

低再収束フリップ角 3D-高速 SE 法を用いた椎骨脳底動脈 volumetric black blood angiography の試み

中村理宣¹, 米山正己¹, 武村 濃², 田 淵 隆¹,
小倉順子¹, 澤野誠志¹

¹メディカルサテライト八重洲クリニック ²フィリップスエレクトロニクスジャパン

はじめに

頭蓋内椎骨動脈領域に多くみられる脳動脈解離は、延髄外側 (Wallenberg) 症候群や脳幹梗塞などの脳虚血に加え、若年者くも膜下出血の原因としても注目されている^{1)~3)}。

脳動脈解離の画像診断は、現在、確立した基準はない。若年者脳卒中診療の現状に関する共同調査研究 (SASSY-japan)⁴⁾および、後ろ向き研究による調査票を用いた脳動脈解離の実態調査 (SCADS-1)⁵⁾による診断基準では、真腔、偽腔や内膜フラップの証明で確定診断に至った検査法は、脳血管撮影で 77.5%, MRI/MRA で 10.4% であり、脳動脈解離の確定診断は侵襲的な検査で得られていることが現状である⁴⁾。しかし、画像所見が経時的变化を示す脳動脈解離の診断は、経時的变化が確認されると確定診断になるため、繰り返し検査を必要とし、より非侵襲的で安定した検査法が望まれる。

MRI は非侵襲的で、繰り返し検査が可能なおことから、脳動脈解離の診断に必要な不可欠な検査法である。一般的に用いられている time of flight (TOF) MRA は、動脈解離など椎骨脳底動脈病変のスクリーニング法や経過観察として有用であり、動脈解離における血栓化偽腔を明

瞭に描出でき、高信号血栓と血流の判定も判別可能なことから真腔の狭小化や動脈の囊状拡張を確認できる手法である⁶⁾。血管内腔を評価する TOF MRA とは対照的に、血管内血栓や不安定プラークなど血管壁を評価する手法の一つに double inversion recovery (DIR) 法がある^{7)~10)}。DIR 法は血管内腔の信号を抑制し動脈解離に対し解離内膜や血管壁の精細な形態情報と病変部の信号強度から血管壁の性状評価に有用な方法として、TOF MRA で動脈解離が認められた部位を対象に精査目的として一般的に用いられる。

このように TOF MRA と DIR 法は、椎骨脳底動脈解離に対し血管内腔と血管壁を観察できる方法であるが、いくつかの問題点もある。まず、TOF MRA は椎骨脳底動脈の狭窄や拡張の評価は可能であるが、流速のばらつきに伴う流入効果の低下により信号欠損を呈し、疑似狭窄の原因となる。DIR 法は、血液の T₁ 値に合わせたデータ収集開始時間の最適値設定が難しいこと、遅い血流やスライス面内を流れる血流に対して完全に血液信号を抑制できないことから、動脈解離における二重腔や壁内血栓の検出など血管内病変の評価が困難となる場合がある。さらに、多断面撮像において撮像時間の延長と撮像範囲や撮像断面に制限を伴うこともあ

キーワード black blood angiography, LRFA-3D TSE, sensitized flow compensation

る¹¹⁾.

一方、MRIにおいて volume imaging へのニーズが高まっており、特に再収束フリップ角を徐々に変化させ 180°よりも低い再収束フリップ角を繰り返し用いる低再収束フリップ角 3D 高速 SE 法 (LRFA-3DTSE: Low refocusing flip angle 3D TSE) は、使用する傾斜磁場システム、受信 RF コイル、撮像部位に制限されず、当方的なボリュームデータが得られる撮像法である^{12),13)}.

LRFA-3DTSE 法は 180°パルスより低い再収束パルスを用いるため、180°パルスを用いた場合に比べ再収束されるスピンの位相がそろわず SNR が低下する。しかし血液を対象とした場合、再収束パルスが低角であることに加え、流れによる位相分散が助長されることで血液信号を抑制し、DIR 法の問題点として指摘した血液信号の抑制不良を改善する高い flow void 効果が期待できる¹⁴⁾。また、高い空間分解可能を有した 3D 撮像により撮像範囲や撮像断面に制限されず、連続した広範囲の血管壁を短時間で描出可能なことから、頭蓋内動脈解離を対象としたスクリーニング検査に応用可能と考えられる。

我々は、動脈硬化性病変における血管壁評価の重要性という観点¹⁵⁾、および日常のルーチン検査に負荷なく取り込める高いスクリーニング性を考慮した撮像法として、LRFA-3DTSE 法を用いた椎骨脳底動脈 volumetric black blood angiography 法を考案した。

本研究は、スクリーニング検査としての椎骨脳底動脈 volumetric black blood angiography 法による頭蓋内動脈解離など椎骨脳底動脈病変の描出精度向上を目的とし、ファントムおよびボランティアを対象に black blood angiography の基礎的検討を行ったので報告する。

方 法

1. 使用機器および対象

MR 装置は Achieva 3.0 Tesla (R2.6, Philips 社製)、基礎検討に quadrature head coil、ボランティア撮像においては 16 channel の neuro vascular coil を用いた。模擬流速血管は内径 6.35 mm のチューブに蒸留水を満たし人工心肺送血ポンプを稼働させ定常流により検討を行った (Stoeckert Shiley 社製 Multiflow Roller Pump Module) (Fig. 1)。ボランティア撮像は、当院倫理委員会の承認を得られた 10 名 (平均年齢 35.5 歳、男女比 8 : 2) の椎骨脳底動脈を対象とした。

2. シーケンスの概要

LRFA-3D TSE 法は 3D 高速スピンエコー法の一つであるが再収束パルスの印加方法、再収束パルスのパルス系列および流速補償に特徴がある。

従来の 3D-高速スピンエコー法は再収束パル

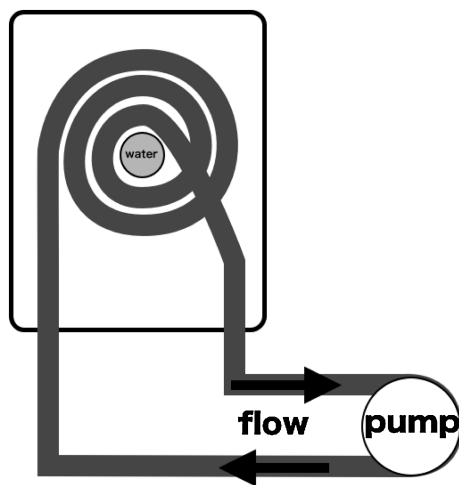


Fig. 1. A diagram of the flowing phantom with roller pump

2010年4月8日受理 2011年8月8日改訂

別刷請求先 〒103-0028 東京都中央区八重洲 1-5-9 八重洲アメックスビル 9F メディカルサテライト八重洲クリニック 中村理宜

スに 3D ボリュームパルスの印加となるが、LRFA-3D TSE 法はエコー間隔短縮の目的で再収束パルスを撮像ボリュームに対して非選択的印加を行う。再収束パルスのパルス系列は設定角 α に対し $90^\circ + \alpha/2, \alpha, \alpha$ と 2 発目移行一定となり、設定再収束パルスを低角にすることで擬似的に T_2 緩和が延長する pseudo steady state を形成し、長い ETL や実効 TE でもブラーリングの増加や heavy T_2 強調とならずコントラストの改善が期待できるとともに、血液の位相を分散させ flow void 効果を起こす^{16)~18)} (Fig. 2).

流速補償に用いられる flow compensation (FC) は位相方向の流れに適応する sensitized flow compensation (SFC) を用いる。SFC は $1 : (-2) : 1$ の gradient lobe を周波数方向に印加する従来型 FC に対し、再収束パルスを対称に $1 : 1$ の双極傾斜磁場が位相方向および周波数方向に印加され、その強度は位相方向に強く周波数方向に弱い印加を行う¹⁹⁾。これにより位相方向に流れる血液に対し flow void 効果を起こす。

血管壁評価を目的とした本法は、上記に示したシーケンスの特徴により、高い血液信号抑制効果が期待できる black blood angiography 撮像法である。

3. 検討項目

LRFA-3DTSE 法は低角再収束パルスおよび SFC を用いることが特徴であり、本研究の目的である black blood angiography 法を対象と

した場合、血液の信号は再収束パルスのフリップ角および FC に依存した信号強度を示すことが考えられる。

そこで、ファントムおよびボランティアを対象に、LRFA-3DTSE のもつ内因性の flow void 効果について、再収束パルス角および FC を検討項目として検証を行った。Flow void 効果の基礎検討方法を下記に示す。

1) 再収束パルス角

再収束パルス角は、低角ほど血液の位相分散を起こさせ血流信号を抑制することが考えられる。そこで流速を 0 cm/s から最大設定値である 70 cm/s までの変化させたファントムに対し、再収束パルス角を 160° から 30° まで 30° 間隔に変化させた LRFA-3DTSE 法と再収束パルス角を 180° で一定とした 3DTSE 法 (180° 法) を撮像し、得られたファントム画像より信号強度を観察した。

2) FC およびスライス方向

流速補償技術である SFC は、位相方向に強く周波数方向に弱い双極傾斜磁場の印加を行うため、スライス面に対する血流の方向依存性が血液信号に変化をもたらすことが考えられる。そこで、再収束パルス角を 30° とした LRFA-3DTSE 法に、SFC, FC 付加無し (non-FC) をそれぞれ併用し、2 方向のスライス面に対する流れの方向依存性を一次元フーリエ変換 (1DFT) 法²⁰⁾ で観察した。2 方向のスライス面は、スライス面内に対し位相方向と平行に流れる「In-plane parallel flow」およびスライス

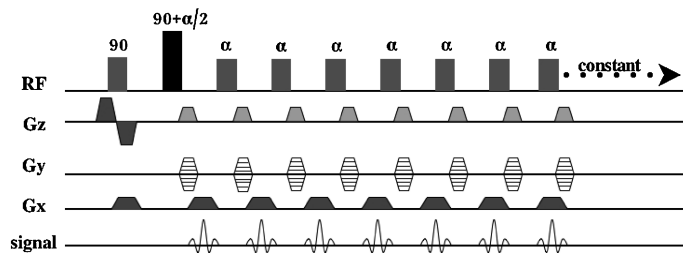


Fig. 2. Pulse sequence diagram of LRFA-3D TSE

面内に対し位相方向と垂直な「In-plane vertical flow」とし、流速を 30 cm/s で一定とした。ファントム実験による撮像条件は field-of-view (FOV) = 256 mm × 256 mm, matrix 数 = 256 × 256, echo train length = 16, echo space = 6.0 mm, repetition time (TR) = 2000 ms, echo time (TE) = 21 ms とし、再収束パルス角の検討では FC の併用は行わなかった。

3) ボランティアによる検討

10名のボランティアを対象に、再収束パルス角および FC の変化による flow void 効果について検討した。再収束パルス角による検討は、SFC を併用した LRFA-3DTSE 法の再収束パルス角を 160° から 30° まで 30° ごとに変化させ、撮像断面は冠状断像にて撮像を行った。FC による検討は再収束パルス角を 30° とした LRFA-3DTSE 法に SFC, non-FC をそれぞれ併用し、スライス方向はファントム実験同様ファントムの流れに対して 2 方向で撮像を行った。ボランティア検討で使用した LRFA-3DTSE 法の各撮像条件は以下の通りである。FOV = 160 mm × 160 mm, voxel size = 0.7 mm (Ny) × 0.7 mm (Nx) × 1.2 mm (Nz), SENSE phase reduction = 2.0, slices = 50, echo train length = 120, echo space = 6.0 mm, TR = 2000 ms, TE = 21 ms, flip angle = 90°, refocusing angle = 30°, scan duration = 2.17 min. 画像コントラストは、短時間ボリュームデータでの椎骨脳底動脈血管病変スクリーニングを目的としたため、比較的 SN の確保が容易な short TE, centric k-space order を選択し、プロトン密度強調とした。

結 果

1. 再収束パルス角

再収束パルス角の変化に対し LRFA-3D TSE 法および 180° 法は速い流速ほど信号低下を認めた。また LRFA-3D TSE 法において再収束パルス角の低下に伴い信号低下を認め、再収束

パルス角 30° で最も高い flow void 効果を示した (Fig. 3)。

2. FC およびスライス方向

In-plane parallel flow における SFC と non-FC は、位相エンコード初期段階から信号低下を認め、特に SFC は最も低い信号強度を示した。In-plane vertical flow では SFC と non-FC は位相エンコード初期段階から信号低下を認め、SFC と non-FC による信号低下に変化はなかった (Fig. 4)。

各スライス方向における FC の影響は再収束パルス角に依存せず同様の傾向を示し、in-plane flow において SFC は flow void 効果を得たが、x と y 軸の中間を流れる信号強度に対し flow void 効果の低減を認め、位相方向を変えても同様の結果を示した (Fig. 5A)。

3. ボランティア検討

10名のボランティア検討の結果、再収束パルス角の低下に伴い flow void 効果を認め、30° で最も良好な flow void 効果が得られた。また、各スライス方向において、in-plane parallel flow と in-plane vertical flow は SFC で最も高い flow void 効果を認めたが、in-plane vertical flow は in-plane parallel flow と比べわずかであるが flow void 効果の低減を認めた (Fig. 6)。

考 察

脳動脈解離は脳虚血やくも膜下出血といった異なった臨床症状に加え臨床症候もさまざまであり、病態が複雑で不明な点が多い疾患である²¹⁾。脳動脈解離では画像所見が経時的に変化することも特徴であり、解離の伸展、壁内血腫の吸収、動脈瘤内の血栓形成などさまざまな病態変化により生じると考えられている^{22), 23)}。これら経時的変化をとらえるうえで、非侵襲的で繰り返し検査のできる MRI は有用な検査法といえる。また、近年、後下小脳動脈の単独解離も注目されており²⁴⁾、経時的観察を目的と

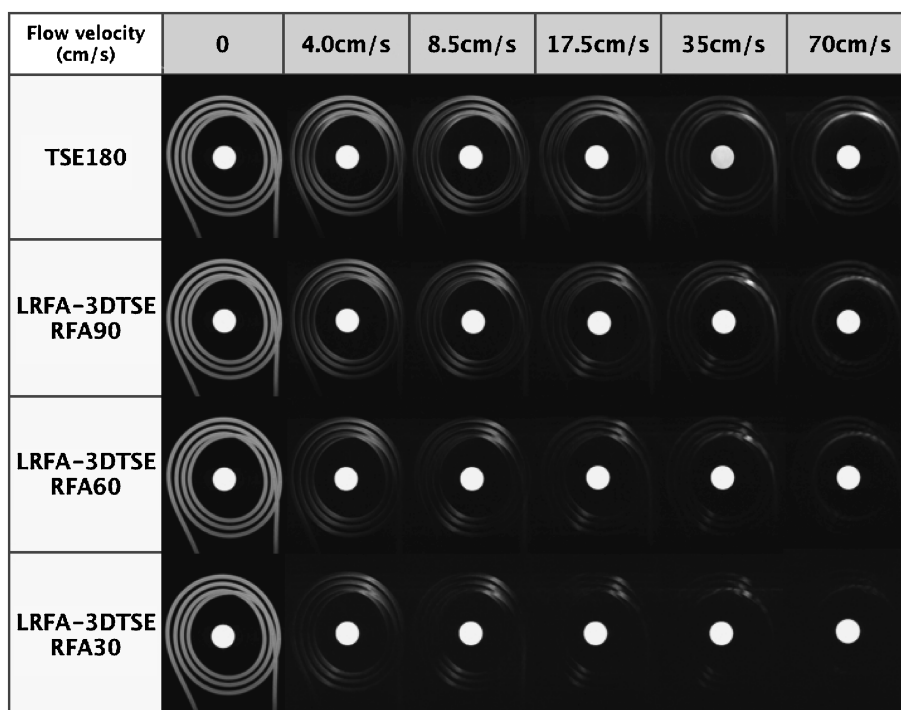


Fig. 3. Phantom images acquired with the LRFA-3DTSE sequence and turbo spin echo (TSE) sequence. Refocusing flip angle (RFA) of LRFA-3DTSE was varied between 90° and 30° with a 30° increment. The low-constant refocusing flip angles were more flow-void in each flow velocity.

した高いスクリーニング性にくわえ、より詳細に病変部を描出できる検査法が望まれる。

今回我々は、椎骨脳底動脈 volumetric black blood angiography 撮像法による頭蓋内脳動脈解離など椎骨脳底動脈病変の描出精度向上と時間的に負荷のない高いスクリーニング性を目的に、LRFA-3DTSE 法が椎骨脳底動脈を対象とした black blood angiography に応用可能であると考え検討を行った。今回の検討より、

1. 再収束パルス角を低角にすることで高い flow void 効果を得られる。
2. In plane flow では SFC の併用、および血流の方向と位相方向を同じとすることにより高い flow void 効果が得られる。

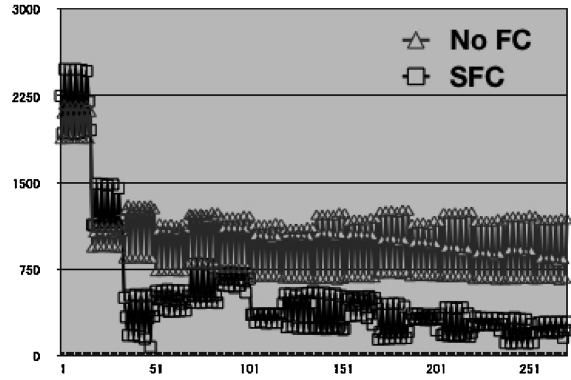
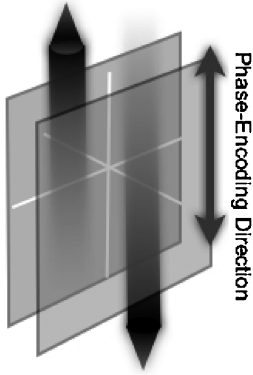
以上の結果が得られ、LRFA-3DTSE 法は血流など流れの信号強度に対し特徴的な効果を示

し、再収束パルス角、FC の印加方法およびスライス方向に依存した信号変化を認めた。

Carr-purcell-maiboom-gill (CPMG)²⁵⁾シーケンスは本来、even echo rephrasing による内因性の流速補償効果を持ち、さらにはエコー間隔を短縮することで血管内腔を高信号にすることも可能である^{26),27)}。対して低再収束パルス角を用いた LRFA-3DTSE 法の血流信号は、ETL 前方で大きな信号低下を示し、流速の増加に伴いより顕著となった。このことから、低再収束パルス角は、流れに対して敏感であり、より低角ほど血液の位相分散により flow void 効果が促進されることが考えられた。

FC およびスライス方向の検討においては、SFC, non-FC はそれぞれ流れの方向に依存した特徴的な信号変化を示し、RFA とともに流

IN-plane parallel flow



IN-plane vertical flow

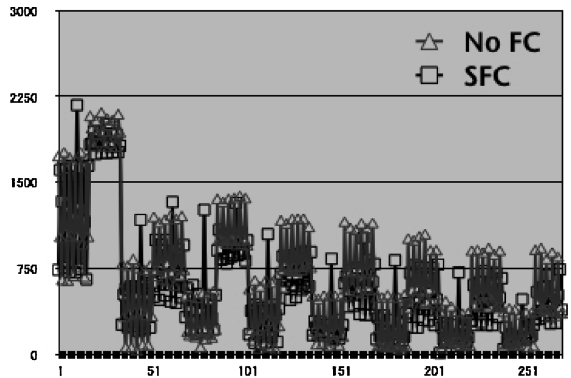
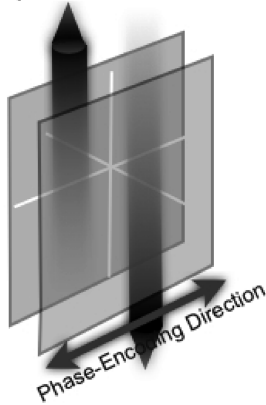


Fig. 4. Influence of flow compensation and imaging plane (in-plane parallel flow and in-plane vertical flow in phase encode) in signal behavior of echo train. In-plane parallel flow imaging plane, sensitized FC sequences were more flow-void than in-plane vertical flow imaging plane, No FC.

れの信号強度に影響を与える重要な因子と考えられた。

SFCはin plane parallel flowにおいて高いflow void効果を示した。SFCは再収束パルスを対称にして双極傾斜磁場が3軸に印加され特に位相およびスライス方向に強く印加されている。今回使用したシーケンスにおいては、y軸とz軸により強く印加されることから位相方向への流れに対し早期に位相分散を引き起こし高いflow void効果を示したと考えられた。

In-plane vertical flowにおいて高いRFAで

はeven echo rephrasingを損なうことはなく、flow void効果はin plane parallel flowと比べ低減した。しかし、低RFAを用いるとeven echo rephrasingが崩壊しflow void効果が強くなりin plane parallel flowと同様の傾向を示した。この原因として、SFCの双極傾斜磁場による位相分散は周波数方向にも起こるが印加強度は位相方向に比べ弱い。そのため高い再収束パルス角による位相分散効果の低下および位相方向より弱い双極傾斜磁場により周波数方向への流れではflow void効果が低減したと考え

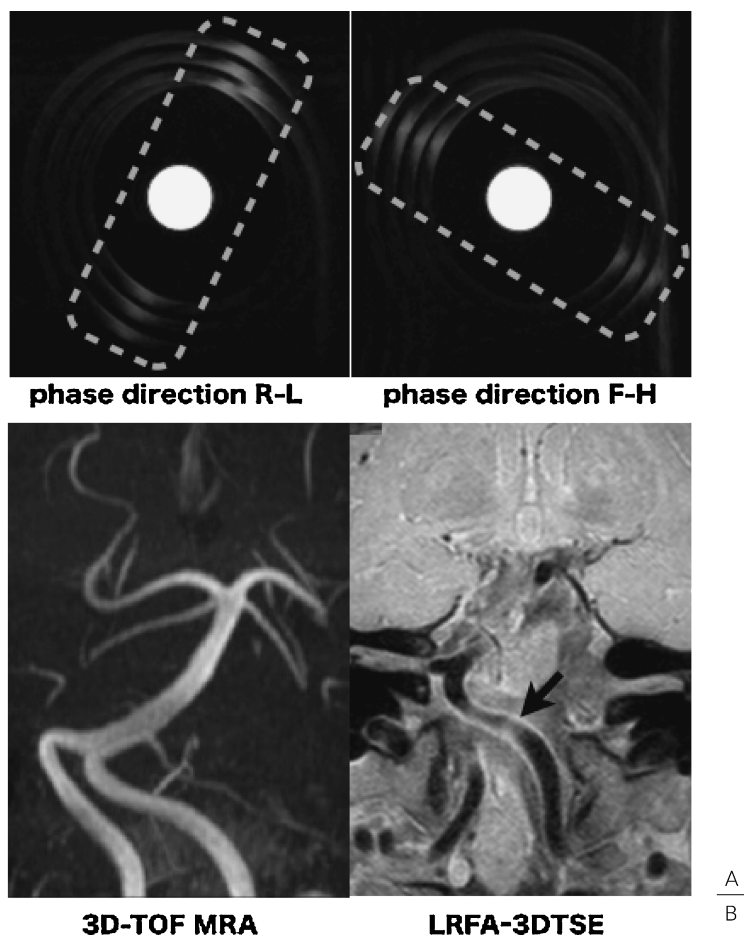


Fig. 5. Phantom images and healthy volunteers images acquired with the LRFA-3DTSE sequence. (A) Phantom images which changed phase direction. (B) Healthy volunteers images of 3D-TOF MRA and LRFA-3DTSE in vertebra base of brain artery.

Flow-void effect decreased the phase encoding direction and the middle flow of the frequency encoding direction (white dot line, arrow).

られた。しかし、in plane flowにおいて周波数方向と位相方向の間にある流れは flow void 効果が低減し、位相方向を変えても同様の傾向を示した。この信号の消え残りは位相方向に対し約 45° となる領域で起こり、SFCの適応を受けることのできない領域と考えられた。このことより位相方向に対し約 45° となる領域では、信号抑制が低減され、偽病変様の信号変

化を示す領域として临床上注意が必要とされた (Fig. 5B)。

椎骨脳底動脈を対象とした black blood angiography は、撮像断面を椎骨脳底動脈が in plane parallel flow となる冠状断像とし、SFCを併用した LRFA-3D TSE 法を用いることで連続した広範囲の血管壁を約2分で描出することが可能であった。また、スライス方向の撮像範囲

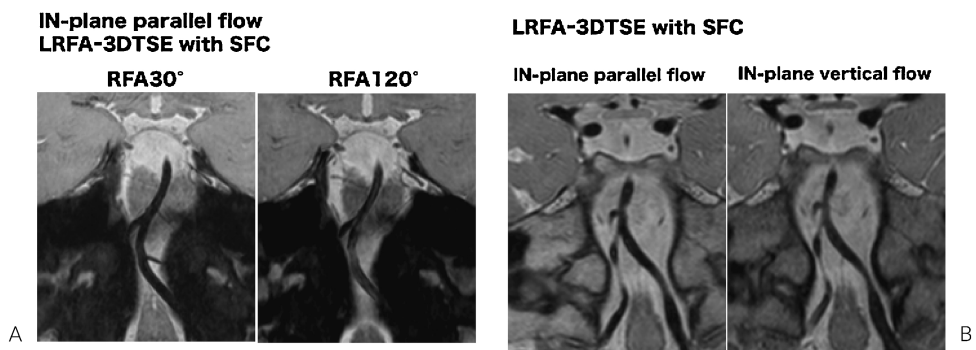


Fig. 6. Healthy volunteers images acquired with the LRFA-3DTSE sequence. (A) In-plane flow images acquired with LRFA 3D TSE used 30 degrees and 120 degrees. (B) Images acquired with IN-plane parallel flow and IN-plane vertical flow. Each acquisition are LRFA-3DTSE used SFC. Very-low refocusing flip angles (30°), “sensitized” flow-compensation at the “in-plane flow” imaging plane, that was more flow-voided in parallel direction of flow and phase-encode.

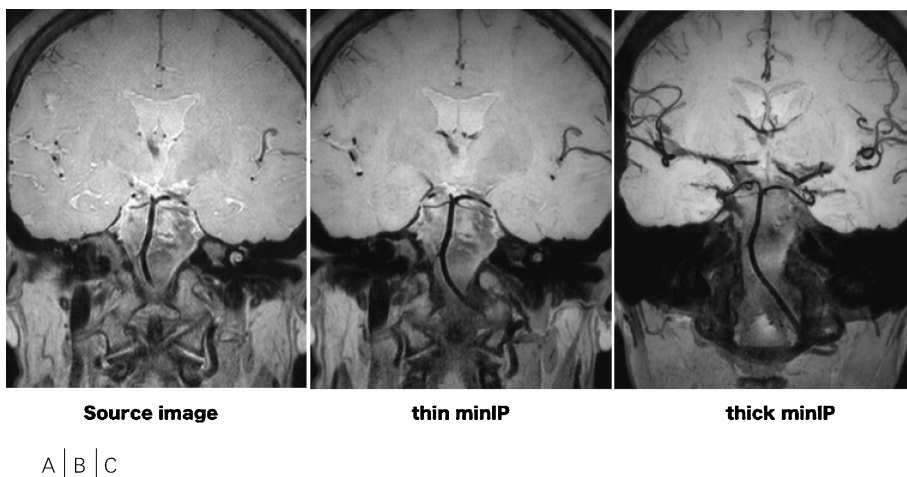


Fig. 7. MR images of the healthy volunteer. (A) Source image by LRFA-3DTSE. (B) MR image was made by thin MinIP. (C) MR image was made by thick MinIP.

は臨床でも十分対応でき、multiplanar reconstruction (MPR)による多断面での画像再構成および minimum intensity projection (minIP)による広範囲観察により動脈解離における二重腔や壁内血栓の検出に有効と考えられた (Figs. 7, 8).

今回のファントム検討では、最大流速 70 cm/

s から最小流速 4 cm/s の定常流を用いた。しかし、臨床例では拍動流により、拡張期流速と収縮期流速が生じ、拡張期に伴う最小流速は 0 cm/s ないし逆流となること、および、解離内腔や血管狭窄辺縁では遅延血流が起こることにより、ファントムでの設定最小流速よりも遅い血流が想定される。このため、今回のファント

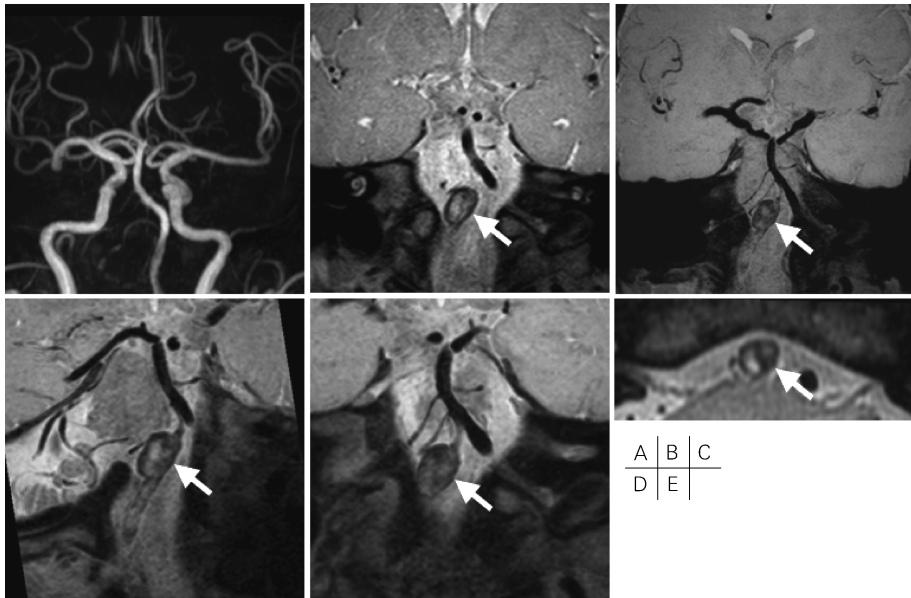


Fig. 8. Images of 2 patients with vertebral basilar artery dissection. (A), MIP image of 3D-TOF MRA. (B), LRFA-3DTSE source image. (C), LRFA-3DTSE MinIP image. (D), (E), LRFA-3DTSE MPR images (oblique coronal). (F) LRFA-3DTSE MPR image (oblique axial). 3D-TOF MRA shows left vertebral artery occlusion. LRFA-3DTSE images demonstrate irregular fusiform dilatation of the entire intracranial right vertebral artery (solid arrows).

ム検討では、拍動流への対応および、設定最小流速よりも遅い血流への対応が困難であり、非常に流れが遅い血流に対し、高い flow void 効果を得るためには、再収束パルス角、再収束パルス系列、FC 以外の因子の対応が必要と考えられた。また、画像コントラストをプロトン密度強調としたことは、椎骨脳底動脈血管病変に対し、高いスクリーニングを考慮したことによるが、解離内腔やプラークに対する性状評価は困難である。しかしながら、ETL, TE, k-space orderk 空間充填法による flow void 効果への影響は小さいものと考えられ、そのため良好な flow void 効果を維持したまま目的に応じたコントラストの最適化が可能であり、マルチコントラストによる血管内病変の性状評価も可能と推測される。

結 論

低再収束パルス角と SFC を併用した LRFA-3DTSE 法は、高い flow void 効果とスクリーニング性を有した black blood angiography 撮像法であり、今後のスクリーニング撮像法として動脈解離等、椎骨脳底動脈病変の臨床評価に有効な情報を提供することが示唆された。

文 献

- 1) Yonas H, Argamarcolis D, Takaoka Y, et al.: Dissecting intracranial aneurysms. Surg Neurol 1977; 8: 407-415
- 2) 山浦 晶, 吉本高志, 橋本信夫, 小野純一: 非外傷性頭蓋内解離性動脈病変の全国調査 (第 1 報). 脳卒中の外科 1998; 26: 79-86
- 3) 山浦 晶, 吉本高志, 橋本信夫, 小野純一: 非外傷性頭蓋内解離性動脈病変の全国調査 (第 2

- 報). 脳卒中の外科 1998 ; 26 : 87-95
- 4) 峰松一夫, 矢坂正弘, 米原敏郎, 西野晶子, 鈴木明文, 岡田 久, 鴨打正浩 : 若年者脳卒中診療の現状に関する共同調査研究 ; 若年者脳卒中共同調査グループ (SASSY-Japan). 脳卒中 2004 ; 26 : 331-339
 - 5) 峰松一夫 : 循環器病研究委託費 18 公-5 ; 後ろ向き研究による調査票を用いた脳動脈解離の実態調査 (SCADS-1) 結果報告会資料. (主任研究者 ; 峰松一夫) 2008
 - 6) 山田直明, 飯原弘二, 植田初江 : 頸動脈の MRI (A). 脈管学 2009 ; 49 : 459-464
 - 7) Crowe LA, Keegan J, Gatehouse PD, et al. : 3D volume-selective turbo spin echo for carotid artery wall imaging with navigator detection of swallowing. J Magn Reson Imaging 2005 ; 22 : 583-588
 - 8) Ibrahim ESH, Weiss RG, Stuber M, et al. : Stimulated-echo acquisition mode (STEAM) MRI for black-blood delayed hyperenhanced myocardial imaging. J Magn Reson Imaging 2008 ; 27 : 229-238
 - 9) Watanabe Y, Nagayama M, Suga T, et al. : Characterization of atherosclerotic plaque of carotid arteries with histopathological correlation : vascular wall MR imaging vs color Doppler ultrasonography (US). J Magn Reson Imaging 2008 ; 28 : 478-485
 - 10) Simonetti OP, Finn JP, White RD, et al. : "Black blood" T₂-weighted inversion-recovery MR imaging of the heart. Radiology 1996 ; 199 : 49-57
 - 11) 標準 MRI : McRobbie DW, Moore EA, Graves MJ, Prince MR. 形態的心臓撮像法, 杉村和朗, 第1版, 東京 ; オーム社, 2004 ; 266-268
 - 12) Busse R F, Hariharan H, Vu A, et al. : fast spin echo sequences with very long echo trains : design of variable refocusing flip angle schedules and generation of clinical T₂ contrast. Magn Reson Med 2006 ; 55 : 1030-1037
 - 13) Hennig J, Weigel M, Scheffler K, et al. : Multiecho sequences with variable refocusing flip angles : optimization of signal behavior using smooth transitions between pseudo steady states (TRAPS). Magn Reson Med 2003 ; 49 : 527-535
 - 14) Alexander AL, Buswell HR, Sun Y, et al. : Intracranial black-blood MR angiography with high-resolution 3D fast spin echo. Magn Reson Med 1998 ; 40 : 298-310
 - 15) Aoki S, Shirouzu I, Sasaki Y, et al. : Enhancement of the intracranial arterial wall at MR imaging : relationship to cerebral atherosclerosis. Radiology 1995 ; 194 : 477-481
 - 16) Busse RF, Brau AC, Vu A, et al. : Effects of refocusing flip angle modulation and view ordering in 3D fast spin echo. Magn Reson Med 2008 ; 60 : 640-649
 - 17) Alsop DC : The sensitivity of low flip angle RARE imaging. Magn Reson Med 1997 ; 37 : 176-184
 - 18) Hennig J, Scheffler K : Easy improvement of signal-to-noise in RARE-sequences with low refocusing flip angles. Rapid acquisition with relaxation enhancement. Magn Reson Med 2000 ; 44 : 983-985
 - 19) Hinks RS, Constable RT : Gradient moment nulling in fast spin echo. Magn Reson Med 1994 ; 32 : 698-706
 - 20) 堀江朋彦, 池田 秀, 室伊三男 : 心臓遅延造影 MRI Sequence IR-T₁TFE における TFE Factor の増加に伴う Artifact の検討. 日放技学誌 2004 ; 60 : 708-718
 - 21) 高木 誠 : 本邦における椎骨脳底動脈解離の特徴とその診断—治療の現状と問題点. No To Shinkei 2002 ; 54 : 203-211
 - 22) Mizutani T, Kojima H, Asamoto S, Miki Y : Pathological mechanism and three-dimensional structure of cerebral dissecting aneurysms. J Neurosurg 2001 ; 94 : 712-717
 - 23) Mizutani T, Kojima H, Asamoto S : Healing process for cerebral dissecting aneurysms presenting with subarachnoid hemorrhage. Neurosurgery 2004 ; 54 : 342-347
 - 24) Korematsu K, Yoshioka S, Abe E, et al. : Spontaneous resolution of isolated dissecting aneurysm on the posterior cerebellar artery. Acta Neurochir (Wien) 2008 ; 150 : 77-81
 - 25) Carr HY, Purcell EM : Effects of diffusion on free precession in nuclear magnetic resonance experiments. Phys Rev 1954 ; 94 : 630-638
 - 26) Katz J, Peshock RM, Malloy CR, et al. : Even-echo rephasing and constant velocity flow. Magn

Reson Med 1987 ; 4 : 422-430

27) Miyazaki M, Ichinose N, Sugiura S, et al. : A novel MR angiography technique : SPEED ac-

quisition using half-Fourier RARE. J Magn Reson Imaging 1998 ; 8 : 505-507

Volumetric Black Blood Angiography by Low Refocusing Flip Angle 3D Turbo Spin Echo in the Intracranial Vertebrobasilar Artery

Masanobu NAKAMURA¹, Masami YONEYAMA¹, Atsushi TAKEMURA²,
Takashi TABUCHI¹, Junko OGURA¹, Seishi SAWANO¹

¹*Medical Satellite Yaesu Clinic
1-5-9 Yaesu, Chuo-ku, Tokyo 103-0028*
²*Philips Electronics Japan, Ltd.*

Subarachnoid hemorrhage and cerebral infarction are frequently observed in intracranial vertebrobasilar artery dissections. Magnetic resonance (MR) imaging is noninvasive and useful for demonstrating characteristic features of this condition, such as the presence of intimal flap or double lumen, and for monitoring chronological changes in lesions. Time-of-flight (TOF) MR angiography (MRA) has been the most widely used non-contrast-enhanced angiography but offers limited visualization of both small vessels with slow flow and vascular structures with complex flow. Double inversion recovery (DIR) permits assessment for the presence of cervical arterial dissection, but its performance has been limited by long scan times and incomplete coverage. Recently, 3-dimensional (3D) fast spin echo sequence with low flip refocusing (LRFA-3DTSE) has been used for volumetric imaging and shows promise for black blood angiography. In this study, we propose a new scheme for optimizing sequence parameters for volumetric black blood angiography in the intracranial vertebrobasilar artery. We explore the sensitivity of low flip refocusing and “flow compensation” to flow. This optimal sequence can be used for 3D volumetric black blood angiography in the intracranial vertebrobasilar artery. Future studies with optimized parameters will determine the clinical efficacy of this technique.