

3T 装置での非造影 3D TOF 法における海綿静脈洞描出の検討

古川 研治¹, 二階堂 剛², 山本 綱記³, 森本 守⁴,
高谷 了⁵, 入江 伸介⁶, 稲垣 徹⁷, 秀毛 範至⁸,
齋藤 孝次⁹

¹社会医療法人孝仁会星が浦病院診療放射線部 ⁵同脳神経外科

²釧路孝仁会記念病院診療放射線部 ⁴同情報管理部

⁸同 PET センター ⁹同脳神経外科

³社会医療法人孝仁会釧路脳神経外科診療放射線部 ⁶同脳神経外科

⁷社会医療法人孝仁会根室脳神経外科脳神経外科

はじめに

ICA paraclinoid 動脈瘤において、動脈瘤の存在位置が硬膜内、外で治療方針や手術手段決定に大きく影響する。MRI では、内頸動脈の硬膜貫通部である硬膜輪 (distal dural ring) を同定することは困難を要するため、海綿静脈洞を描出し、間接的に動脈瘤の存在位置が硬膜内外にあるのか判定しているのが実情である。内頸動脈と海綿静脈洞両者を描出する方法は様々あるが、非造影で海綿静脈洞を描出する方法として、高速 SE 法等での動脈を flow void として描出し、脳脊髄液と海綿静脈洞の信号の差で位置関係を把握するのが一般的で、phase contrast 法や time of flight (TOF) 法の単純 MRA で、直接海綿静脈洞を描出している報告はみられない。当院では、ICA paraclinoid 動脈瘤の症例において、非造影と造影剤使用の 3D TOF 法による MR angiography (MRA) を撮像し、得られた二つの画像を合成することにより、内頸動脈 (瘤) と海綿静脈洞を信号の差をつけ描出し、横断面・冠状断面の拡大再構

成画像や、3D 画像の VR (volume rendering) 表示での動脈瘤の位置関係を示した画像を作成している。今回、1.5T 装置に比べ 3T MRI 装置の強い in flow 効果や、血管と静止組織との高いコントラスト比に期待し¹⁾、撮像範囲を限局した非造影による 3D TOF 法の MRA を 3T MR 装置で施行し、内頸動脈と海綿静脈洞の両者を描出できるよう撮像方法を検討した。

対象および方法

対 象

当院の倫理委員会で承認が得られ、本研究の趣旨を説明し、同意の得られた健常ボランティア 10 名 (男性 9 人, 女性 1 人, 21~42 歳, 平均年齢 28.3 歳) を被験者とした。

使用機器

MRI 装置は Philips 社製 3.0T 装置 INTERA Achieva 3.0T Quasar Dual でコイルは SENCE-NV-16 を使用した。

撮像条件・撮像方法

3D TOF (3D T1 FFE) 法を用いて、基準

キーワード cavernous sinus, ICA paraclinoid aneurysms, 3D TOF non-contrast-enhanced MR angiography, 3 Tesla

となる撮像条件は TR 27 ms, TE 3.45 ms, FA 17°, FOV 16×16 cm, scan matrix 180×178, rec voxel MPS (mm) 0.55/0.55/0.5, Chunk 1, NSA 1, scan time 2 min48 s, slab 厚 46 mm, SENSE 1.2, 撮像範囲が限局されているため tone pulse は使用しないで撮像した。

方法

1. 撮像方向による内頸動脈, 海綿静脈洞の描出の違い

ボランティアに対し, ウィリス動脈輪中心の撮像範囲を限局した 3D TOF 法による MR angiography (MRA) を施行し, in flow 効果をも高める目的で内頸動脈の流れや, 海綿静脈洞へ流入する静脈血管の向きを考慮した撮像位置や, 撮像方向 (冠状断, 矢状断, 横断) で撮像し, 内頸動脈と海綿静脈洞の描出を試みた (Figs. 1, 2). 得られた画像から左右の海綿静脈洞高信号部と周囲脳脊髄液の ROI 計測を行い, 以下の算出式より contrast noise ratio (CNR) を求め, 撮像方向に対する海綿静脈洞の描出能を比較した^{2),3)}. また統計学的検討として Kruskal-Wallis 検定, Tukey 法の多重比較を行った。

$$CNR = (S_1 - S_2) / \{(S_1SD^2 + S_2SD^2) / 2\}^{1/2} \dots\dots (1)$$

S₁: 海綿静脈洞の信号値

S₂: 周囲脳脊髄液の信号値

S₁SD: 海綿静脈洞の標準偏差

S₂SD: 周囲脳脊髄液の標準偏差

2. 撮像条件の最適化

ボランティア被験者に対し, 矢状断の 3D TOF 法で撮像を行い, 繰り返し時間 (TR: 18, 24, 30 ms), フリップアングル (FA: 5~25°) を変化させたときの, 海綿静脈洞と周囲脳組織の CNR を(1)と同様の算出式で求め, 海綿静脈洞をより高信号に描出する撮像条件の検

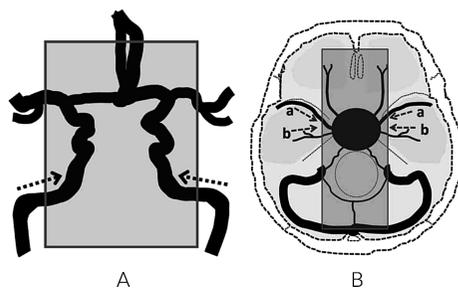


Fig. 1. Schematic representation of the slab area and position in sagittal slice scan

(A) Artery : Blood signal of ICA uses the lateral inflow from bilateral petrous part of internal carotid artery.

(B) Vein : Blood signal of cavernous sinus uses the bilateral inflow of sphenoparietal sinus (a) and superficial middle cerebral veins (b).

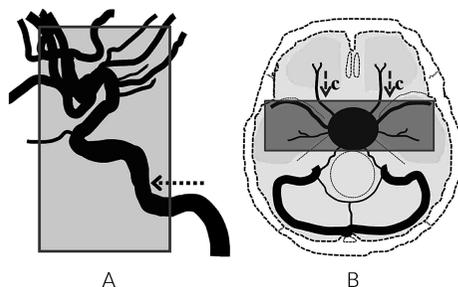


Fig. 2. Schematic representation of the slab area and position in coronal slice scan

(A) Artery : Blood signal of ICA uses the inflow from petrous part of internal carotid artery with backward flow.

(B) Vein : Blood signal of cavernous sinus uses the forward inflow of superior ophthalmic vein (c).

討を行った。

結 果

異なる撮像方向で撮像し, 横断面で拡大再構

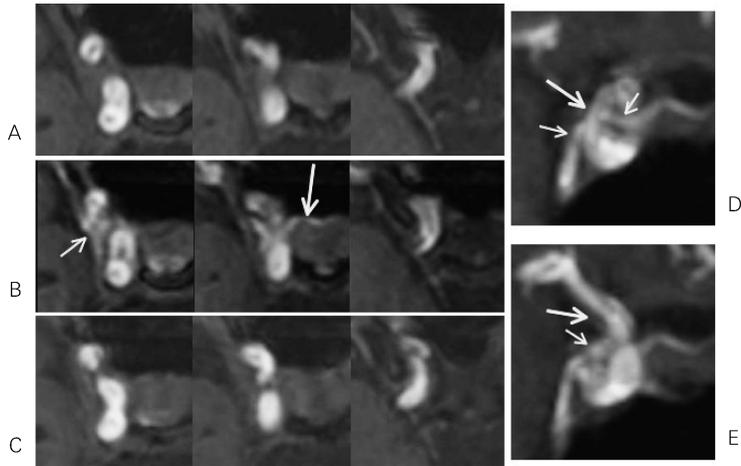


Fig. 3. Differences of visualization in cavernous sinus among scan directions

(A) Axial multiplanar reconstruction images of coronal slice scan. Cavernous sinus is not visualized clearly.

(B) Axial multiplanar reconstruction images of sagittal slice scan. The image shows cavernous sinus (arrow) and anterior intercavernous sinus (large arrow).

(C) Axial multiplanar reconstruction images of axial slice scan. Cavernous sinus is not visualized clearly.

(D) (E) Coronal multiplanar reconstruction images of sagittal slice scan. The image shows ICA (large arrow) and cavernous sinus (arrow). The relationships of position between cavernous sinus of distal ring side and ICA is visualized clearly.

成した，ボランティア代表一例の画像を Fig. 3 に示す．10 名の海綿静脈洞の信号を求めたものを Figs. 4, 5 に示す．ボランティア 10 名，左右 20 部位の海綿静脈洞と脳脊髄液の CNR の中央値は，矢状断方向の撮像は 9.12 で，冠状断方向，横断方向の 4.62, 5.10 に比較し高かった．被験者により信号のばらつきや静脈の描出に違いがみられ，横断や冠状断方向撮像でも描出される場合があったが，矢状断方向の撮像で検定においても冠状断，横断に対して各 $P < 0.01$ で有意差をもって高くなり，内頸動脈と海綿静脈洞両者の描出が可能となった．

矢状断撮像での撮像条件の検討で，FA に対する海綿静脈洞と脳脊髄液の CNR の関係を Fig. 6 に示す．FA13°以降では信号の変化が少

なく，動脈の末梢の信号の低下を考慮すると，FA は 13°程度が良好といえる．TR に対する海綿静脈洞の信号を Fig. 7 に示す．FA17°, 25°双方で TR を延長することにより，海綿静脈洞の信号の低下を招いた．

考 察

内頸動脈硬膜輪 (distal dural ring) の指標である海綿静脈洞を描出し，ICA paraclinoid 動脈瘤の存在位置を確認する方法として，脳血管造影撮影 (DSA) や CT angiography, MRI での T₂強調画像を利用する方法，造影剤使用の MR angiography 等様々な報告がなされてきた^{5)~8)}．坪井ら⁹⁾は術前画像診断として造影

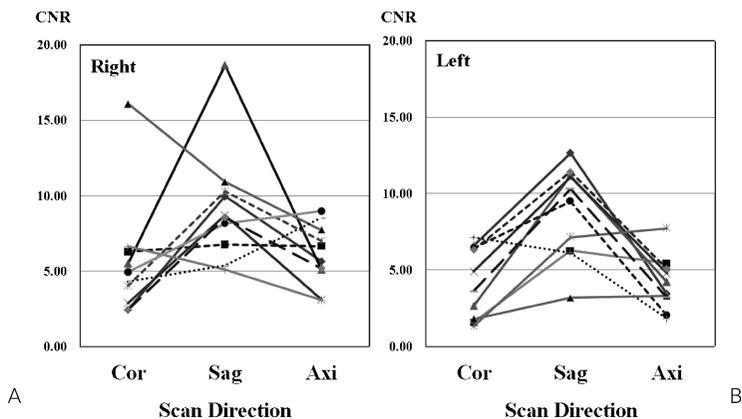


Fig. 4. The relationships between CNR (cavernous sinus, CSF) and scan direction
 (A) CNR between right cavernous sinus and CSF.
 (B) CNR between left cavernous sinus and CSF.

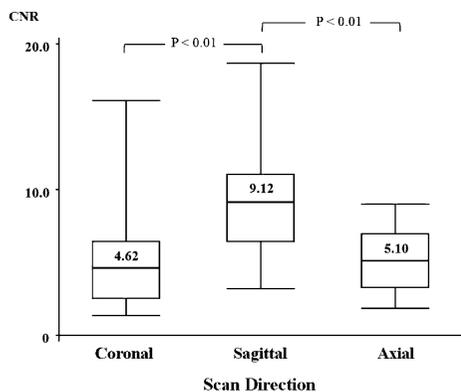


Fig. 5. The relationships between CNR (cavernous sinus, CSF) on either side from 10 subjects (20 parts) and scan direction

剤使用の MRA を行い、内頸動脈と海綿静脈洞を描出し位置関係を把握したうえで術中所見と比較し、動脈瘤の硬膜内外の鑑別診断に有用であるとしている。Hirai ら¹⁰⁾は造影の 3D CISS 法を行い、脳脊髄液、海綿静脈洞、内頸動脈の信号値の差をもって ICA paraclinoid 動脈瘤の硬膜内外の判別を行い、手術所見と比較し、11 例中、比較的大きな動脈瘤 2 例を除いた 9 例で術前診断と相違ない結果であると報告して

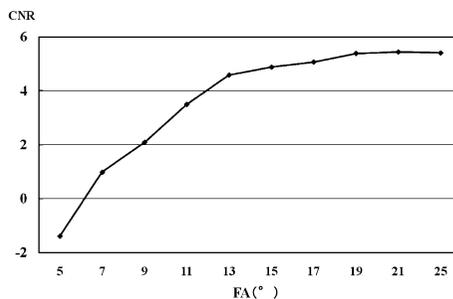


Fig. 6. Relationships between CNR (cavernous sinus, CSF) and FA

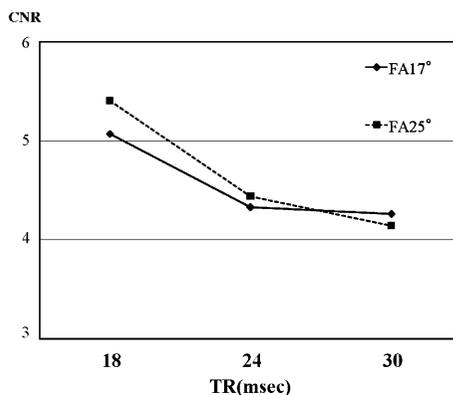


Fig. 7. Relationships between CNR (cavernous sinus, CSF) and TR

いる。また Watanabe ら¹¹⁾は 3D-MR cisternography と単純 MRA を合成し、ICA paraclinoid 動脈瘤の 36 症例において、脳槽と海綿静脈洞の境が判別でき、内頸動脈硬膜輪の同定を行うことができたとしている。

前述したいずれの報告も侵襲的な検査や、2 回撮像による合成、または造影剤を使用している検討であり、Klaus ら¹²⁾の異なる撮像法による静脈の描出を比較した報告にもあるとおり、海綿静脈洞を単一撮像の phase contrast 法や 3D TOF 法で描出するのは難しく、非造影で海綿静脈洞と内頸動脈の信号が得られた報告はみられない。しかし、VR 画像として、3 次元表示を容易に行うには、動脈、静脈の両者に信号差があり、かつ高信号で描出する必要がある。我々は 1.5T MRI 装置に対し、静止組織の T₁ 値の延長に伴う血管との CNR の向上や血液の飽和の低減、高い in flow 効果などの 3T MRI 装置のメリットに着目し、流入する動脈や静脈の血流方向を考慮した 3D TOF 法による撮像を試みた。

海綿静脈洞に流入する静脈血流として、代表的なものに蝶形頭頂静脈洞 (sphenoparietal sinus)、浅中大脳静脈 (superficial middle cerebral veins)、上眼静脈 (superior ophthalmic vein) などが挙げられる^{13)~15)}。

矢状断撮像で海綿静脈洞の信号が高い理由として、浅中大脳静脈や特に蝶形骨頭頂静脈洞からの流入量が多く、それらをうまくとらえているためと思われる。また冠状断撮像での海綿静脈洞の信号は、上眼静脈からの信号をとらえていると考えられ、前述した静脈に対し血流が少ないため、海綿静脈洞の信号が低かったと考えられる。横断撮像では、撮像方向に対し垂直に流入する大きな静脈血管はない。しかし他の撮像方向に対し圧倒的に高い信号を呈する動脈血が、循環の早い環流路を得た後静脈血となったもので、スピンの飽和をむかえる前の信号をとらえているものと考えられる。一方、内頸動脈の信号値を上げるには、横断方向撮像では内頸

動脈の錐体部から海綿静脈洞部へ移行する直前の上向に流入する部位に撮像範囲の下端を設定することや、矢状断・冠状断方向撮像では、撮像方向に垂直に流入するよう、内頸動脈錐体部の左右横方向や前後に走る血管構造に合わせ、撮像位置・範囲を設定することにより、動脈の信号を高めながら海綿静脈洞の信号も得られるようになる。いずれの撮像方向でも動脈の信号値は静脈に比べ、より高信号として描出することができた。また動脈と静脈の信号値に差がみられることにより、十分に位置関係も把握することができ、薄いスライスでの 3D 撮像により、位置関係の評価を拡大再構成画像や 3D 表示で行い、数枚の画像で明瞭にかつ簡便に評価を行うことも可能である。

海綿静脈洞へ流入する、または周囲の静脈血管の灌流状態は個人差が大きく、流入経路や流入量は variation に富んでいる。そのため本撮像法による海綿静脈洞の描出は被験者間で異なり、静脈が描出されにくい場合もある。また造影剤を使用した他の方法に比べ、海綿静脈洞の描出は劣る場合も多く、信号も安定しているといえない。本検討で撮像したボランティアの被験者は比較的若く、臨床で行う場合は年齢層がより高い場合が多い。そのため動脈の環流速度を考慮すると、TR の延長または FA を小さめに設定しなければ動脈の信号が下がり、動脈のコントラストがつかないことが予想される。撮像条件の適切な設定を行うことが重要であり、内頸動脈と海綿静脈洞の信号をあげるため、in flow 効果を最大限にいかすようなパラメータや、撮像方向、撮像位置を設定することが必須であり、良好な画像を得るには解剖学的な知識も必要である。しかし本撮像法は非造影での検査というメリットを生かし、補足的な検査として行うことも可能である。適切な条件を設定することにより、非造影でかつ短時間で内頸動脈と海綿静脈洞の両者を描出でき、臨床において特に ICA paraclinoid 動脈瘤の存在位置確認で有用ではないかと思われる。

結 語

• 3T MRI 装置による非造影 3D TOF 法を用いて内頸動脈、海綿静脈洞の両者を描出する試みを行った。

• 非造影 3D TOF 法の矢状断撮像で撮像範囲を内頸動脈の錐体部に設定し、内頸動脈と蝶形頭頂静脈洞の流入を得ることにより、他の撮像方向に比べより明瞭に海綿静脈洞と内頸動脈の両者を描出することができた。

• 被験者による静脈の滯流状態に描出の結果が大きく左右されるが、造影剤を使用せず内頸動脈、海綿静脈洞の両者を描出することができ、ICA paraclinoid 動脈瘤の硬膜内外の存在位置確認で有用と示唆される。

文 献

- 1) 藤原康広, 石森佳幸, 山田和弘, 福屋裕子, 山口 功, 宮地利明: 3.0T MRI 装置を用いた 3D Time of Flight MR Angiography における血管のコントラストおよび飽和効果の検討. 日放技学誌 2006; 10: 1443-1448
- 2) 小倉明夫, 前田富美枝, 宮井 明, 本郷隆治: MRI 臨床画像の CNR 測定法に関する精度. 日放技学誌 2004; 11: 1543-1549
- 3) 小倉明夫, 宮地利明, 前田富美恵, 片桐邦彦, 木村哲哉, 京谷勉輔: パラレル MRI における CNR 測定法の提案: RMS-CNR 法. 日磁医誌 2009; 29: 97-103
- 4) 本郷一博, 柿澤幸成, 後藤哲哉, 堀内哲吉: 解剖に基づく手術の要点—内頸動脈瘤 paraclinoid aneurysm—. 脳神経外科ジャーナル 2008; 17: 666-672
- 5) 安井敏裕, 松本博昭, 岸 廣成, 小宮山雅樹, 岩井謙育, 山中一浩, 西川 節: 内頸動脈硬膜輪周辺部動脈瘤—血管撮影所見と手術適応—. 脳神経外科ジャーナル 1997; 6: 3-8
- 6) Aihara H, Kinugasa K, Nishimoto A, Kiriyaama H, Makabe T, Omoto T, Ito T, Asari S: MRI (T2-WI) evaluation of juxta-dural ring aneurysms of internal carotid artery. Progress in Computed Imaging 2000; 22: 13-19
- 7) Murayama Y, Sakurama K, Satoh K, Nagahiro S: Identification of the carotid artery dural ring by using three-dimensional computerized tomography angiography. J Neurosurg 2001; 95: 533-536
- 8) Gozalez LF, Wlaker MT, Zabramski JM, et al.: Distinction between paraclinoid and cavernous sinus aneurysms with computed tomographic angiography. Neurosurgery 2003; 52: 1131-1139
- 9) 坪井俊之, 高橋和也, 伊藤隆彦, 萬代眞哉, 衣笠和政, 西本 詮, 伊達 勲: CE-MRA による傍床突起部動脈瘤の硬膜外の鑑別. Progress in Computed Imaging 2004; 26: 109-116
- 10) Hirai T, Kai Y, Morioka M, et al.: Differentiation between paraclinoid and cavernous sinus aneurysms with contrast-enhanced 3D constructive interference in steady-state MR imaging. AJNR Am J Neuroradiol 2008; 29: 130-133
- 11) Watanabe Y, Nakazawa T, Yamada N, Higashi M, Hishikawa T, Miyamoto S, Naito H: Identification of the distal dural ring with use of fusion images with 3D-MR cisternography and MR angiography: application to paraclinoid aneurysms. AJNR Am J Neuroradiol 2009; 30: 845-850
- 12) Kirchhof K, Welzel T, Jansen O, Sartor K: More reliable noninvasive visualization of the cerebral veins and dural sinuses: comparison of three MR angiographic techniques. Radiology 2002; 3: 804-810
- 13) 後藤文男, 天野隆弘. 臨床のための神経機能解剖学. 初版 3 刷. 東京: 中外医学社, 1996; 122-127
- 14) 久保道也, 堀江幸男, 林 央周, 桑山直也, 遠藤俊郎: 頭蓋底静脈の読影—Venous Cross Road の重要性を中心に—. 脳神経外科ジャーナル 2008; 17: 745-753
- 15) 宮坂和男. 脳・脊髓血管造影マニュアル第 3 刷. 東京: 南江堂, 1999; 45-119

Appearance of Cavernous Sinus on Non-contrast-enhanced 3D TOF at 3T

Kenji FURUKAWA¹, Tsuyoshi NIKAIKIDOU², Kouki YAMAMOTO³,
Mamoru MORIMOTO⁴, Ryou TAKAYA⁵, Shinsuke IRIE⁶,
Tooru INAGAKI⁷, Noriyuki SHUKE⁸, Kouji SAITOU⁹

*Departments of ¹Radiology and ⁵Neurosurgery, Hoshigaura Hospital
3-9-13 Hoshigauraodouri, Kushiro 084-0912*

*Departments of ²Radiology, ⁴Information and Research, ⁸PET Center, and ⁹Neurosurgery,
Kushirokokjinkai Memorial Hospital*

*Departments of ³Radiology and ⁶Neurosurgery, Kushiro Neurosurgery
⁷Department of Neurosurgery, Nemuro Neurosurgery*

Today, the intradural or extradural position of internal carotid artery (ICA) paraclinoid aneurysms is usually determined indirectly by visualizing the cavernous sinus (CS).

We expect high in-flow effect and increased contrast-to-noise ratio (CNR) between blood vessel signal and stationary tissue on 3-tesla magnetic resonance (MR) imaging comparable to those at 1.5T. Therefore, we tried to visualize both the ICA and CS using non-contrast-enhanced 3-dimensional time-of-flight (3D-TOF) MR angiography (MRA) sequence on a 3T MR imaging unit.

We examined 3D-TOF MRA of the arterial circle of Willis in 10 healthy volunteers. Expecting the inflow of blood from the ICA and sphenoparietal sinus on the sagittal slice scan, we set the scan area to cover the bilateral petrous part of the ICA on both sides and successfully visualized both the ICA and CS using this technique.

The median CNR between the cavernous sinus and cerebrospinal fluid was 9.12 on sagittal slice images, 4.62 on coronal images, and 5.10 on axial images from 20 parts in 10 subjects. On Tukey test, the CNR of sagittal slice images showed the highest ratio with significant difference ($P < 0.01$) compared to those in the coronal and axial directions, which permitted visualization of the ICA and CS.

Although the influence of venous perfusion varied among individual subjects, use of optimized scan area and scan position enabled identification of flow direction of both arterial and venous inflows. Accordingly, we successfully visualized the ICA and CS with non-contrast-enhanced 3D-TOF of sagittal slices using a 3T unit.

This imaging technique is useful in differentiating intra- or extradural position of ICA paraclinoid aneurysms.