

- 1) テクニカルノート
- 2) Stent-assisted coiling 治療で Neck bridge した Stent 内腔の 3D-TOF MRA による血流評価
- 3) 三井 宣幸<sup>1)</sup> 窪田 耕治<sup>2)</sup> 泉 直人<sup>3)</sup> 和田 始<sup>4)</sup>
- 4) 北見赤十字病院 1)、 網走脳神経外科・リハビリテーション病院 放射線診断部 2)、網走脳神経外科・リハビリテーション病院 脳神経外科 3) 旭川医科大学 脳神経外科講座 4)
- 5) 三井 宣幸  
北見赤十字病院 脳神経外科  
北見市北 6 条東 2 丁目  
0157243115  
Mail:mitsui@gold.ocn.ne.jp
- 6) 3D-TOF MRA, Stent assist coil embolization, Metal artifact, Flip Angle
- 7) 本論文を, 日本脳神経血管内治療学会 機関誌 JNET Journal of Neuroendovascular Therapy に投稿するにあたり, 筆頭著者, 共著者によって, 国内外の他雑誌に掲載ないし 投稿されていないことを誓約致します.

## Abstract

(目的) Stent-assisted coiling(SAC)治療を施行した脳動脈瘤に対し，金属アーチファクトを軽減するためにパラメーターを最適化した 3D-TOF MRA (3dimensional time of flight MRA) を行い，比較検討した．

(方法) 未破裂脳動脈瘤に対して，SAC 治療を施行した 7 症例 8 病変を対象とした．通常施行している MRA (Normal TOF:N-TOF) と flip angle(FA)など各パラメーターを工夫した Stent mode TOF(S-TOF)を撮像．母血管とステント内腔の信号強度を比較し検討した．

(結果) ステント内腔の血管信号強度は，ステント単体使用例では N-TOF と比較して S-TOF が有意差を持って( $P=0.012<0.05$ )視認性が高かった．LVIS Jr.は，信号強度減少率が平均： $39.0\%\pm 9.6\%$ で，同一サイズのステントを使用しても 26.1～48.9%と差が見られ，LVIS 単体では 2 枚重ねると 73.2%まで信号強度は低下した．Neck remnant に関して一部過大評価していたが，動脈瘤頸部の遅い流量も確認可能であった．

(結語) SAC 治療後も既存の MRI 装置でパラメーターを工夫した本法は，有意差を持ってステント内腔が視認可能で，残存動脈瘤も確認は可能であった．しかし，同一サイズの braided stent のメッシュ間隔の違いが信号強度に影響し残存動脈瘤が過大評価することを示し，今後の課題としてさらなる検討が必要と思われた．

## Introduction

近年，様々な頭蓋内ステントが開発され，従来のコイル塞栓術単独では治療困難であった症例にステント併用下 (Stent-assisted coiling : SAC) での治療適用が広がってきている<sup>1-4)</sup>．しかし，コイル塞栓術後の Neck remnant，動脈瘤の再開通や in-stent stenosis の可能性があり定期的な外来での経過観察が必要である．3D-TOF MRA (3dimensional time of flight MRA) は DSA(Digital subtraction angiography)検査と比べ非侵襲的に脳血管障害の評価が可能であるため広く行われているが<sup>5-8)</sup>，金属アーチファクトのためステント内腔や動脈瘤内及び頸部の評価が困難で，一般的に DSA 検査での経過観察が有用とされていた．しかし，カテーテル手技・被曝や造影剤アレルギーなどの危険性があり外来で簡易に行

える検査ではない<sup>3)</sup>。3.0T の contrast enhanced MRA(CE-MRA)の有用性も報告されているが、造影剤を使用するので非侵襲的とは言えない<sup>6-7)</sup>。

最近では、Silent Scan MRA (GE Healthcare, Milwaukee, Wisconsin; Silent MRA)が非造影法で行う ultra short TE と Arterial spin labeling(ASL)を用いたMRAテクニックとして報告され<sup>1-4)</sup>、その有用性は高く、SAC治療後の経過観察方法として注目されているが、高額なハードウェアの更新が必要である。今回我々は、現行MRI機種でパラメーターを調節することで金属アーチファクトを可能な限り軽減し臨床的に動脈瘤の経過観察として視認可能な撮像方法の工夫を行い良好な結果が得られたので報告する。

## Material and method

2016年1月から2017年9月までの期間で当施設において未破裂脳動脈瘤に対しSAC治療を施行した7症例8病変を対象とした。通常施行しているMRA: Normal TOF法(N-TOF)は、3.0T MR imaging system(Achieva; X-series Phillips社), SENSE NeuroVascular 16チャンネルコイルを用い multi slab法で、TR: 22msec, TE: 3.45msec, flip angle(FA): 17° , FC(flow compensation): on , FOV: 160mm, Matrix: 272x208(reconstruct:512), slice thickness: 1mm, Voxel size: 0.55x0.78x1.00mm, NSA(NEX): 2, water-fas shift(Band width): (1.8pixel/289Hz)で撮像。事前にビニルチューブを用いたSACモデルを作成しファントム実験を行い、金属アーチファクトを軽減するパラメーターを検討した Stent mode TOF法(S-TOF)は、single slab法で、TR:24msec, TE:1.63msec, flip angle(FA):30° , FC(flow compensation): off , FOV:160mm, Matrix:272x208(reconstruct:512), slice thickness:1mm, Voxel size:0.59x0.77x1.00mm, NSA(NEX):2, water-fas shift(Band width): minimum (0.567pixel/765.9Hz)と改変し撮像範囲を限定して施行した。

MIP(Maximum intensity projection)画像で、ステントが留置されている部位に連続する3箇所ROIを測定し信号の平均値をステント内腔の信号強度とし、治療した血管のステントを使用していない近位部に同様にROIを測定し母血管の信号強度として比を計算することで、ステントによる信号強度減少の割合を算出した(Fig.1)。また、DSAと比較し動脈瘤の閉塞評価や再開通・動脈瘤頸部の状態においても評価し検討した (Table 1.)。

統計解析

N-TOF と S-TOF の信号強度減少率は平均値及び標準偏差として報告する。それぞれの信号強度減少率の F 検定を行い母分散を判定したのちに、t 検定を行なった。P 値が 0.05 未満であれば統計学的有意差があると判断した。

## Result

N-TOF の信号強度減少率は  $58.13 \pm 11.07\%$  (範囲 75.10~39.43%) で、S-TOF の信号強度減少率は  $44.75 \pm 14.03\%$  (範囲 73.24~26.14%) であった。全症例の検討では有意差が見られなかったが ( $P=0.054$ )、ステント単体使用例では N-TOF では  $56.71 \pm 11.13\%$  (範囲 75.10~39.43%)、S-TOF で  $40.69 \pm 8.67\%$  (範囲 51.85~26.14%) で S-TOF が有意に信号強度減少を軽減できることが認められた ( $P=0.012 < 0.05$ )。

LVIS 単体使用例は 34.7% の信号強度減少で、2 枚重ねると 73.2% まで信号強度は低下した。LVIS Jr. は複数例に使用しており、信号強度減少率が平均 39.0% (26.1~48.9%) で、LVIS Jr. 3.5 x 18mm は 3 例に使用しており、信号強度減少率が平均 37.7% (26.1~48.9%) と大きな差があった (Table 1)。ステントの状態を DSA で確認すると、メッシュ間隔が狭いほど信号強度が低下している傾向であった (Fig. 2)。DSA で Neck remnant を確認したのは 3 例で、いずれも S-TOF でも評価可能であった。1 例は、DSA を基準として同様に確認できたが 2 例は過大評価している傾向が見られた (Fig. 3)。

## Discussion

SAC 治療を行なった動脈瘤は金属アーチファクトの影響で、母血管及び動脈瘤の再開通評価の経過観察に、一般的に MRA は不向きとされている。しかし日常診療で、簡便でかつ安全に行える MRA は有用であるため、SAC 治療後の経過観察が可能となるように様々な報告がされている<sup>3-10</sup>。近年の技術の進歩により Arterial Spin Labeling (ASL) 法と組み合わせた超短時間エコー時間 (Ultra short TE:UTE) を含む Silenz pulse シーケンス (GE Healthcare, Milwaukee, Wisconsin) を用いた非造影方法で行う Silent MRA 法が開発され、ステントやコイルなどの磁化率を減少させ金属アーチファクトの影響の少ない血管描出を可能とした<sup>4</sup>。Irie らは、SAC 治療を行なった患者に対しステント内腔の血流

の視認を、Silent MRA で統計学的な優位性を報告した<sup>3)</sup>。また Takano らは、単位面積あたりの金属量が増加し約 12~21%の血管被覆率とされる Single-wire braided stent の LVIS Jr. stent でさえも、Helmet-type remnant の検出に有用であったことを報告している<sup>2)</sup>。Silent MRA の有用性は明らかであるが、高額なハードウェアの更新が必要となる。また画像作成に関し、Silent MRA は処理された画像を取り扱うことになるため、素画像を得る事ができない難点があり多角的な評価を行う事が困難である。Ikushima らは、ステント内腔の視認性をあげるために Contrast enhanced MRA(CE-MRA)を用いて flip angle(FA), TE, band width(BW), field strength(FS)などの各種パラメーターを最適化する In vitro 実験を行なった。高い FA 値によって Reactive in-stent signal を 65%までの上昇が可能だが S/N 比が低下する事を示し、3.0T より 1.5T の方がノイズの軽減に効果があったことを報告している<sup>8)</sup>。また Choi らも、高い FA 値によってステント内腔の信号を改善するが、遅い流れや乱流は高い FA 値で引き起こされる saturation effect で SN 比が低下し描出できなくなるため、動脈瘤頸部の評価は困難と報告している<sup>9)</sup>。他にも造影剤による Short TE 効果を利用し金属アーチファクトを低減する CE-MRA の報告は散見されるが<sup>6)</sup>、ガドリニウムによる腎性全身性繊維症の重症合併症や小脳歯状核や淡蒼球にガドリニウムが沈着することが報告されており、造影剤を安易に繰り返す使用は避けるべきである<sup>11-12)</sup>。

今回我々は、非造影 3D-TOF MRA で高い FA 値(30° )を用いて S/N 比を軽減するように pixel 及びバンド幅などを調節設定し single slab 法で撮像するなどパラメーターを工夫して、ステント単体使用では統計学的に有意差を持ってステント内腔の視認性を向上させる事ができた(P=0.012<0.05)。また、動脈瘤の再開通の評価・判定においても、2 症例ではあるが、DSA と比較し過大評価しており、遅い流量の感度が高い可能性を示し、false negative は除外されるので十分に外来経過観察の方法としての可能性を示し得たと思われる(Fig.3)。しかし、同一サイズの LVIS Jr.の使用において、メッシュサイズの間隔の違いが信号強度に反映されることを示唆し(Fig.2)、LVIS を 2 枚重ねると内腔が確認できない結果を示した。これは、通常の TOF 撮影でもサイホン部は信号が乱れてしまう特徴があり、さらにステントの留置状況において金属量が多くなると十分な信号強度が得られなかった事が原因と考える。また、LVIS よりも金属量の少ないとされる Enterprise2 や Neuroform でより信号強度の減少が見られ、使用し

ている金属の種類にも影響されることが示唆された。本法は、Pipeline 等の金属量が多いステントに対する対応が今後の課題で、さらに高い FA 値での撮影が必要となり S/N 比低下が問題となるが、本法では素画像を得ることが可能であるため、多方面からの評価・検討が期待できる手法と考える。

## Conclusion

本研究は、現行の MRI 機種を用いて 3D-TOF MRA のパラメーターを工夫し、未破裂脳動脈瘤に対し stent assisted coil(SAC)治療したステント内腔の信号強度を計測し視認性を評価し有意差を示し、動脈瘤の閉塞評価に関しても外来で行う簡易な検査方法として有用であった。しかし、同一サイズの braided stent のメッシュ間隔の違いや使用しているステントや金属の種類、留置状況が信号強度に影響し得ることや、残存動脈瘤が過大評価されることを示し、今後の課題としてさらなる検討が必要と思われた。

利益相反開示

筆頭著者及び共同著者全員に利益相反はございません。

## Reference

1. Mine B, Aljishi A, D'Harcour JB, et al: Stent-assisted coiling of unruptured intracranial aneurysms:long-term follow-up in 164 patients with 183 aneurysms. J Neuroradiol 2014;41:322-28
2. Takano T, Oishi H, Aoki S, et al: Non-contrast-enhanced silent scan MR Angiography of intracranial anterior circulation Aneurysms Treated with a low-profile visualized intraluminal support device. AJNR Am J Neuroradiol 2017;38:1610-16
3. Irie R, Oishi H, Aoki S, et al: Assessing blood flow in an intracranial stent: A feasibility study of MR angiography using a silent scan after stent-assisted coil embolization for anterior circulation aneurysms. AJNR Am J Neuroradiol 2015;36:967-70
4. Takano N, Oishi H, Aoki S, et al: Usefulness of non-contrast enhanced MR angiography using a silent scan for follow up after Y-configuration

- stent-assisted coil embolization for basilar tip Aneurysms. *AJNR Am J Neuroradiol* 2017;38:577-81
5. Cho WS, Kim SS, Kim SH, et al: The effectiveness 3T time-of flight magnetic resonance angiography for follow-up evaluations after the stent-assisted coil embolization of cerebral aneurysms. *Acta Radiol* 2014;55:604-13
  6. Maciano D, Soize S, Pietrot L, et al: Follow-up intracranial aneurysms treated with stent-assisted coiling: Comparison of contrast-enhanced MRA, time-of-flight MRA, and digital subtraction angiogramphy. *J Neuroradiol* 2017;44:44-51
  7. Thamburaj K, Cockroft K, Kalapos P, et al: A comparison of Magnetic resonance angiography techniques for the evaluation of intracranial aneurysms treated with stent-assisted coil embolization. *Cureus* 2016 :8:e909.
  8. Agid R, Schaaf M, Farb R. CE-MRA for follow-up of aneurysms post stent-assisted coiling. *Interv Neuroradiol* 2012;18:275-83
  9. Ikushima Y, Watanabe Y, Doi T, et al: Effects of imaging parameters on the quality of contrast-enhanced MR Angiography of cerebral aneurysms treated using stent-assisted coiling: A phantom Study. *Magn Reson Med Sci* 2017;16:146-51
  10. Choi JW, Roh HG, Moon WJ, et al: Optimization of MR parameters of 3D TOF-MRA for various intracranial stents at 3.0T MRI. *Neurointervention* 2011;6:71-77
  11. Penfield JG, Reilly RF. Nephrogenic systemic fibrosiss risk: is there a difference between gadolinium-based contrast agents? : *Semin Dial* 2008;21:129-34
  12. Kanda T, Ishii K, Takenaka D, et al: High signal intensity in the Dentate nucleus and Globus pallidus on unenhanced T1-weighted MR images: Relationship with increasing cumulative dose of a Gadlium-based contrast material. *Radiology* 2014;270:834-41

Table 1. Summary of Cases

Fig.1

Representative case of MRA and Cone beam CT. This case used LVIS Jr. 3.5x18mm. A is Cone beam CT 3D-MIP. A shows relationship stent and coil. B is 3D Time of flight (TOF) MRA normal images. The arrowhead in B reveals complete signal loss by metal artifact on stented segment. C is stent mode 3D-TOF MRA images. The arrowhead in C reveals visible signal on stented segment. D shows how to take region of interest (ROI).

Fig.2

A, Stent assisted coil embolization of the IC paraclinoid aneurysm performed with LVIS Jr. stent(3.5x18mm). White arrow indicate stretch state of LVIS Jr. that means mesh spacing is wide. B, Stent mode MRA shows signal in stent, that signal reduction rate 26.1%. C, Stent assisted coil embolization, location and use stent same to A. White arrow indicate shorten state of LVIS Jr. that means mesh spacing is narrow. D, Stent mode MRA shows signal in stent, that signal reduction rate 48.9%.

Fig.3

A, Stent-assisted coil embolization of the IC paraclinoid aneurysm performed with Neuroform stent(4x20mm). White arrow indicate aneurysm remnant. B, Stent mode MRA shows minimal signal in stent and the aneurysm remnant visible. C, Stent-assisted coil embolization of the IC paraclinoid aneurysm performed with LVIS stent (4.5x32mm). White arrow indicate aneurysm remnant. D, Stent mode MRA shows the aneurysm remnant overestimate compared with DSA.



Case	Age	Sex	Side	Location	Stent	Stent size (mm)	Signal reduction rate :Normal 3DTOF (%)	Signal reduction rate :Stent mode 3DTOF (%)	DSA remnant	S-MRA remnant
1	73	F	Left	IC paraclinoid	Lvis x2	4.5x23 *2	68.17	73.24	-	-
2	73	F	Right	IC paraclinoid	Lvis Jr.	3.5x18	39.43	26.14	-	-
3	60	F	Left	BA-SCA	Lvis Jr.	2.5x28	75.10	42.64	-	-
4	74	F	Right	IC paraclinoid	Neuroform	4x20	48.77	42.24	+	+
5	61	F	Left	IC paraclinoid	Lvis	4.5x32	62.07	34.71	+	+
6	48	F	Left	IC paraclinoid	Enterprise2	4x30	56.87	51.85	+	+
7	73	F	Left	IC paraclinoid	Lvis Jr.	3.5x18	60.04	38.31	-	-
8	76	F	Right	IC paraclinoid	Lvis Jr.	3.5x18	54.69	48.93	-	-
							56.71±11.13%	40.69±8.67%		

\*S-MRA: Stent mode 3DTOF MRA

Fig.1

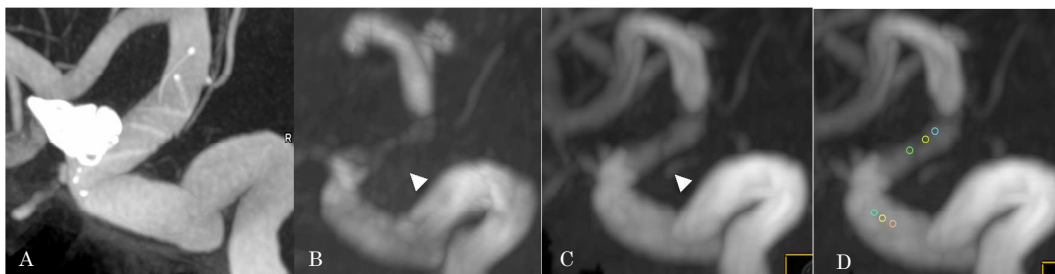


Fig.2

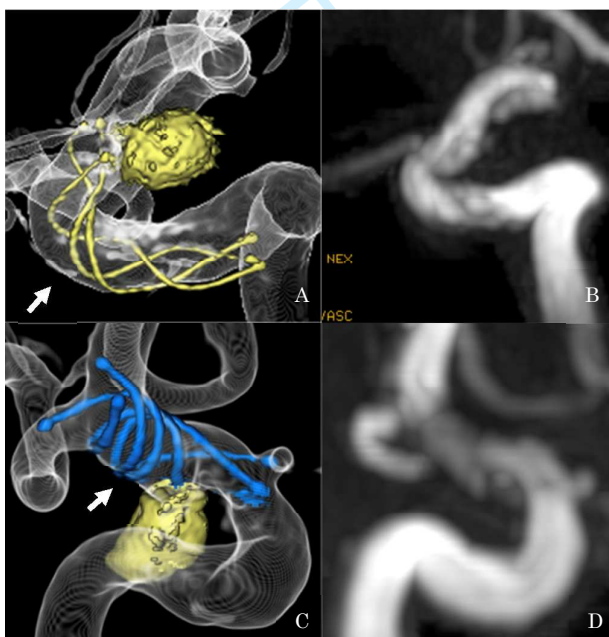


Fig.3

