

技 術

BLADE 法を使用した頸動脈プラークの評価

中村麻名美\* 真壁 武司\* 丹羽 潤\*\*  
古明地孝弘\*\* 對馬 州一\*\*

Evaluation of carotid plaque imaging with BLADE method

Manami NAKAMURA, Takeshi MAKABE, Jun NIWA  
Takahiro KOMEICHI, Shuichi TSUSHIMA

**Key words** : BLADE — carotid plaque — vessel wall imaging —  
black-blood method

はじめに

頸動脈における動脈硬化に起因する粥腫（以下プラーク）は、脳梗塞や一過性脳虚血発作（transient ischemic attack : TIA）などの脳血管障害の要因のひとつである。その危険性は頸動脈の狭窄度だけではなく性状に大きく関与し、不安定なプラークほど脳血管障害をきたす危険性が大きくなる。そのため、プラークの性状評価は治療法を選択するうえで重要となる<sup>1)</sup>。画像診断におけるプラーク評価法としては、multi detector-row computed tomography (MDCT)、超音波、血管造影やmagnetic resonance imaging (MRI) などがあるが、MRIにおける血管壁イメージングはプラークの構成成分である線維性組織、出血またはlipid-rich コアおよび石灰化を判別するにあたって有用である<sup>2)</sup>。プラークの性状診断するには高分解能なT1、T2強調画像(以下T1WI、T2WI)が必要となるが、撮像法の標準化はされていない<sup>3)</sup>。

これまで、当院では不安定プラークの検出に有用なT1強調系3次元グラディエントエコー法(3D-GRE)であるMP-RAGE<sup>4)</sup>で位置を確認したあと、double-inversion recovery pulse (以下DIR)<sup>5)</sup>によるblack-blood法で性状評価を行っていた。プラーク評価においては、心電図同期を併用し血管内腔を無信号とするDIR法が主流となっているが、繰り返し時間(以下TR)が被験者の心拍に依存し、病変コントラストに影響が及ぶだけでなく、検査時間延長にもつながるという欠点がある<sup>5)</sup>。

そこで本研究では、radial scanの一種でモーションアーチファクト軽減のために開発された撮像法であるBLADE法を用いて血管壁イメージングに画質改善を目的として応用した。また、BLADE法を用いた心電図非同期で血流信号を無信号とし、さらに固定TRで安定したコントラストを得るため、至適条件の検討を行った。

方 法

II-1. BLADE法

BLADE法は、高速SE法を使用し一つの励起パルスから収集されたエコートレインの束であるブレードがk-space中心を軸に回転しながらデータを充填する手法である。通常の高速SE法は正方形グリッド上で行われ(Cartesian法)<sup>6)</sup>、モーションアーチファクトなどが直接影響するk-space中心部のデータ収集を任意に設定できないため動きの影響などを受けやすい。

しかし、BLADE法は1回転でk-space中心部のデータを何度も加算し、被写体の動きに対しての補正も行うため、モーションアーチファクトを軽減できる<sup>7)</sup>(Fig. 1)。

II-2. 使用機器及び撮像条件

使用機器はMAGNETOM Symphony 1.5T(SIEMENS社製)、Headコイルを用いた。自作ファントムには、プラークを想定しマヨネーズ、ヘパリン入り血液、ラード、血腫、ブルーベリージャム、ポリビニルアルコール(以下PVA)を封入した(Fig. 2)。また、各組織ファントムのT1、T2値をTable 1に示す。T1WI、T2WIを同じファントムでコントラストの評価をするため、筋肉想定ファントムとしてT1WIにPVA、T2WIにブルーベ

\*市立函館病院 中央放射線部

\*\*市立函館病院 脳神経外科

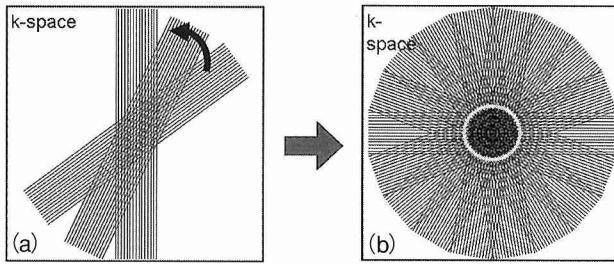


Fig. 1 BLADE 法

- (a)ブレードが k-space 中心を軸に回転しながらデータを充填する。
- (b)一回転で k-space を充填する。中心部のデータが何度も加算されている

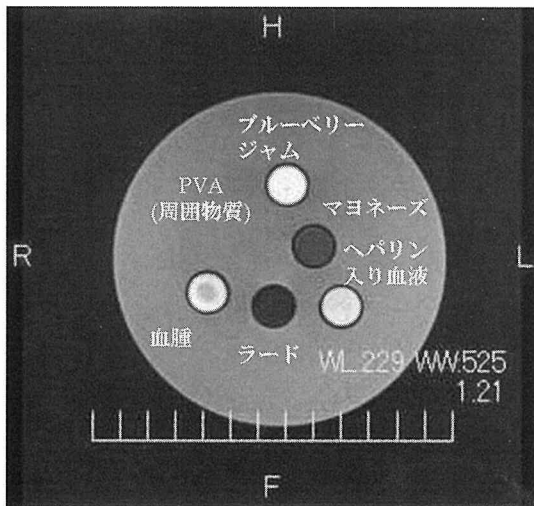


Fig. 2 プラークファントム

Table 1 プラークファントム T1・T2値

	T1value	T2 value
ブルーベリージャム (T2WI 筋肉想定)	89.1	78.5
マヨネーズ (粥腫想定)	217.2	79.7
ヘパリン入り血液	513.4	65.5
ラード (脂肪想定)	180.3	72
血腫	656.4	69
PVA (T1WI 筋肉想定)	1212.9	1215.3

リージャムを用いた。

ファントムを BLADE 法と高速 SE 法など従来の k-space 充填法である Cartesian 法で撮像しアーチファクトの違いを検討した。また、TR を変化させたときの T1WI, T2WI の信号比を以下に示す(A)式から算出し、比較検討を行った。信号比の検討はアーチファクトの検討結果から T1WI, T2WI 共に脂肪抑制パルスが付加して行い、3 スライスの平均値とした。

撮像条件を Table 2 に示す。臨床で使用していた DIR 法において心電図同期を使用し撮像すると 1 心拍同期を

Table 2 撮像条件 (BLADE 法)

	T1WI	T2WI
TR	300-1100ms	1500-4000ms
TE	32ms	109ms
phase oversampling	100%	100%
BLADE coverage	150.60%	166.70%
bandwidth	355Hz/pixel	355Hz/pixel
turbofactor	9	33
FOV	180mm	180mm
Matrix size	256*256	256*256
		restore(+)

Table 3 撮像条件 (DIR 法)

	T1WI	T2WI
TR	1 心拍同期	2 心拍同期
TE	32ms	109ms
phase oversampling	0%	0%
bandwidth	125Hz/pixel	130Hz/pixel
turbofactor	9	13
FOV	180mm	180mm
Matrix size	256*256	256*256
		restore(+)

使用している T1WI では 800msec から 1200msec, 2 心拍同期を使用している T2WI では 1500msec から 4000msec と TR の変動があったため、T1WI では TR を 300msec から 1100ms, T2WI では 1500msec から 4000msec と変化させ自作ファントムを撮像し信号強度を測定した。

また、頸動脈狭窄症における血管壁の評価を依頼された症例の臨床画像において、同一患者をファントム実験で得られた条件をもとにした BLADE 法と DIR 法にて撮像し、筋肉を基準にプラークの信号比を比較して t 検定を行った。臨床での使用コイルは Head コイルと Neck コイルである。DIR 法の撮像条件は Table 3 に示す。さらに臨床画像におけるアーチファクトについても検討した。なお、臨床画像については当院倫理規定の通り使用している。

$$\text{信号比} = \frac{\text{各組織ファントム信号強度}}{\text{筋肉ファントム信号強度}} \dots\dots (A)$$

結 果

BLADE 法では上下方向に、Cartesian 法では周波数方向(左右)にケミカルシフトの影響があった (Fig. 3)。これは脂肪抑制パルスが付加することにより改善されていた (Fig. 4)。

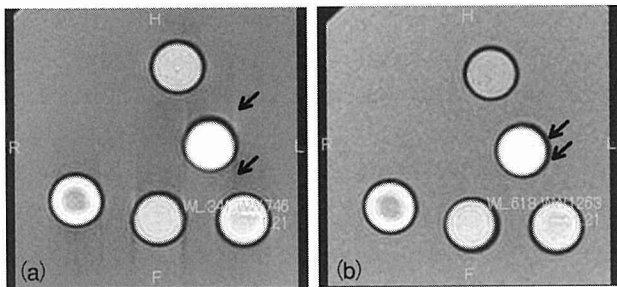


Fig. 3 脂肪抑制 (-)  
(a) BLADE 法 (b) Cartesian 法

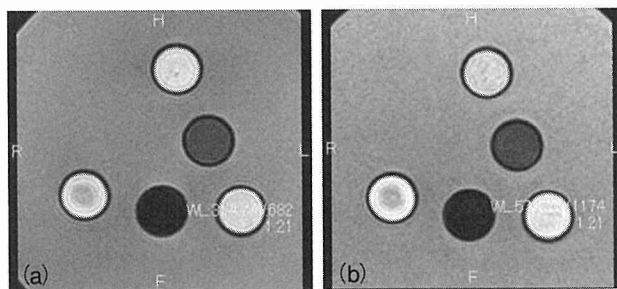


Fig. 4 脂肪抑制 (+)  
(a) BLADE 法 (b) Cartesian 法

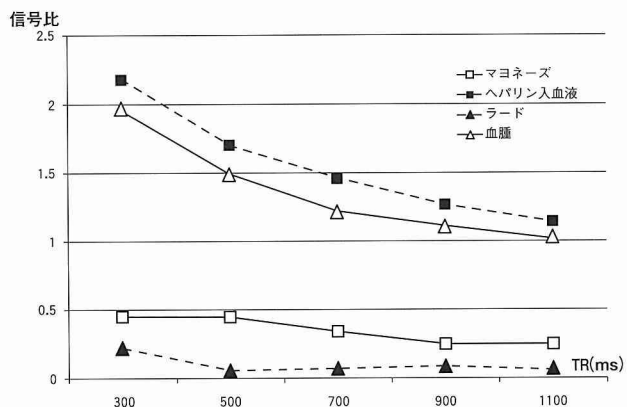


Fig. 5 T1WIにおける信号比

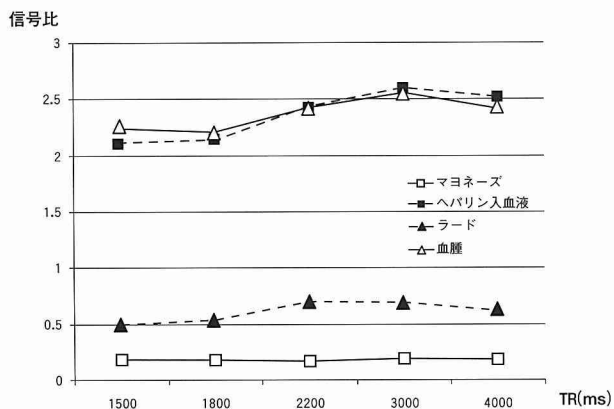


Fig. 6 T2WIにおける信号比

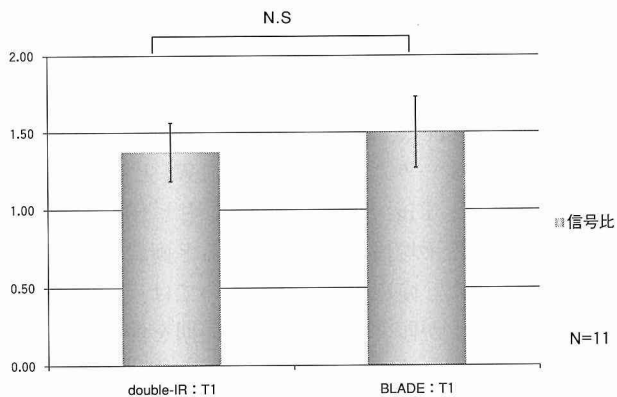


Fig. 7 臨床画像におけるプラークの信号比 (T1WI)

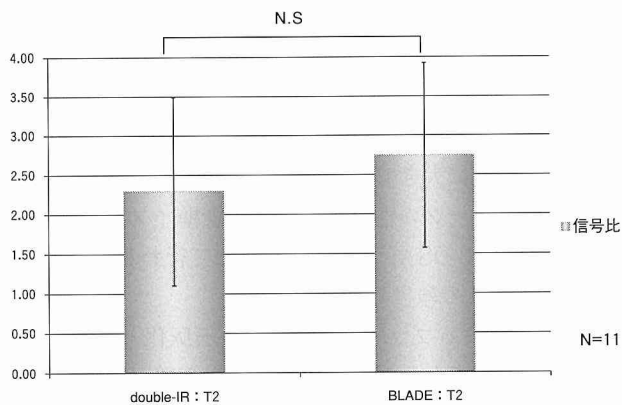


Fig. 8 臨床画像におけるプラークの信号比 (T2WI)

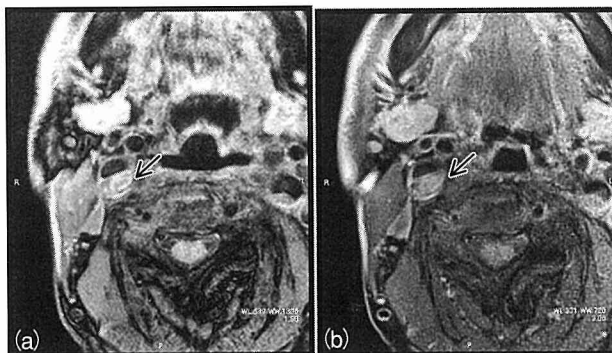


Fig. 9 臨床画像 (T1WI)  
(a) DIR 法 (b) BLADE 法

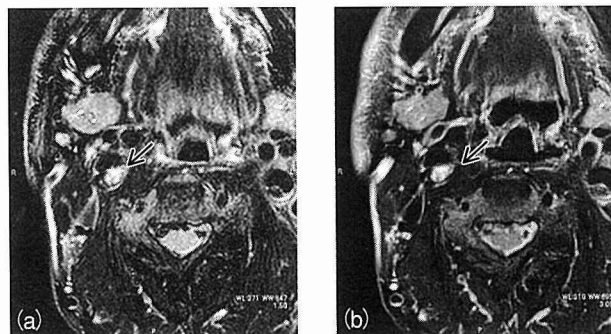


Fig. 10 臨床画像 (T2WI)  
(a) DIR 法 (b) BLADE 法

T1WIにおける各組織の信号比は、TRが延長するほど低下した (Fig. 5)。また、T2WIにおいてはTR2000 msec から3000msecで組織間コントラストが良好となり、TR4000msecでは信号比が低下した (Fig. 6)。

臨床画像のシーケンスにおけるT1WIとT2WIの信号比をFig. 7, Fig. 8に示す。DIR法とBLADE法の11症例における平均信号比を比較すると両者に有意差はみられなかった。臨床画像評価においては、モーションアーチファクトが顕著となる心電図同期を併用したDIR法に比べBLADE法はアーチファクトが抑制され静止した画像が得られていた (Fig. 9, 10)。

### 考 察

頸動脈分岐部における動脈硬化に起因する不安定プラークは、脳血管障害の重大なリスクである。脳血管障害をきたす危険性は、頸動脈の狭窄度だけではなくプラークの性状に大きく関与しているため性状評価が必要となる。プラークの性状評価は、血管壁イメージングとよばれ、CTやDSA、US、PETなどで行われているが、MRIが有用との報告<sup>2)</sup>が多い。

MDCTによるプラークの評価は、石灰化とlipid coreの描出が可能であるが、血管内腔と血管壁を区別するには造影剤を注入しなければならない<sup>4)</sup>。そこでMRIを使用した頸動脈における血管壁イメージングは、従来行われてきたCTや超音波に比べ、脳梗塞やTIAの脳血管障害をきたす原因となる不安定プラークの性状を無侵襲で評価することができるため、現在広く用いられている<sup>3, 7)-10)</sup>。

従来、当院におけるMRIを使用した血管壁イメージングでは、不安定プラークの検出に有用とされているMP-RAGE法<sup>4)</sup>と心電図同期を併用したDIR法によるT1WI、T2WIを撮像しプラークの評価を行っていた。DIR法は、心電図同期により血流信号を抑制するため十分なblack blood効果が得られるが、TRが被験者の心拍に依存し変動する。この心拍にともなうTRの延長や変化は、再現性が得られないだけでなく病変コントラストが低下する問題があった。本研究では、モーションアーチファクト軽減のために開発されたBLADE法を使用し頸動脈プラークの性状診断を行うため、嚙下や拍動などのモーションアーチファクトの軽減と病変コントラスト向上を目的とした撮像条件の検討を行った。

BLADE法は、radial scanの一種であり、高速SE法のエコートレインの束であるブレードがk-space中心を軸に回転しながらデータを充填する。一回転でk-space中心部のデータを何度も加算するため動きに対するアーチファクトを軽減できるとされている。また、心電図同期を使用しないため固定TRを使用でき、病変コントラ

ストの向上が期待される。しかし、BLADE法は、k-space充填法が従来の高速SE法と異なるため、別のアーチファクトの出現が予想された。脂肪抑制を用いずにプラーク想定ファントムを撮像し、通常のCartesian法とBLADE法の比較を行ったところ、脂質を含むラードやマヨネーズ付近においてCartesian法では周波数方向に見られたケミカルシフトアーチファクトが、BLADE法では上下方向に出現した。このアーチファクトはプラーク内に脂質がある場合、診断に影響を及ぼす要因となるため、脂肪抑制を併用することが必要であると考えられた。

また、T1WIにおける信号比はTRが延長するほど低下した。TR300msecのとき、信号比がもっとも良好であったが、撮像枚数が制限された。臨床で使用する場合は、撮像枚数を考慮し、プラークの構成成分と筋肉の信号比の差異が比較的大きなTR500msec程度とするのが病変を評価するうえで有用と考えられた。T2WIにおいてはTR2000msecから3000msec程度で組織間コントラストが最も良好となり、TR4000msecで低下した。これは、T2WIのシーケンスが縦磁化強制回復パルス (restore)<sup>12)</sup>を使用しているため、TRの延長によりrestoreパルスの効果がなくなることが原因と考えられた。従って、撮像時間も考慮してTR2200msec程度にすることが適当と思われた。

一方、臨床画像において不安定プラークはT1WIで高信号となり、筋肉との信号比で1.5から2以上のプラークは出血性不安定プラークであるとされている<sup>9)-11)</sup>。このことから、DIR法とBLADE法におけるプラークの信号強度と固定の筋肉組織である胸鎖乳突筋の比を算出し比較した。

BLADE法でT1WIを得るとき、エコートレインが9以下とならないため、TEが32msecと長い分コントラストの低下が懸念されたが、従来法であるDIR法とBLADE法の信号比に有意差はなく、不安定プラークの評価をするにあたって問題はないと思われた。T2WIにおいてもDIR法とBLADE法の信号比に有意差はなく、BLADE法においては嚙下や拍動などのアーチファクトが軽減され良好な画像が得られていた。今回の検討において、BLADE法ではDIR法と比べ、軽度の平均信号比上昇によるコントラストの向上が認められており、病変の信号比による細分類の可能性が示唆された。しかし、実際に摘出病変との比較を行っていないため、今後さらなる検討が必要と思われる。

BLADE法は、嚙下や拍動などの体動アーチファクトを抑制するだけでなく、任意の固定TRにより病変コントラストが向上し、検査時間も短縮され、従来のDIR法よりも良好な画像が得られた。これは、プラークの性

状の診断能向上が期待され、CEA や CAS などの治療方針を決定するにあたり有用であると考えられる。

### ま と め

TR を任意に固定できる BLADE 法は、被験者間でプラークの構成成分と筋肉の信号比を容易にとらえることができ、TR を固定することで病変コントラストが向上した。また、DIR 法に比べ体動によるアーチファクトが軽減され、プラークの性状評価をするにあたり有用であると思われた。しかし、通常シーケンスとは異なる撮像条件の制限や面内に流入する動きに対する影響が考えられるため、今後更に検討する必要がある。

### 文 献

- 1) 羽尾裕之, 廣田誠一, 松田育雄, 他: 頸動脈プラークの病理組織学的特徴, 日独医報, 2008: 174-183.
- 2) Watanabe Y, Nagayama M, Suga T, et al: Characterization of Atherosclerotic Plaque of Carotid Arteries With Histopathological Correlation. JMIRI, 2008: 28, 478-485.
- 3) 前田正幸, 北川覚也, 佐久間肇, 他: MRI におけるプラークイメージング, 動脈硬化予防, 2010: 9, 43-52.
- 4) 真壁武司, 守山 亮, 中村麻名美, 他: 反転プリパレーションパルス付加 3D Gradient echo (MP-RAGE) を用いた頸動脈プラーク描出の基礎的検討, 北海道放射線技術雑誌, 2006: 25-28.
- 5) Hee Kwon Song, Alexander C, Ronald L, et al: Multislice double inversion pulse for efficient Black-Blood MRI, Magn Reson Med sci, 2002: 47, 616-620.
- 6) 塚本鉄二: ASSET および PROPELLER, GE Today, 9: 90-93.
- 7) 小倉明夫, 前田富美恵, 佐伯文人, 他: BLADE 画像の k-space trajectory が画像特性に及ぼす影響, 日磁医誌, 2009: 29, 12-18.
- 8) 渡邊祐二, 永山雅子, 吉田和道, 他: プラーク診断 (MRI), 日独医報, 2008: 53, 203-217.
- 9) Altaf N, Beech A, Goode SD, et al: Carotid intraplaque hemorrhage detected by magnetic resonance imaging predicts embolization during carotid endarterectomy, J Vasc Surg, 2007: 46, 31-36.
- 10) Singh N, Moody AR Gladstone DJ, et al: Moderate carotid artery stenosis: MR-imaging-depicted intraplaque hemorrhage predicts risk of cerebrovascular ischemic events in asymptomatic men, Radiology, 2009: 252, 502-508.
- 11) 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, 2007: 28, 287-292.
- 12) 真壁武司, 中村麻名美, 守山 亮, 他: 縦磁化強制回復パルスを用いた頭部 dark fluid image の検討, 日放技学誌, 2003: 135.
- 13) Narumi S, Sasaki M, Ohaba H, et al: Altered carotid plaque signal among different repetition times on T1-weighted magnetic resonance plaque imaging with self-navigated radial-scan technique, Neuroradiology, 2009: 28, 285-290.
- 14) 濱口明巧, 小寺秀一, 濱口直子, 他: PROPELLER 法を用いたプラークイメージングの検討, 北海道放射線技術雑誌, 2010: 93-97.
- 15) 中西光広, 大山徳子, 杉森博行, 他: 頸動脈 plaque image における TR が画像に及ぼす影響について, 日放技学誌, 2009: 108.
- 16) Hattori N, Senoo A, Gomi T, et al: T1-weighted MR imaging of the female pelvis using RADAR-FSE sequence, Magn Reson Med sci, 2009: 8, 175-180.