

令和 5 年度

岡山大学大学院保健学研究科

博士学位申請論文

内容要旨

放射線技術科学分野

後藤 佐知子 准教授 指導

73502007

榎 卓也

令和 5 年 12 月提出

内 容 目 次

主 論 文

3D phase-sensitive inversion recovery sequence for intracranial vertebrobasilar artery
dissection

(頭蓋内椎骨脳底動脈解離に対する 3D phase-sensitive inversion recovery sequence)

榎卓也、木田勝博、城本航、河中祐介、白川学、美山真崇、琴浦規子、後藤佐知子

Journal of Clinical Neuroscience 118, 52–57, 2023

主 論 文

頭蓋内椎骨脳底動脈解離に対する 3D phase-sensitive inversion recovery sequence

[緒言]

頭蓋内椎骨脳底動脈解離 (intracranial vertebrobasilar artery dissection : iVAD) は若年から中年における脳卒中患者の最も多い病因の一つであり、クモ膜下出血や脳梗塞を発症することがあるため、正確な診断は治療方針を決定するために重要である。

iVAD の代表的な MRI 所見として、double lumen/intimal flap, intramural hematoma (IMH), luminal stenosis, aneurysmal dilatation がある。iVAD の画像診断には、variable refocusing flip angle (VRFA) を使用した 3D turbo spin echo (TSE) が用いられ、血液信号を抑制することで血管壁を評価する。しかし、蝶形骨洞からの磁化率アーチファクトにより、脳底動脈や椎骨動脈の一部が欠損することがある。

一方、3D phase-sensitive inversion recovery (PSIR) は、inversion recovery (IR) pulse によって血液信号を抑制する撮像法であり、頸動脈解離の IMH に対して感度が高いことが報告されている。3D-PSIR は位相補正を行うことにより、信号極性が維持された real image を再構成できる特徴を持つ。そこで、我々は 3D-PSIR の位相補正が磁化率アーチファクトを軽減する可能性に注目した。本研究の目的は、3D-PSIR を iVAD に応用し、ボランティアで蝶形骨洞の磁化率アーチファクトを低減する効果を確認し、臨床画像において iVAD に対する画像所見を検証することである。

[方法]

本研究は 12 名のボランティアを対象とした。また、pilot study として 2022 年 10 月から 2023 年 9 月までに iVAD と診断された 11 名の患者を対象とした。本研究は院内の倫理審査の承認を得ており、ヘルシンキ宣言に則り、本人の同意を得た。

MRI 画像は Philips 社製 Ingenia 3.0T と 32-channel head coil を使用して取得した。3D TOF MRA は、3D-PSIR と T1W-3D-TSE の位置決め画像に使用した。撮像断面は椎骨脳底動脈に対して平行に設定し、3D-PSIR と T1W-3D-TSE を撮像した。

[Volunteer study]

3D-PSIR と T1W-3D-TSE により得られた画像は、椎骨脳底動脈に対して直行するような水平断像に再構成した。初めに、蝶形骨洞からの磁化率アーチファクトによる血管壁欠損の有無が、両シーケンスについて調べられた。次に、血管壁と血管内腔、血管壁と脳脊髄液との contrast-to-noise-ratio (CNR) が、再構成画像において求められた。

[Patient study]

3D-PSIR の iVAD に対する画像所見を検証するために、pilot study として定性評価を行った。2 名の放射線科医師と 1 名の脳神経外科医師が患者情報を盲検化して、3D-PSIR と T1W-3D-TSE において以下の 4 つの画像所見についてそれぞれ 4 段階で視覚評価を行っ

た. (1) double lumen/intimal flap, (2) IMH, (3) luminal stenosis, (4) aneurysmal dilatation. 評価基準は以下の通りである. 1=画像所見はない, 2=画像所見はおそらくない, 3=画像所見をやや疑う, 4=画像所見を強く疑う. 2つのシーケンスの画像は診断モニター上に別々に表示させ評価した. 病変部の確認には, MRA の MIP 画像を使用した. 3D-PSIR と T1W-3D-TSE は MPR 表示を行い, 評価者が任意断面を観察できるようにした. 画像色調も評価者が自由に変更できるようにした.

[結果]

3D-PSIR では 1 名 (8%) に血管壁の欠損が認められ, T1W-3D-TSE では 5 名 (42%) に血管壁の欠損が認められた ($p=0.046$). Fig. 1 は 3D-PSIR と T1W-3D-TSE の volunteer の 1 例を示す. T1W-3D-TSE で血管壁の欠損が認められるが, 3D-PSIR では血管壁が描出されている.

Fig. 2 は 3D-PSIR と T1W-3D-TSE の CNR の結果を示す. 3D-PSIR の $CNR_{\text{wall to lumen}}$ は T1W-3D-TSE よりも有意に高かった ($p<0.001$). T1W-3D-TSE の $CNR_{\text{wall to CSF}}$ は 3D-PSIR よりも有意に高かった ($p<0.001$).

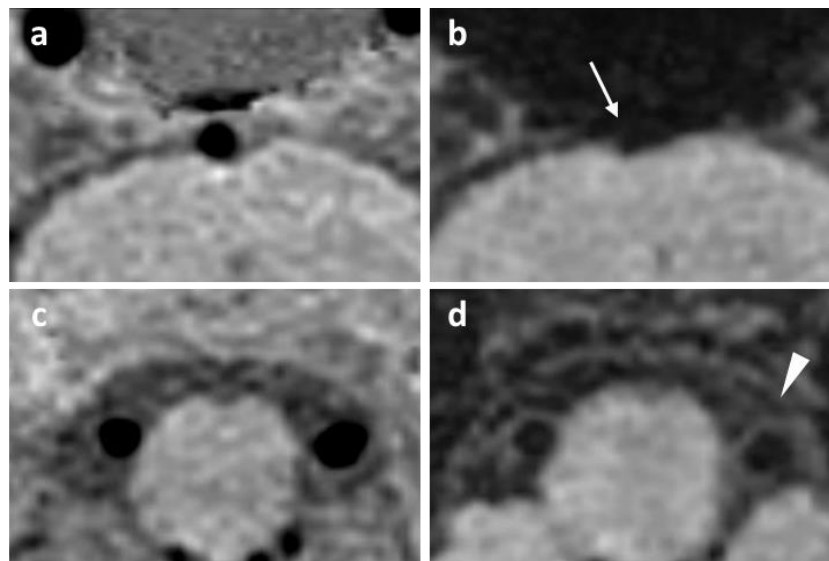


Fig. 1 ボランティアの 3D-PSIR 画像と T1W-3D-TSE 画像の代表例.

(a) 脳底動脈レベルの 3D-PSIR 画像. (b) 脳底動脈レベルの T1W-3D-TSE 画像. (c) 椎骨動脈レベルの 3D-PSIR 画像. (d) 椎骨動脈レベルの T1W-3D-TSE 画像. 椎骨動脈レベルでは 3D-PSIR、T1W-3D-TSE ともに血管壁は描出されている (矢頭) が, 脳底動脈レベルでは T1W-3D-TSE で血管壁の欠損が観察される (矢印).

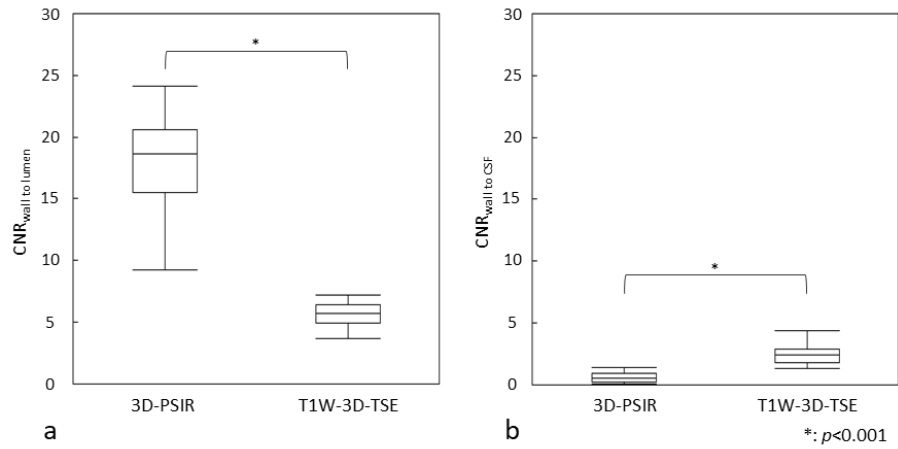


Fig. 2 3D-PSIR と T1W-3D-TSE の CNR.

(a) $CNR_{\text{wall to lumen}}$ は 3D-PSIR が T1W-3D-TSE よりも有意に高かった. (b) $CNR_{\text{wall to CSF}}$ は T1W-3D-TSE が 3D-PSIR よりも有意に高かった.

Table 1 は視覚評価の結果を示す. 表に示す点数は 3 名の評価者の平均である. 3D-PSIR と T1W-3D-TSE の間で 4 つの画像所見の点数に大きな差は認められなかった.

Fig. 3 は patient1 の症例 (左椎骨動脈解離) を示す. 病変部に IMH, luminal stenosis, aneurysmal dilatation が認められた. T1W-3D-TSE と同様に 3D-PSIR においても IMH が描出されている. Fig. 4 は patient2 の症例 (右椎骨動脈解離) を示す. 病変部に intimal flap, IMH, aneurysmal dilatation が認められた. T1W-3D-TSE よりも 3D-PSIR において intimal flap が描出されている.

Table 1. Results of the visual evaluation

Patient No.	MRI findings							
	Double lumen/intimal flap		IMH		Luminal stenosis		Aneurysmal dilatation	
	3D-PSIR	T1W-3D-TSE	3D-PSIR	T1W-3D-TSE	3D-PSIR	T1W-3D-TSE	3D-PSIR	T1W-3D-TSE
1	1.3	1.7	4	4	4	4	4	4
2	4	1.7	3.7	4	1.7	1.3	4	4
3	1.3	1.7	3.7	4	1.7	2.3	1.7	2.3
4	1.7	3.7	3.7	1.3	3	4	4	3.7
5	1.7	2	1.7	2.7	1.7	2	3.3	4
6	2	2.7	3.7	3.7	4	4	3	2
7	1.0	1.0	4.0	4.0	4.0	4.0	1.3	1.7
8	1.3	1.7	3.7	4.0	3.3	3.7	2.3	2.0
9	2.0	3.7	1.3	1.7	4.0	3.3	4.0	2.3
10	3.7	3.0	1.0	1.7	2.0	1.3	4.0	4.0
11	1.0	1.0	4.0	4.0	2.7	2.7	2.0	1.7

3D-PSIR, 3-dimensional phase sensitive inversion recovery; IMH, intramural hematoma; T1W-3D-TSE, T1-weighted 3-dimensional turbo spine echo.

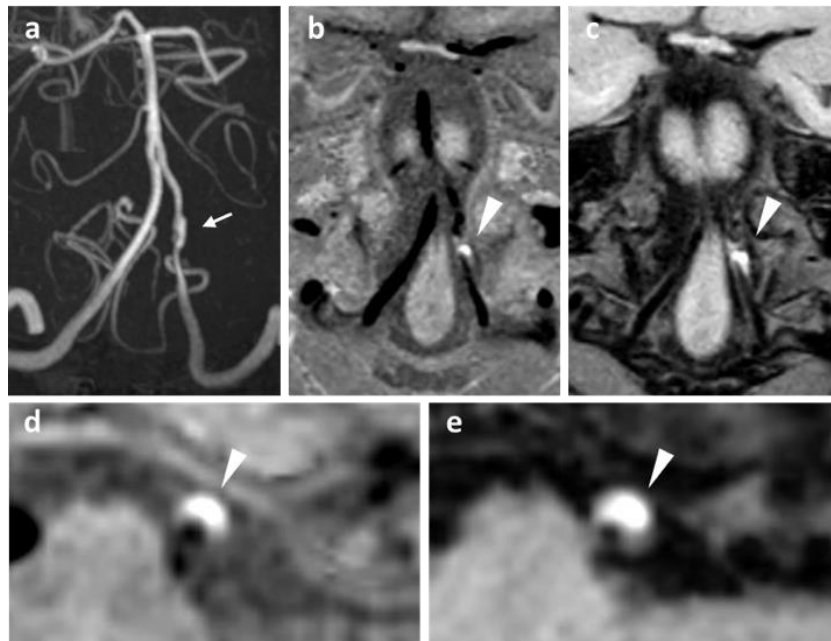


Fig. 3 Patient 1 の症例.

(a) MRA MIP 画像にて左椎骨動脈に aneurysmal dilatation を伴う iVAD が確認できる (矢印). (b) 3D-PSIR の冠状断像と (d) 横断像, および (c, e) T1W-3D-TSE において IMH が確認できる (矢頭).

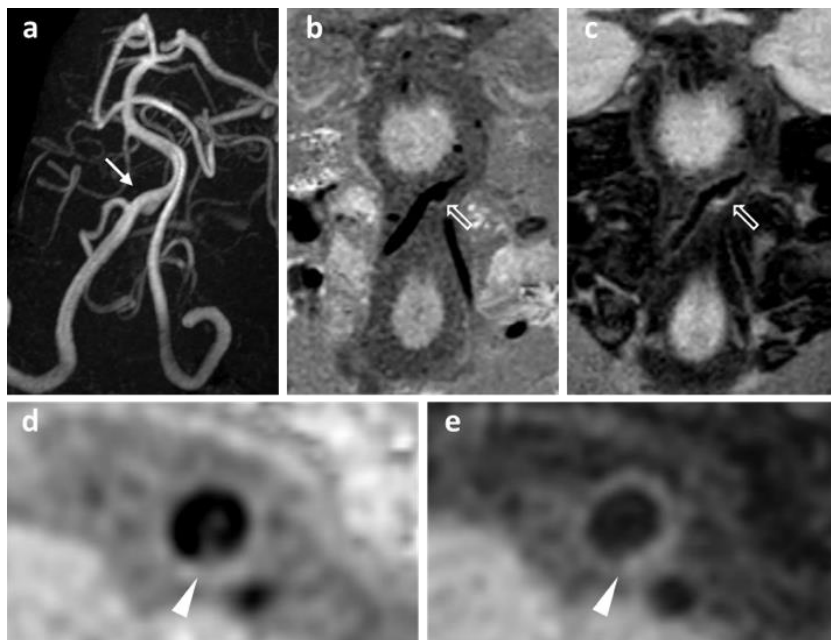


Fig. 4 Patient 2 の症例.

(a) MRA MIP 画像にて右椎骨動脈に aneurysmal dilatation を伴う iVAD が確認できる (矢印). (b) 3D-PSIR および (c) T1W-3D-TSE の冠状断像で aneurysmal dilatation と IMH (輪郭矢印) が確認できる. (d) 3D-PSIR で intimal flap が描出されているが, (e) T1W-3D-TSE では描出されていない (矢頭).

[考察]

我々の研究によって、3D-PSIR が蝶形骨洞の磁化率アーチファクトによる血管壁欠損を改善することが証明された。また、pilot study によって、3D-PSIR が iVAD を診断するための大きな可能性をもった撮像方法であることが確認された。

3D-PSIR は T1W-3D-TSE に比べて、蝶形骨洞の磁化率アーチファクトによる血管壁欠損は約 80%改善した。3D-PSIR は位相エラーが補正された計算画像であり、位相補正の有効性が証明されたと考える。しかし、完全にアーチファクトを補正することはできていないため、位相補正には限界があると推測される。一方、T1W-3D-TSE はスピンエコー法がベースとなったシーケンスであり、通常は磁化率アーチファクトの影響を受けにくいとされている。しかし、我々の研究により蝶形骨洞の磁化率アーチファクトの影響を受けることが明らかになった。

3D-PSIR は IR パルスを使用しており、real 再構成を行うことで高い T1 コントラストを得ることができる。我々が使用した 3D-PSIR は血液が負の値となり、それ以外の組織が正の値となるように事前にパラメータ調整を行った。そのため、T1W-3D-TSE よりも血管内腔と血管壁のコントラストが高くなったと推測される。しかし、血管壁と脳脊髄液とのコントラストは T1W-3D-TSE よりも低下しており、追加のパラメータの改善が必要である。

Pilot study において 3D-PSIR は T1W-3D-TSE と同様の MRI 所見を確認することができた。そのため、3D-PSIR は iVAD において臨床的に問題なく使用できる撮像シーケンスであることが明らかとなった。

[結論]

3D-PSIR は蝶形骨洞の磁化率アーチファクトによる血管壁欠損を改善することができ、iVAD に対して T1W-3D-TSE と同等の MRI 所見を得ることができた。3D-PSIR は iVAD の画像診断に有用なツールとなることが示された。