

◆ 症例報告 ◆

MRI を用いた頸動脈ステント留置後再狭窄の評価について

細野 篤¹⁾ 大川原 舞¹⁾ 山口 裕之¹⁾ 鈴木 隼¹⁾
越阪部 学¹⁾ 上田 幹也¹⁾ 前田 高宏¹⁾

要旨：【目的】頸動脈ステント留置後再狭窄評価における 3D variable refocusing flip angle turbo spin echo(3D VRFA TSE)法の有効性について検証した。【症例】当院で頸動脈ステント留置術を施行した 23 名について検討した。全例でステント留置後の 3D VRFA TSE 法による内腔観察は可能であった。ステント内再狭窄を認めた症例は 5 例で、いずれも再狭窄部位の描出は良好であった。代表 3 症例について、画像とともに症例を提示する。【結論】3D VRFA TSE 法は頸動脈ステント留置後再狭窄のフォローアップとして有効である。

Key words: carotid artery stenting, in-stent restenosis, MRI

緒 言

頸動脈ステント留置術後の評価には、time-of-flight magnetic resonance angiography (TOF-MRA)、頸動脈エコー、造影 computed tomography angiography (CTA) 等が用いられる。TOF-MRA は、ステント留置部では金属アーチファクトにより信号欠損となるため、ステント内腔評価は困難であり、頸動脈エコーも石灰化や高位病変等により内腔の観察が困難になる症例もある。造影 CTA では比較的良好な再狭窄の検出が可能だが、アレルギーや腎機能が低下している患者への影響などが懸念され、さらに金属アーチファクトの問題として、特に Carotid Wallstent (Boston Scientific, Marlborough, MA, USA) では、タンタルによるアーチファクトの影響が大きいとの報告もある¹⁾。今回我々は、MRI black-blood (MRI-BB) 法の一つである磁化率アーチファクトが少ない撮影方法として、3D variable refocusing flip angle turbo spin echo (3D VRFA TSE) 法を用いて頸動脈ステント留置後再狭窄の評価を行い、その有用性を検討した。

方 法

当院において 2017~2018 年の期間で頸動脈ステント

留置術を施行した全 23 例 24 病変について術後経過を追跡し、後方視的に 3D VRFA TSE 法の有効性を検討した。男性 21 例、女性 2 例、平均年齢 75.1 歳、follow up 期間は 1~77 カ月 (中央値 7 カ月) であった。ステントは closed-cell stent (CCS) である Carotid Wallstent 15 例、open-cell stent (OCS) である PRECISE (Cardinal Health Inc., Dublin, OH, USA) 5 例 と Protégé (Medtronic, Minneapolis, MN, USA) 2 例、複数ステント 2 例で、3D VRFA TSE 法と頸動脈エコーでの描出画像の比較を行った。MRI 撮影装置は SIGNA Explorer 1.5T (GE ヘルスケア・ジャパン、東京) を使用し、撮影条件は 3D VRFA TSE 法：(FOV: 240×240 mm, Matrix: 320×320, Recon Voxel Size: 1.0×1.0×1.0 mm, TR: 550 msec, TE: 15 msec, ETL: 20, BW: 50, ARCfactor: 2.0), Thickness: 1.0 mm (72 slice, SENSE factor: 1.2, BW (Hz)/WFS (pixels) 312.5, NEX: 3, Fat suppression: CHESSE, TA: 5'10) とした。

結 果

3D VRFA TSE 法で撮影されたステント留置術後の内腔画像は、ステントの断端部分では一部金属アーチファクトが認められたが、全ての症例でステントの種類によらず内腔の描出は良好であった。追跡した症例のうち、ステント内プラークは 5 例に認められ、全て CCS である Carotid Wallstent 留置後であり、うち 2 例は再治療を要した。ステント内プラーク例は、全例で頸動脈ステント留置術後半年以降に出現しており、iso intensity を示していた。5 例ともステント内プラークの狭窄率と形状

¹⁾大川原脳神経外科病院脳神経外科
責任著者：〒050-0082 北海道室蘭市寿町 1 丁目 10 番 1 号
大川原脳神経外科病院脳神経外科 細野 篤
E-mail: ahosono-ky@umin.ac.jp
(2021 年 8 月 2 日受付, 2021 年 8 月 24 日受理)
doi: 10.3995/jstroke.10958

は頸動脈エコーでの評価と同様であり、3D VRFA TSE 法による撮影方法は、頸動脈ステント留置術後の再狭窄の評価に有用であった。代表3症例について、以下に画像とともに症例呈示を行う。呈示された3D VRFA TSE 法による画像は、いずれも多断面再構成画像である。

症例呈示

症例1：74歳，男性

左大脳半球脳梗塞精査にて両側頸動脈狭窄症を指摘され、術前頸部プラークイメージMRIならびに頸動脈エコーでは、左頸動脈狭窄部については石灰化病変主体であり、右については不安定プラークを疑われた。まずは症候性の左内頸動脈狭窄症について、頸動脈ステント留置術の方針とされ、OCSであるPRECISE stent 9×40 mmを留置し問題なく終了した。その後、無症候性である右内頸動脈狭窄症について増悪を認めため、同様に頸動脈ステント留置術の方針とされた。Distal protectionにCarotid GUARDWIRE (Medtronic)を使用し、Carotid Wallstent 8×29 mmを留置し、後拡張には4 mm径のballoonを使用した。直後のDSAではplaque protrusionを認めず、自宅退院とされた。3カ月後の外来では問題なく抗血小板薬2剤内服を1剤へ変更したが、9カ月後の外来にて頸動脈エコー、3D VRFA TSE法ともに右頸動脈ステント内腔に再狭窄を認めた(Fig. 1)。描出されたステント内腔のプラーク形状や狭窄率は類似しており、どちらも良好に観察された。本症例は無症候性のため抗血栓療法を強化し、増悪なく経過した。

症例2：69歳，男性

左上下肢の軽度麻痺で来院し、頭部MRIにて右大脳半球分水嶺領域に新鮮脳梗塞を認めた。頸動脈エコーでは右頸部内頸動脈狭窄を認め、リハビリテーション後、全身状態が安定したところで頸動脈ステント留置術の方針とされ、distal protectionにCarotid GUARDWIREを使用し、Carotid Wallstent 10×31 mmを問題なく留置し、4 mm径のballoonで後拡張を行った。直後のDSAではplaque protrusionを認めず、経過良好であり、自宅退院となった。その後、外来での経過観察28カ月後に左上下肢一時的脱力のため当院へ搬送された。患者は抗血小板薬内服を自己中断していたとのことであったが、頸動脈エコーならびに3D VRFA TSE法ともに留置したステント内腔に潰瘍性プラークの突出を認めた(Fig. 2)。ステント内腔に確認された潰瘍を伴った再狭窄病変は、観察範囲では潰瘍の形状や狭窄率なども類似した描出であったが、頸動脈エコーでは、内腔が一部石灰化による音響陰影のため描出不良であった。一方で、3D VRFA

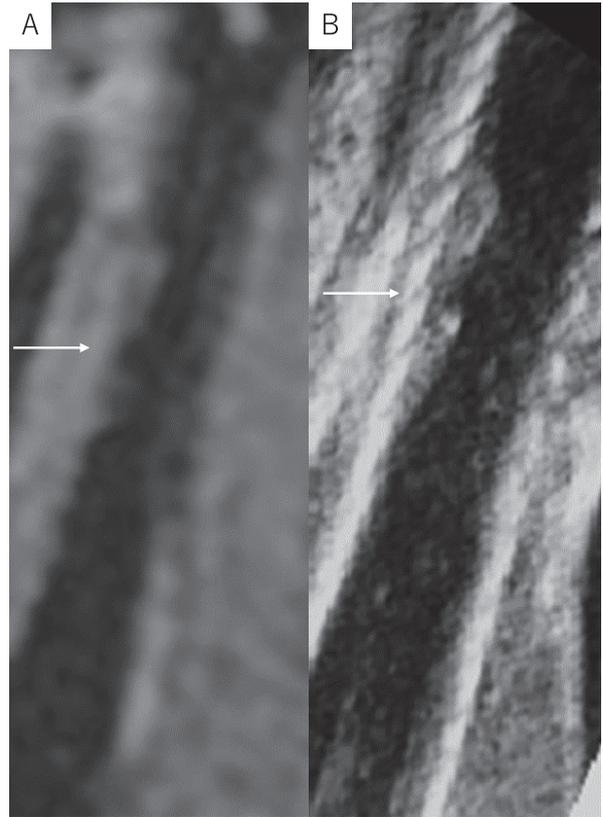


Fig. 1 A：3D VRFA TSE法，B：頸動脈エコー
どちらもステント内腔の観察は良好であり、矢印が示すステント内再狭窄部位のプラーク形状も概ね一致しているのが確認される。

TSE法ではステント内腔全域にわたり良好に観察されるのが確認された。患者は中断していた抗血小板薬内服を再開し、その後自覚症状は認めず、外来で経過を観察された。

症例3：66歳，男性

ふらつきと構音障害が出現し当院外来を受診、頭部MRIにて左前頭葉に散在性小梗塞と頸動脈エコーでhypoechoic左内頸動脈狭窄を認めた。DSAでは側副血行路の発達不良で、頭部single photon emission computed tomography (SPECT)検査では患側大脳半球の血流低下を認め、staged angioplastyの方針とされた。まずは患側頸部内頸動脈へ経皮的血管形成術を施行し、20日後にCarotid Wallstent 10×24 mmを留置し、後拡張は4 mm径のballoonで行い、周術期有害事象なく自宅退院とされた。その後、外来での経過観察16カ月目に頸動脈エコーならびに3D VRFA TSE法にてステント内再狭窄を認めた(Fig. 3)。頸動脈エコーではステント内狭窄部にわずかに血流信号を認め、3D VRFA TSE法による描出では、設定した撮影条件では内腔はほぼ閉塞しているが、高度な再狭窄を示唆するものであることは確認

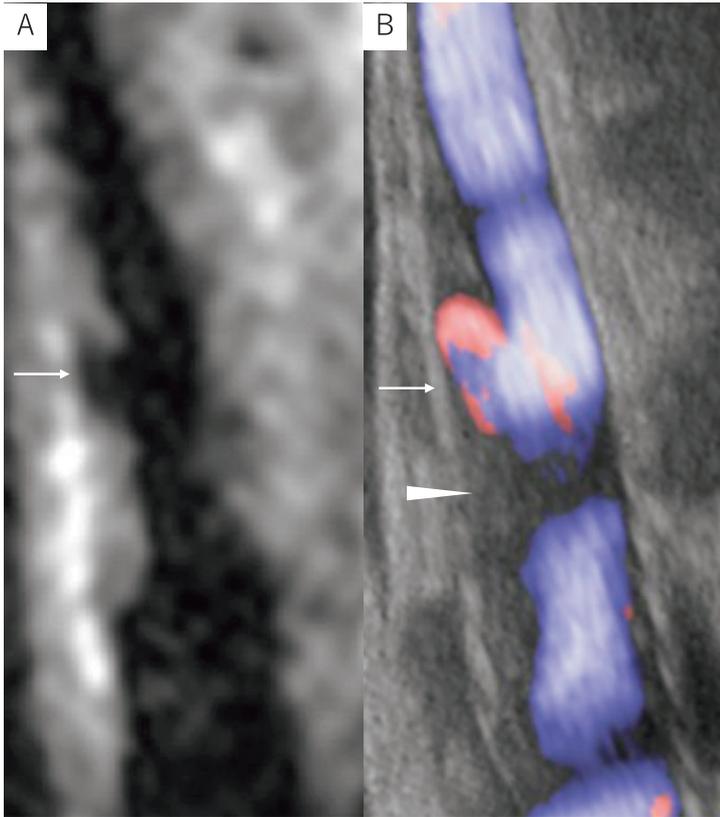


Fig. 2 A : 3D VRFA TSE 法, B : 頸動脈エコー
 矢印が示す再狭窄部位の潰瘍形状は両者で同様に描出されているが, 頸動脈エコーで矢印が示す内腔部分は石灰化による音響陰影のため一部観察が妨げられているのに対して, 3D VRFA TSE 法ではステント内腔全域にわたり良好に描出されている。

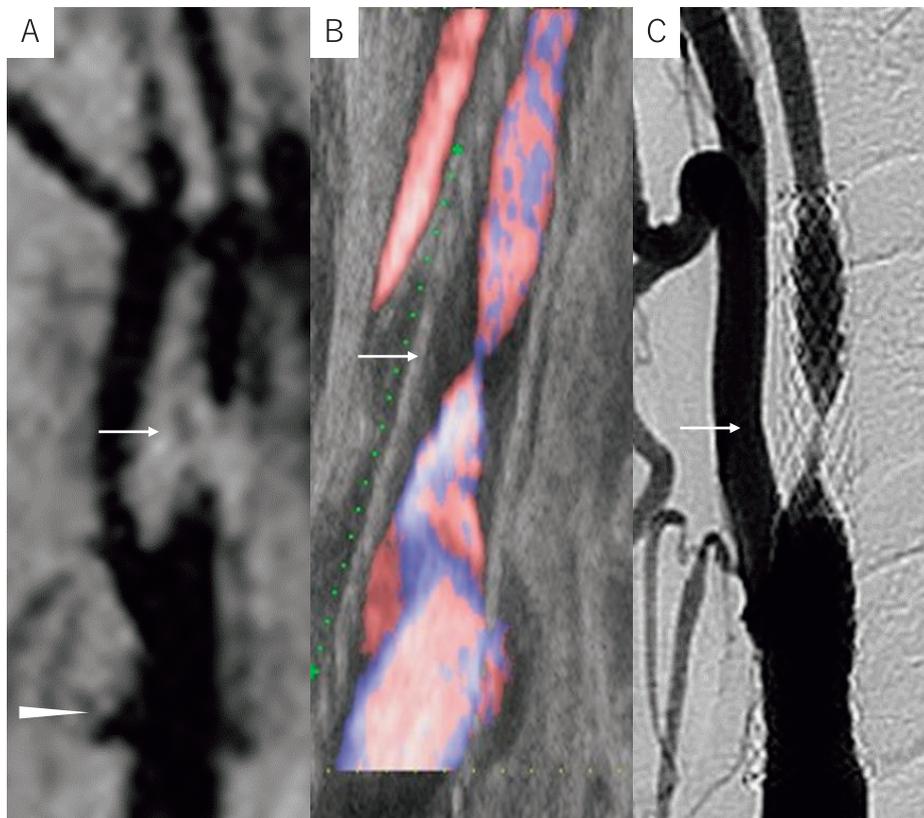


Fig. 3 A : 3D VRFA TSE 法, B : 頸動脈エコー, C : DSA
 矢印が示す狭窄部位について今回の分解能設定では 3D VRFA TSE 法ではステント内腔はほぼ閉塞しているが, 頸動脈エコーではわずかに血流信号が観察され, 再治療時 DSA 画像では高度な再狭窄が確認される。また 3D VRFA TSE 法では矢印が示すステントの断端部分に一部金属アーチファクトが認められる。

できる。再治療時の DSA では閉塞寸前の高度狭窄であることが確認され、再度頸動脈ステント留置術の方針となり、PRECISE stent 6x30 mm を追加留置した。また、患者は抗血小板薬の内服自己中断ならびに喫煙を再開していたため、内服再開ならびに禁煙指導を行い、自宅退院とされた。なお、3D VRFA TSE 法画像では、ステントの断端部分で一部金属アーチファクトも確認された。

本稿の記載に際して、症例 1, 2, 3 全ての患者本人より同意を得た。

考 察

近年のデバイス進歩や知見の積み重ねによって、頸動脈ステント留置術における末梢への塞栓症や再狭窄などの合併症は減少してきたものの、依然問題として残されている。ステント留置後再狭窄の頻度については、CREST 研究では 2 年間で 6.0%、EVA-3S 研究では 3 年間で 3.3%、SPACE 研究では 2 年間で 10.7% との報告がある²⁻⁴⁾。また、再狭窄の予測因子としては、これまでに数々の報告があるが、CREST のサブ解析からは女性、糖尿病、脂質異常が³⁾、EVA-3S からは加齢等が報告されている²⁾。再狭窄後の予後への影響について、SPACE や EVA-3S では長期成績として脳卒中再発との関連性は否定的な報告であるが^{2,4)}、一方で、頸動脈ステント留置術と頸動脈内膜剝離術を合わせた解析では、CREST のサブ解析によれば再狭窄は hazard ratio 4.37 で、同側脳卒中のリスク因子であるとの報告もある³⁾。実臨床においては、再狭窄が全く予後に影響を与えないとは言いきれず、経過を追う必要があるだろう。さらにステント構造上の違いとしては、CCS と OCS での比較の場合、頸動脈エコーにおいて、peak systolic velocity (PSV) > 300 cm/s を示す割合は CCS で有意に多かったとの報告や⁵⁾、CCS で PSV > 130 cm/s と定義した中等度狭窄の割合が高いと報告されているものの、PSV > 210 cm/s と定義した高度狭窄では有意差はなく、同側脳卒中の頻度にも違いはなく、ステント構造の違いによる長期成績への影響は明らかではないとの報告もある⁶⁾。いずれも再狭窄頻度としては CCS の方が多いという結果であり、本例においても、ステント内プラークを認めた症例はいずれも CCS を留置した患者であった。そこに抗血小板薬内服中断や喫煙などのリスク要因が加わることで高度狭窄や症候性へと進行したことが想定される。狭窄の機序について、早期の再狭窄は plaque protrusion や血栓形成によるものと考えられ、慢性期においてはステント留置後の血管壁への拡張力が誘因となり、血管内膜が損傷し、intimal hyperplasia が生じるとの説が報告されて

いる^{7,8)}、線維性に富む組織に置き換わり自然退縮することもあるが、高度な狭窄では再治療を検討される。再狭窄の有無や進行度を確かめるため、CAS 後の評価としては、DSA、造影 CTA、造影 MRA、頸動脈エコー等がある。しかしながら、DSA は侵襲性のため頻回な画像検査には適さず、造影 MRA ならびに造影 CTA については、ともにアーチファクトによる正確な評価が困難となる場合やステント構造や原材料による画像評価への影響が懸念され⁹⁾、アレルギーや腎機能低下した患者では施行できない場合がある。頸動脈エコーは非侵襲的かつ簡便であり、外来での画像評価におけるスタンダードな検査方法であるが、石灰化病変や高位病変などによっては内腔の観察が困難となる場合や、実施者の練度による再現性の問題もある。また、特に CCS より OCS において、血流の乱流のためにカラードプラーや B モードによる描出が不良となることや、血管の蛇行によってはステントストラットのエッジのためにアーチファクトが目立つとの報告もある¹⁰⁾。これらの欠点を補い、外来で比較的簡便に施行できる検査方法として、我々は 3D VRFA TSE 法による頸動脈ステント留置後血管内腔の経過観察を行った。3D VRFA TSE 法とは高速 spin echo 法の再収束フリップ角を連続的に可変する方法であり、低い再収束フリップ角では flow void がより強くなるため 3D black-blood imaging が得られ、心電図同期も不要のため、5 分程度の比較的短時間で撮影が可能である。Refocusing pulse がなく傾斜磁場の反転でエコーを収集する Gradient Echo 法では、頸動脈ステント留置後、磁化率の影響で位相が乱れ、TOF-MRA では通常ステント部の信号は欠損し内腔は観察できない。しかし、refocusing pulse を用いる本撮影法では、位相の乱れを抑制し頸動脈ステント留置直後からの内腔観察も可能であり、本症例においては、ステント内再狭窄部の潰瘍といったプラーク形状の描出も良好であったことが確認された。また、3D 収集画像のため、血管狭窄部プラークの立体的評価も可能であり、今回マトリックスサイズを 1.0 mm の高分解能撮影と設定したため、頸動脈エコーや DSA との画像比較でも遜色ない分解能を示した。さらには OCS や CCS といったステントの種類にかかわらず、内腔の良好な観察が可能であることも確認され、本報告において、再狭窄症例は全て CCS 留置後であり、OCS 留置後の再狭窄症例の経験はないため断言はできないが、おそらく OCS 留置後においてもステント内再狭窄部プラークの描出と経過観察には有効であると想定される。また、頸動脈エコーと異なりステントそのものは描出されないため、ステント内腔観察では厳密には CT 画像と

の fusion などの工夫が必要であるが、ある程度の高度狭窄を評価するのであれば、fusion なしでも内腔観察には十分有効な画像精度であった。本報告は単一施設の比較的少数からのものであり、頸動脈エコーや DSA と比較し症例を重ねても信頼に足る画像精度を保つのか、また、近年メッシュ型ステントである CASPER Rx stent (テルモ、東京)も国内での使用が開始され、新ステントでの長期的な観察にも有効か等、さらなる症例の蓄積と検討が必要である。

結 語

3D VRFA TSE 法による頸動脈ステント留置術後のステント内再狭窄部ブランクの描出は、頸動脈エコー、DSA と比較しても遜色ない画像精度であり、術後経過観察として有用な可能性が示唆された。

著者は日本脳卒中学会への COI 自己申告を完了しており、本論文の発表に関して、開示すべき COI はない。

参考文献

- 1) Köhler M, Burg MC, Bunck AC, et al.: Dual-source CT angiography of peripheral arterial stents: in vitro evaluation of 22 different stent types. *Radiol Res Pract* 2011: 103873, 2011 doi: 10.1155/2011/103873
- 2) Arquizan C, Trinquart L, Touboul PJ, et al.: Restenosis is more frequent after carotid stenting than after endarterectomy: the EVA-3S study. *Stroke* 42: 1015–1020, 2011
- 3) Lal BK, Beach KW, Roubin GS, et al.: Restenosis after carotid artery stenting and endarterectomy: a secondary analysis of CREST, a randomised controlled trial. *Lancet Neurol* 11: 755–763, 2012
- 4) Eckstein HH, Ringleb P, Allenberg JR, et al.: Results of the Stent-Protected Angioplasty versus Carotid Endarterectomy (SPACE) study to treat symptomatic stenoses at 2 years: a multinational, prospective, randomised trial. *Lancet Neurol* 7: 893–902, 2008
- 5) Hussain HG, Aparajita R, Khan SZ, et al.: Closed-cell stents present with higher velocities on duplex ultrasound compared with open-cell stents after carotid intervention: short- and mid-term results. *Ann Vasc Surg* 25: 55–63, 2011
- 6) Müller MD, Gregson J, McCabe DJH, et al.: Stent design, restenosis and recurrent stroke after carotid artery stenting in the International Carotid Stenting Study. *Stroke* 50: 3013–3020, 2019
- 7) Clark DJ, Lessio S, O'Donoghue M, et al.: Mechanisms and predictors of carotid artery stent restenosis: a serial intravascular ultrasound study. *J Am Coll Cardiol* 47: 2390–2396, 2006
- 8) Toma N, Matsushima S, Murao K, et al.: Histopathological findings in a human carotid artery after stent implantation. *Case report. J Neurosurg* 98: 199–204, 2003
- 9) Frölich AM, Pilgram-Pastor SM, Psychogios MN, et al.: Comparing different MR angiography strategies of carotid stents in a vascular flow model: toward stent-specific recommendations in MR follow-up. *Neuroradiology* 53: 359–365, 2011
- 10) 田村啓和, 赤岩靖久, 藤本剛士ら: 頸動脈ステントの種類による超音波画像の評価. *Neurosonology* 29: 95–98, 2016

Abstract

Evaluation of in-stent restenosis after carotid artery stenting using MRI

Atsushi Hosono, M.D.,¹⁾ Mai Okawara, M.D.,¹⁾ Hiroyuki Yamaguchi, M.D.,¹⁾ Syun Suzuki, M.D.,¹⁾ Manabu Osakabe, M.D.,¹⁾ Mikiya Ueda, M.D.,¹⁾ and Takahiro Maeda, M.D., Ph.D.¹⁾

¹⁾Department of Neurosurgery, Okawara Neurosurgical Hospital

Objective: We examined the effectiveness of 3D variable refocusing flip angle turbo spin echo (3D VRFA TSE) in the evaluation of restenosis after carotid artery stenting. **Case Presentation:** We examined 23 patients who underwent carotid artery stenting at our hospital. In all cases, in-stent lumen observation by the 3D VRFA TSE after stenting was possible. In-stent restenosis was observed in 5 cases, and the restenosis site was well visualized in all cases. The three representative cases are presented with images. **Conclusion:** The 3D VRFA TSE is effective as a follow-up to restenosis after carotid artery stenting.

Key words: carotid artery stenting, in-stent restenosis, MRI