

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：32620

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2023

課題番号：18K07691

研究課題名(和文)サイレント MRAによる金属アーチファクトを減じた撮影法の確立と臨床評価

研究課題名(英文) Establishment of a method for reducing metal artifacts using silent MRA and its clinical evaluation

研究代表者

鈴木 通真 (Suzuki, Michimasa)

順天堂大学・医学部・先任准教授

研究者番号：20534811

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：脳動脈瘤に対して留置式の金属性治療器具は広く利用されている一方で、非侵襲的な治療後の評価方法は確立されていない。本研究では、申請者らが世界で初めて発見した金属の影響を受けにくいアルゴリズムを利用したMRI(ultrashort TE; UTE MRA)を用いて、大きなコイル・ステント併用コイル・血流改変ステントなどを用いた治療後の正しい治療効果判定手法を確立した。本研究では、動脈瘤・狭窄を模した模擬血管をMR撮影し、コイルやステントが与える影響について評価し、一般的な撮影方法と定量評価、血管造影や従前のMRIとの違いを評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、申請者らが世界で初めて発見した金属の影響を受けにくいアルゴリズムを利用したMRI(ultrashort TE; UTE MRA)を用いて、大きなコイル・ステント併用コイル・血流改変ステントなどを用いた治療後の正しい治療効果判定手法を確立することができた。特に、磁化率のアーチファクトの実際を磁場との方向などに関連性の評価などを行うことができた。

研究成果の概要(英文)：While implantable metallic treatment devices are widely used for cerebral aneurysms, a non-invasive method for evaluating the post-treatment outcome has not been established.

In this study, we aimed to establish a method for evaluating the correct post-treatment outcome using large coils, stent-combined coils, and blood flow-modifying stents using MRI (ultrashort TE; UTE MRA) that uses an algorithm that is not easily affected by metals, which was discovered for the first time by the applicants. In this study, we performed MR imaging of simulated blood vessels that mimicked aneurysms and stenosis, evaluated the effects of coils and stents, and evaluated the differences between general imaging methods, quantitative evaluation, angiography, and conventional MRI.

In addition, during the study period, we experienced cases of transverse sigmoid sinus dural arteriovenous fistula and revascularization for moyamoya disease, and compared and examined these cases using UTE and MRA.

研究分野：神経放射線

キーワード：MRA ultra short TE 磁化率アーチファクト

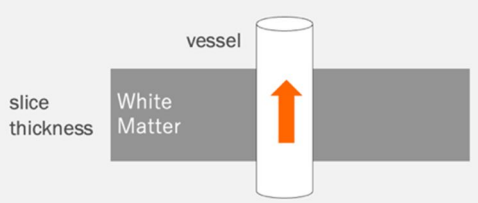

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

頭蓋内動脈瘤の flow diverter (FD) 留置後評価において、time-of-flight MR angiography (TOF-MRA) は広く用いられている。近年、ultrashort TE MRA (UTE-MRA) を用いることにより FD の磁化率効果を低減し、FD 周囲・内腔の画質低下対策として有用である。FD の磁化率効果における評価はされていない。

2. 研究の目的

本研究では、磁化率効果による FD の影響について TOF-MRA と UTE-MRA の比較検証を行った。

time-of-flight: TOF	ultrashort echo time: UTE
 <ul style="list-style-type: none"> • Signal: in-flow effect • Routine sequence • Reduces phase dispersion for shorter TE <small>Frahm C. Cardiovasc Intervent Radiol. 1996.</small> 	 <ul style="list-style-type: none"> • Signal: Arterial Spin Labeling + spoke sampling • Minimize susceptibility artifacts after SACE <small>Irie R. AJNR. 2015. Takano N, et al. AJNR. 2017.</small> • Suppression of background signals <small>A P Balasubramanian, et al. Clin Radiol. 2021.</small>

3. 研究の方法

脳実質と同等 T1 値を模擬した希釈造影剤に SURPASS Streamline (Stryker, Fremont, California, USA) を磁場方向と平行に配置した。MRI 装置は 3.0 Tesla MRI scanner (Vantage Centurian, Canon Medical Systems Corporation, Japan) ,使用コイルは 32-channel head coil を用いた。

TOF-MRA の撮像条件は、FOV = 200 mm, TR/TE = 18/3.9 ms, acquisition voxel size = 0.62×0.62×1.0 mm (phase, read out, slice) , flip angle = 15 deg, band width = 122 Hz, scan time = 4 min 40 s とし、位相方向は RL (TOF-RL) と AP (TOF-AP) を撮像した。UTE-MRA の撮像条件は、FOV=160 mm, TR/TE = 3.7/0.096 ms, acquisition voxel size = 0.62×0.62×1.0 mm, flip angle = 10 deg, band width = 488 Hz, k-space fill ratio = 30%, segments = 100, trajectories 数 = 61800, scan time = 3 min 49 s とした。

	TOF-MRA	UTE-MRA
FOV (mm)	200	160
TR/TE (ms)	18/3.9	3.7/0.096
acq voxel size (mm ³)	0.62 × 0.62 × 1.0	
rec voxel size (mm ³)	0.31 × 0.31 × 0.5	
flip angle (deg)	15	10
band width (Hz)	122	488
scan time	4 min 40 s	3 min 49 s
phase encode	RL, AP	RL

各 3 回撮像し、1 回撮像当たり 3 回測定した。解析ソフトを用いて SURPASS の端と中央部

における半値幅と relative in-device signal (RIS) を測定した (Ziostation2 Plus 2.9.8.4, Ziosoft Inc, Japan) .

(1) 半値幅は,短軸中心の RL 方向に profile curve を引き中間値の幅とした. Error rate calculation with true value using FWHM (full width at half maximum)

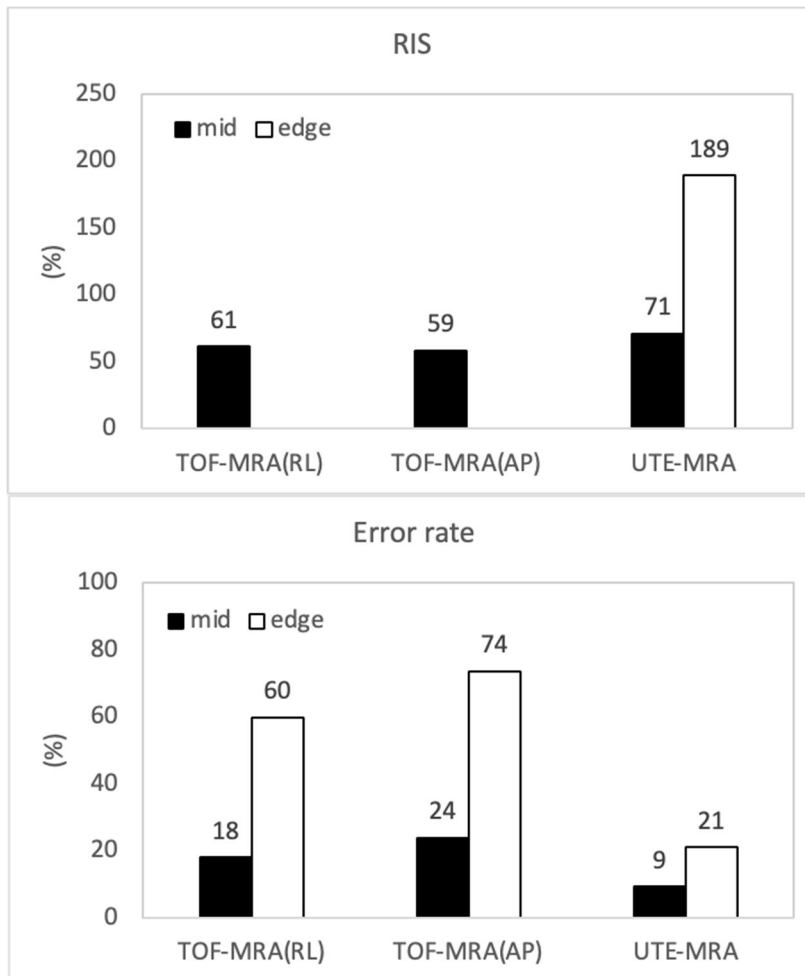
$$\text{Error rate (\%)} = (\text{measure value} - \text{true value}) / \text{true value} \times 100$$

(2) RIS は以下の FD 内信号値とバックグラウンド信号値の差分を,脳実質信号値とバックグラウンド信号値の差分で除した. Assessment of intraluminal signal in FD due to magnetic susceptibility effect

$$\text{RIS (\%)} = (\text{SI}_{\text{FD mean}} - \text{SI}_{\text{BG mean}}) / (\text{SI}_{\text{WM mean}} - \text{SI}_{\text{BG mean}})$$

4 . 研究成果 SURPASS 中央部の半値幅は,UTE-MRA, TOF-RL, TOF-AP の順で 5.6 ± 0.1 , 6.0 ± 0.1 , 6.3 ± 0.1 mm であった.

端の半値幅は, 5.9 ± 0.2 , 7.8 ± 0.1 , 8.5 ± 0.1 mm であった.中央部の RIS は, 71 ± 1.9 , 61 ± 1.9 , $59 \pm 1.4\%$ であり,端の RIS は, $189 \pm 5.3\%$, TOF-RL と TOF-AP では内腔観察困難であった.



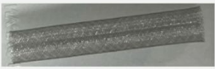


- 位相方向の比較：AP よりも RL の方が誤差率は小さかった
→磁化率アーチファクトは周波数方向に生じる
- UTE-MRA は TOF-MRA の半分以下のエラー率であった
→スポークサンプリングによる short TE 化によって位相分散が低減される
- 全体的なエラー率は、中間よりもエッジの方が大きかった
→mid と edge のメッシュの大きさの違いが誤差率に影響を受けた可能性が示唆さ

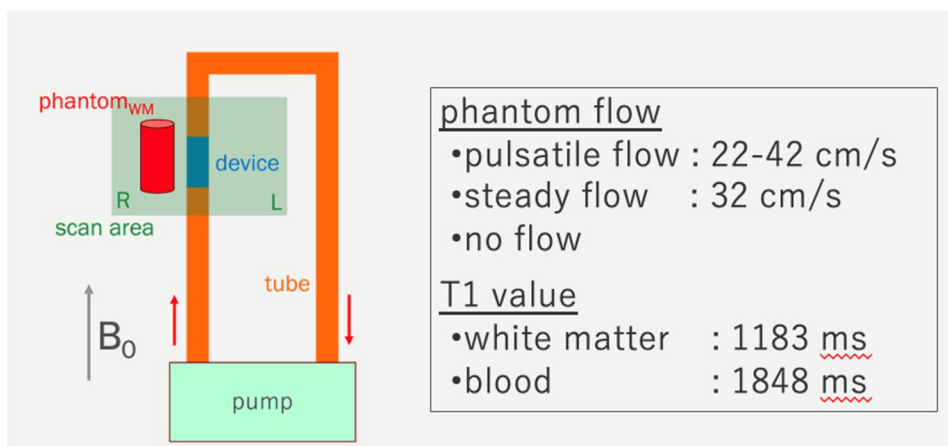
れた。

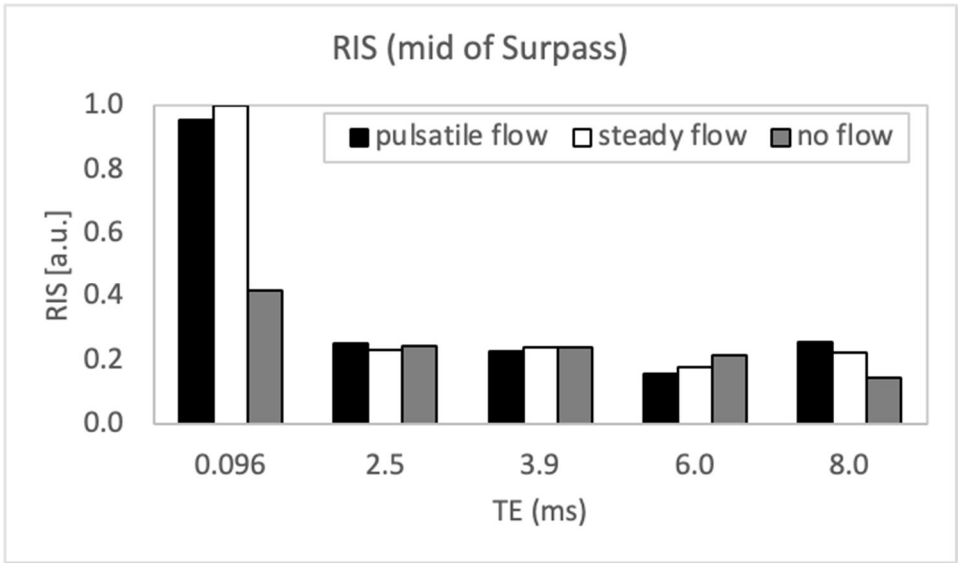
- mid: TOF-MRA よりも UTE-MRA で RIS は増大した
→no flow 実験のため in-flow 効果による信号上昇はなかった
→実際の臨床では値が異なる可能性
- edge: TOF-MRA は評価不能であった
→不均一な網目の径の影響で磁化率効果が増大した可能性
- edge: UTE-MRA は 189 と高値であった
→UTE-MRA は、resonance offset による装置周囲の高信号を管腔信号の一部として計測した可能性

Pipeline: https://www.researchgate.net/figure/Representative-images-of-Pipeline-Silk-and-Surpass-flow-diverters_fig3_335798179 Bouillot P, et al. MRM.2019.

	Model	Material	Design	Num. of wires
	Pipeline	nickel-cobalt-chromium	braided single layer	48
	FRED	nickel-titanium	braided double layers	48(inner) 16(outer)
	Surpass streamline	cobalt-chromium	braided single layer	96

- 各 FD の構成は様々であり、ニッケル・コバルト・クロムが配合されている。サーパスは wire 数が多いため、特にデバイス内の信号減衰の影響を受けたことが推察された。さらに、flow ファントムを用いての追加実験を施行した。





- UTE-MRA: RIS は in flow 効果により 2 倍以上になった .
 - TOF-MRA: in flow 効果による RIS は小さかった
 - flow type: steady の RIS は pulsatile よりも増大した .
- no flow phantom を用いて MRAs の磁化率効果の比較ができる可能性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 赤津 敏哉, 和田 昭彦, 福地 治之, 池之内 穰, 高野 直, 鈴木 通真寺西 功輔, 大石 英則, 近藤 聡英, 青木 茂樹
2. 発表標題 Usefulness of Ultrashort TE 4D-MR Angiography in the Follow-up after Woven EndoBridge Embolization: A Case Report
3. 学会等名 日本脳神経CI学会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Toshiya Akatsu Haruyuki Fukuchi, Yutaka Ikenouchi, Michimasa Suzuki, Nao Takano, Syo Arai, Akihiko Wada, Koji Kamagata, Osamu Abe, Shigeki Aoki
2. 発表標題 Blood flow measurement using Ultrashort TE 4D-MRA: A feasibility study to evaluate intracranial hemodynamic
3. 学会等名 第50回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 新井晶、池之内穰、赤津敏哉、鈴木通真、大石英則、青木茂樹
2. 発表標題 脳硬膜動静脈瘻の診断における Ultrashort echo time(UTE) 4DMRAの有用性
3. 学会等名 日本神経放射線学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村田 渉、鈴木通真、池之内穰、高野直、福永一星、佐藤秀二、濱崎望、芳土戸芳義、青木茂樹
2. 発表標題 脳動静脈奇形の治療前後におけるUltrashort TE 4D-MR angiography : a case presentation
3. 学会等名 第43回日本脳神経CI学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木通真
2. 発表標題 磁気共鳴塾2020 非造影MRAの今 他施設から学ぶ ブラッシュアップへの道標
3. 学会等名 磁気共鳴塾 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高野直、鈴木通真、池之内穰、高野直、山本宗孝、寺西功輔、村田渉、福永一星、クリスティーナ アンディカ、明石敏昭、和田昭彦、大石英則、濱崎望、芳土戸芳義、青木茂樹
2. 発表標題 Ultrashort TE 4D-MRA for Giant Aneurysms Treated with Flow-Diverter Stents: Visualization of Flow in the Stents and Hemodynamic Vascular Flow
3. 学会等名 国際磁気共鳴学会2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高野直、鈴木通真、池之内穰、高野直、山本宗孝、寺西功輔、村田渉、福永一星、クリスティーナ アンディカ、明石敏昭、和田昭彦、大石英則、濱崎望、芳土戸芳義、青木茂樹
2. 発表標題 Non-Contrast Enhanced Ultrashort Echo Time MR Angiography (Silent MRA) for Intracranial Aneurysms Treated with Flow-Diverter Stents and Coils
3. 学会等名 国際磁気共鳴学会2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木通真
2. 発表標題 Impact of 4D- Ultra-short Echo Time MR Angiography on Neuroimaging
3. 学会等名 北米放射線学会2019年 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高野直、鈴木通真、ほか
2. 発表標題 非造影Ultra-short TE 4D-MRAにおける頭蓋内ステント内の血流信号評価：2種類のシーケンスによる検討
3. 学会等名 第47回日本磁気共鳴医学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高野直、鈴木通真、ほか
2. 発表標題 内頸動脈瘤に対するフローダイバーターステント治療後の血流評価における、mUTE 4D-MRAの初期検討
3. 学会等名 第47回日本磁気共鳴医学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木通真
2. 発表標題 Ultra gradient システムの脳神経領域でのインパクト
3. 学会等名 第42回日本脳神経CI学会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高野直、鈴木通真、佐藤修二、濱崎望、川崎英雄、福永一星、鶴田航平、村田渉、入江隆介、堀正明、青木茂樹
2. 発表標題 Optimization of the saturation pulse thickness in ASL-MRA using PETRA
3. 学会等名 第46回日本磁気共鳴医学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	寺西 功輔 (Teranishi Kosuke) (80384105)	順天堂大学・医学部・准教授 (32620)	
研究分担者	山本 宗孝 (Yamamoto Munetaka) (50338414)	順天堂大学・医学部・先任准教授 (32620)	
研究分担者	大石 英則 (Oishi Hidenori) (60255685)	順天堂大学・医学部・教授 (32620)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------