tissue characteristics of carotid plaques evaluated by magnetic resonance imaging. *Atherosclerosis* 2011 ; 215 : 399-404
- 8) Akutsu N, Hosoda K, Fujita A, Kohmura E : A preliminary prediction model with MR plaque imaging to estimate risk for new ischemic brain lesions on diffusion-weighted imaging after endarterectomy or stenting in patients with carotid stenosis. *AJNR Am J Neuroradiol* 2012 ; 33 : 1557-1564
- 9) 中村麻名美, 真壁武司, 手塚秀臣, 三浦喬弘, 梅村琢磨, 杉森博行, 坂田元道 : 頸動脈プラーク性状評価における k-space 充填法 (Radial Scan) 撮像条件の検討. *日放技学誌* 2013 ; 69 : 407-412
- 10) Saito A, Sasaki M, Ogasawara K, et al. : Carotid plaque signal differences among four kinds of T₁-weighted magnetic resonance imaging techniques: a histopathological correlation study. *Neuroradiology* 2012 ; 54 : 1187-1194
- 11) Moody AR, Murphy RE, Morgan PS, et al. : Characterization of complicated carotid plaque with magnetic resonance direct thrombus imaging in patients with cerebral ischemia. *Circulation* 2003 ; 107 : 3047-3052
- 12) Yamada N, Higashi M, Otsubo R, et al. : Association between signal hyperintensity on T₁-weighted MR imaging of carotid plaques and ipsilateral ischemic events. *AJNR Am J Neuroradiol* 2007 ; 28 : 287-292
- 13) Fan Z, Zhang Z, Chung YC, et al. : Carotid arterial wall MRI at 3T using 3D variable-flip-angle turbo spin-echo (TSE) with flow-sensitive dephasing (FSD) . *J Magn Reson Imaging* 2010 ; 31 : 645-654
- 14) Mihai G, Chung YC, Merchant A, Simonetti OP, Rajagopalan S : T₁-weighted-SPACE dark blood whole body magnetic resonance angiography (DB-WBMRA) : initial experience. *J Magn Res-*

- on Imaging 2010 ; 31 : 502-509
- 15) Takaya N, Yuan C, Chu B, et al : Association between carotid plaque characteristics and subsequent ischemic cerebrovascular events: a prospective assessment with MRI initial results. Stroke 2006 ; 37 : 818-823
- 16) 堀江朋彦, 河方マミ, 梶原 直, 高野 隼, 本田真俊, 室 伊三男, 荻野徹男 : PSIR-3D IR-T₁TFE 法による頸動脈長軸 black blood imaging の描出改善. 日放技学誌 2011 ; 67 : 888-894
- 17) 浦田哲也弥, 山本英孝, 生田尚明, 打越将人 : 頸動脈プラーク MRI における 3D-TSE (SPACE 法) の有用性. 日放技学誌 2012 ; 68 : 871-879
- 18) Zhu DC, Ferguson MS, DeMarco JK : An optimized 3D inversion recovery prepared fast spoiled gradient recalled sequence for carotid plaque hemorrhage imaging at 3.0T. Magn Reson Imaging 2008 ; 26 : 1360-1366

Characterization of Carotid Plaques using T₁-weighted Imaging : Influence of Vendor and Scan Parameters on Signal Intensity Ratio

Takanori NAKA¹, Mitsuyuki TAKAHASHI², Hirofumi HATA³,
Kohtarou TAKEDA⁴

¹*Department of Radiology, Sekishinkai Kawasaki Saiwai Hospital
31-27 Ohmiya-cho, Saiwaiku, Kawasaki, Kanagawa 212-0014*

²*Department of Radiology, Yokohama Sakae Kyohsai Hospital*

³*Department of Radiology, Kitazato University*

⁴*Department of Radiology, Yokohama Shintoshu Neurosurgery Hospital*

Carotid artery plaque with high signal intensity on T₁-weighted image (T₁WI) is known to cause cerebral ischemic disease. However, the various sequences in T₁WI and difference in sequences utilized among institutions affect plaque evaluation. We investigated the influence of equipment maker and differences in sequences on the quality of plaque evaluation. At 3 institutions, we imaged a phantom using a 1.5-tesla magnetic resonance (MR) scanner used to produce routine sequences of T₁WI images at the given institution. We manually measured the signal intensity of each phantom calculated the signal intensity ratio (SIR) between plaque and muscle and plaque and blood vessel wall, and found differences in SIR in all sequences. That is, the SIR differed for each institution or the respective equipment used. Further evaluation is needed to determine the best imaging technique for visualizing intraplaque characteristics.