

研究

三叉神経痛における neurovascular compression 部位での 新しい 3D MR angiogram 所見

佐藤 透 尾美 賜 大迫 知香
鍋島 瞳栄 小野田 恵介 伊達 黙

NEUROLOGICAL SURGERY

脳神経外科

(文献略称: No Shinkei Geka)

第 35 卷 第 3 号 別刷
2007 年 3 月 10 日 発行

医学書院

研究 ◆ Original Article

三叉神経痛における neurovascular compression 部位での 新しい 3D MR angiogram 所見*

佐藤 透¹⁾, 尾美 賦¹⁾, 大迫 知香¹⁾, 鍋島 瞳栄¹⁾, 小野田 恵介²⁾, 伊達 勲²⁾

Novel 3D MR Angiographic Findings of Neurovascular Compressive Sites in Patients with Trigeminal Neuralgia

Toru SATOH¹⁾, Megumi OMI¹⁾, Chika OHSAKO¹⁾, Mutsue NABESHIMA¹⁾, Keisuke ONODA²⁾, and Isao DATE²⁾

Key words :
neurovascular compression,
cranial nerve,
MR angiography,
trigeminal neuralgia

Neurovascular compressive sites at the root entry zone of the trigeminal nerve were investigated in 25 patients with trigeminal neuralgia by using the fine three-dimensional (3D) magnetic resonance (MR) angiogram, obtained by a 3D time-of-flight, spoiled gradient-recalled sequence. The characteristic 3D MR angiographic findings of the offending vessels were obtained at the neurovascular compressive sites 19/23 (83%), including intermittent MR signal intensity within the vessels in 14/23 (61%), and unclear margin of the vessels in 5/23 (22%). Those abnormal 3D MR angiographic findings were commonly observed at the site of neurovascular compression in conjunction with moderate degree (grade II) and severe degree (grade III) in 19/20 (95%) of the actual nerve compression by the offending vessels. Abnormal findings with 3D MR angiograms may provide flow-related information to suggest a certain neurovascular compression upon the trigeminal nerve by the offending vessels. Those novel 3D MR angiographic findings may be useful for the diagnosis and decision-making process to execute the microvascular decompression surgery in patients with trigeminal neuralgia.

(Received : September 26, 2006, Accepted : December 11, 2006)

No Shinkei Geka 35(3): 259 - 265, 2007

I. はじめに

神経血管圧迫症候群の代表的疾患である三叉神経痛は、superior cerebellar artery (SCA), anterior inferior cerebellar artery (AICA), posterior inferior cerebellar artery (PICA) あるいは superior petrosal

vein (SPV) などの圧迫責任血管により三叉神経 root entry zone (REZ) が圧迫され発症する^{4,5,9,17)}。そのため、根治的治療として microvascular decompression (MVD) が広く施行され良好な治療成績が報告されている^{4,5,9,17)}。

三叉神経痛の画像診断には、magnetic resonance

*(2006. 9. 26 受稿, 2006. 12. 11 受理)

1) 医療法人社団) 涼風会 佐藤脳神経外科脳神経外科, Department of Neurological Surgery, Ryofukai Satoh Neurosurgical Hospital

2) 岡山大学大学院医歯薬学総合研究科神経病態外科学, Department of Neurological Surgery, Okayama University Graduate School of Medicine, Dentistry and Pharmaceutical Sciences

[連絡先] 佐藤 透=医療法人社団) 涼風会 佐藤脳神経外科 (〒729-0104 広島県福山市松永町 5-23-23)

Address reprint requests to : Toru SATOH, M.D., Department of Neurological Surgery, Ryofukai Satoh Neurosurgical Hospital, 5-23-23 Matsunaga, Fukuyama, Hiroshima 729-0104, JAPAN

E-mail : ucsfbtrc@urban.ne.jp

Table 1 Clinical features of 25 cases of trigeminal neuralgia

Age	Sex	Sides	Offending vessels	Treatment
66.8 ± 11.6 (N=25)	male = 11 female = 14	rt = 10 lt = 15	yes: 20 none: 5	Op = 18 Medical = 7

[Abbreviation] Op: MVD surgery, Medical: medical control.

(MR) angiogram や MR cisternogram などの MRI が使用される^{1-3,6-8,13-16}。このなかで、3D time-of-flight, spoiled gradient-recalled (3D TOF SPGR) sequence で撮像された MR angiogram では、血流による inflow effect が MR 信号強度に反映されるため、peak inflow velocity に関連した管腔内の血流情報が血管構造物として描出される^{10,12}。今回、三叉神経痛症例において、neurovascular compression 部位での 3D MR angiogram を詳細に検討した結果、責任血管による圧迫部位や圧迫程度を画像評価するうえで有用な、新しい 3D MR angiogram 所見を得たので報告する。

II. 対象と方法

対象は、2004 年 11 月から 2006 年 9 月までの 23 カ月間に臨床症状および MRI で診断した三叉神経痛 25 例 (MVD 手術 18 例, 保存的治療 7 例) で、年齢、性別、患側および圧迫責任血管は Table 1 に示した。全例で MR angiography (3D TOF SPGR sequence) と MR cisternography (T2-weighted 3D fast spin-echo sequence) を撮像し、3D MR angiogram, 3D MR cisternogram およびこれらの各画像を重畠合成した boundary fusion 3D MR cisternogram/angiogram を再構成した¹³⁻¹⁶。

三叉神経 REZ での neurovascular compression は virtual reality により詳細に観察し、MRI 画像で評価した。MVD 手術を施行した症例では、neurovascular compression を術中所見で確認した。責任血管による三叉神経の圧迫程度は、Sindou ら¹⁷ の術中所見での grading に準じて、圧痕を認めない軽度の接触 (grade I : simple contact), 神経の変形や変位を伴う中等度のもの (grade II : distortion and deviation), 明らかな圧痕を伴う重度の圧迫 (grade III : indentation and groove formation)

に分類して、3D MR cisternogram および boundary fusion 3D MR cisternogram/angiogram 画像所見で評価した。Neurovascular compression 部位での 3D MR angiogram は、圧迫責任血管が連続した正常な走行を示す場合 (normal), 狹小化, 途絶や不連続な走行を示す場合 (intermittent), 神経に接触する管腔境界面が不整で不明瞭に描出される場合 (unclear) の 3 つの画像所見に分類し、後 2 者を異常所見とした。また、neurovascular compression 部位で認められた 3D MR angiogram の異常所見と、責任血管による三叉神経の圧迫程度との関連性について検討した。

III. 結 果

MVD 手術例では、術前に作成した 3D MR cisternogram, 3D MR angiogram, boundary fusion 3D MR cisternogram/angiogram での画像所見に相応した手術所見がすべての症例で得られた。しかし、MVD では限られた術野となるため、neurovascular compression の観察範囲は制限され、その詳細を把握することは困難であった。したがって、すべての症例 (MVD 手術例, 非手術例) について、三叉神経 REZ での neurovascular compression は、3D MR cisternogram および boundary fusion 3D MR cisternogram/angiogram を用いた virtual reality により、いろいろな仮想的視点から詳細に評価した (Table 2)。

Neurovascular compression は、25 症例中 20 例 (80%) で、計 23 カ所 (重複) に認められた。圧迫責任血管は、SCA が関与する場合が 16/23 カ所 (70%) と最も多く、AICA が 2 カ所、PICA が 2 カ所、VA が 1 カ所、SPV が 2 カ所に認められた。しかし、くも膜炎や三叉神経の捩れなどで明らかな圧迫責任血管が認められない症例が 5/25 例

Table 2 Imaging data at the sites of neurovascular compression

No. of Compressive Sites in 20 Cases (N = 23)	Offending vessels at the compressive sites	Degree of compression on 3D images	Classification of abnormal MR findings	Abnormal MR findings at the compressive sites
	SCA: 16	Grade I : 3	normal: 3	0 (0%)
	AICA: 2		intermittent: 0	
	PICA: 2		unclear: 0	
	VA: 1	Grade II : 17	normal: 0	17 (100%)
	SPV: 2		intermittent: 14	
			unclear: 3	
		Grade III: 3	normal: 1	2 (67%)
			intermittent: 0	
			unclear: 2	

[Abbreviation] **SCA**: superior cerebellar artery, **AICA**: anterior inferior cerebellar artery, **PICA**: posterior inferior cerebellar artery, **VA**: vertebral artery, **SPV**: superior petrosal vein, **Grade I**: simple contact, **Grade II**: moderate compression (distortion and deviation), **Grade III**: severe compression (indentation and groove formation).

(20%) 含まれ、全例手術で確認された。また、責任血管による三叉神経の圧迫程度は、grade I が 3 カ所 (13 %)、grade II が 17 箇所 (74 %)、grade III が 3 カ所 (13 %) と、中等度以上のものが 20/23 カ所 (87 %) と多く認められた。また実際の MVD 術野では、neurovascular compression 箇所において、術前に MR 画像で推測された圧迫程度に相応した手術所見が認められた。しかし、SPV による grade I の圧迫の 1 カ所では、明らかな圧迫所見が認められず、MVD 手術展開にともない vein が移動したものと考えられた。

3D MR angiogram に描出された圧迫責任血管では、異常所見が 19/23 カ所 (83 %) に認められ、その内訳は intermittent が 14 カ所 (61 %)、unclear が 5 カ所 (22 %) であり、圧迫責任血管での MR 信号強度の複雑な分布が推測された。圧迫程度との関連では、grade II, III の neurovascular compression では、intermittent, unclear などの 3D MR angiogram 異常所見が 19/20 カ所 (95 %) で認められた。

IV. 代表的症例の提示

〈Intermittent MR angiogram 所見例〉 36 歳女性、左三叉神経痛 (Fig. 1)

3カ月前から左上顎から前頬部にかけての強い疼痛、放散痛が出現、歯科医にて carbamazepin (600 mg/日) の内服治療を受けたが薬疹を併発、疼痛コントロールが困難なため手術希望あり当科紹介となった。Preopontine cistern 内右前外側の視点から観察した 3D MR angiogram (Fig. 1A), 3D MR cisternogram (Fig. 1B), boundary fusion 3D MR cisternogram/angiogram (Fig. 1C) および脳幹橋内の視点から三叉神経入口部を観察した boundary fusion image (Fig. 1D) では、左 SCA-trunk から rostral-branch が分岐した直後の caudal-branch 近位部が、三叉神経脳槽内脳幹側 1/3 の部位で、superomedial 方向から接触していた。3D MR cisternogram および boundary fusion 3D MR cisternogram/angiogram での neurovascular compression の程度は、中等度 (grade II) であった。3D MR angiogram では、SCA-trunk は rostral-, caudal-branch 分岐部で若干膨隆後に途絶し、SCA-rostral branch は描出されたが、圧迫責任血管である SCA-caudal branch は一部が断続的に描出されたのみであり、異常所見 (intermittent MR angiogram) に分類された。MVD 術中所見 (Fig. 1E) では、圧迫責任血管である SCA-caudal branch により三叉神経 REZ に中等度の圧迫 (grade II) が認められた。

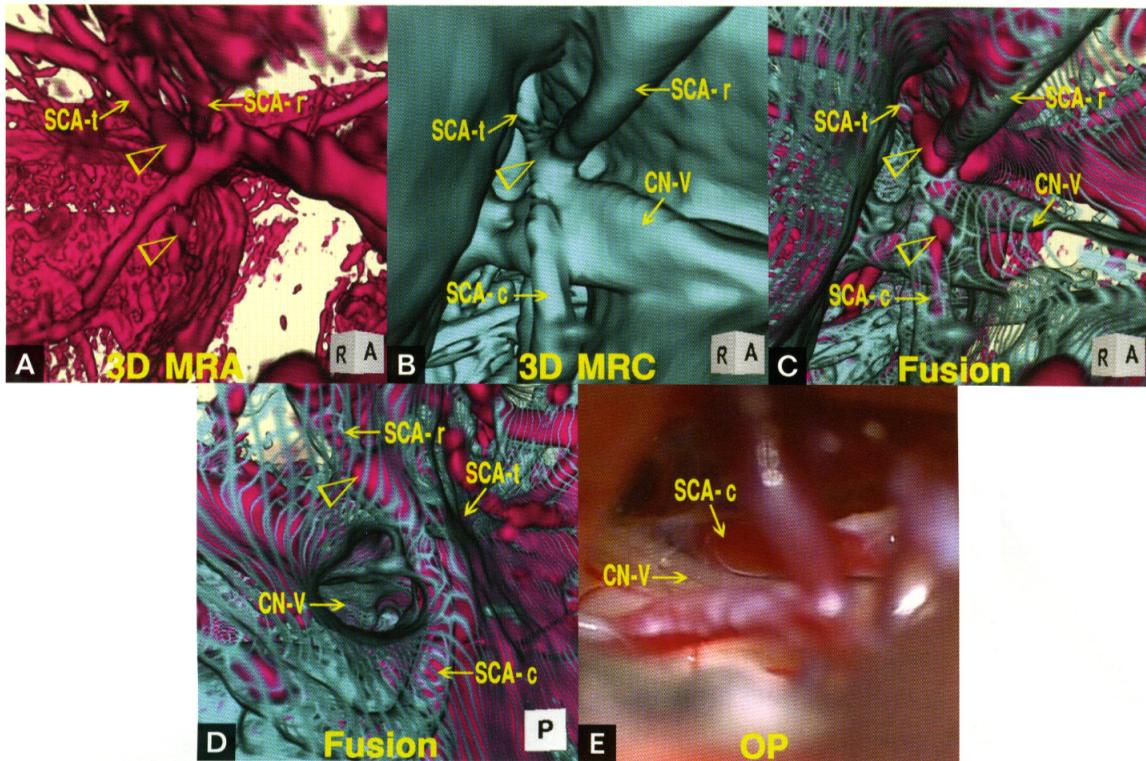


Fig. 1 A 36 y.o. female, left trigeminal neuralgia (intermittent type). **A, B, C:** 3D MR angiogram (**A**), MR cisternogram (**B**) and boundary fusion 3D MR cisternogram/angiogram (**C**), right anterolateral projection, showing the contact of the caudal branch of the left SCA at the REZ of the left trigeminal nerve. Degree of compression was moderate (grade II). MR signal intensity within the left SCA-caudal branch showed intermittent depiction (empty-arrowhead). **D:** Boundary fusion 3D MR cisternogram/angiogram, viewed from inside the pons, showing the clear contact and moderate compression between the offending SCA-caudal branch and the trigeminal nerve at the REZ. **E:** Operative photo, showing the trigeminal nerve was compressed by the offending SCA-caudal branch from superomedial direction. [Abbreviation] SCA-t: trunk of the superior cerebellar artery, SCA-r: rostral branch of the SCA, SCA-c: caudal branch of the SCA, BA: basilar artery, CN-V: trigeminal nerve. Empty-arrowheads indicate the site of neurovascular compression with abnormal MR findings.

〈Unclear MR angiogram 所見例〉 71歳男性、左三叉神経痛 (Fig. 2)

10年来の左上顎部の三叉神経痛で、carbamazepine (400 mg/日) を内服するも疼痛難治のため、手術目的に当科を紹介された。Cerebellopontine angle cistern 左錐体側から観察した 3D MR angiogram (Fig. 2A), 3D MR cisternogram (Fig. 2B), boundary fusion 3D MR cisternogram/angiogram (Fig. 2C) および脳幹橋内の視点から観察した boundary fusion image (Fig. 2D) では、左 SCA-caudal branch が脳槽内脳幹側 1/3 から脳幹入口部にかけて、superomedial 方向から三叉神経と強く接触して走行していた。3D MR cisternogram および

boundary fusion 3D MR cisternogram/angiogram での neurovascular compression の程度は、重度 (grade III) であった。3D MR angiogram では、SCA-rostral branch は明瞭に描出されたが、圧迫責任血管である SCA-caudal branch は、三叉神経との接觸面で不整な外壁を呈し境界は不明瞭であり、異常所見 (unclear MR angiogram) に分類された。MVD 術中所見では、圧迫責任血管による神経の圧痕、陥凹が認められ、重度 (grade III) の圧迫程度であった (Fig. 2E)。

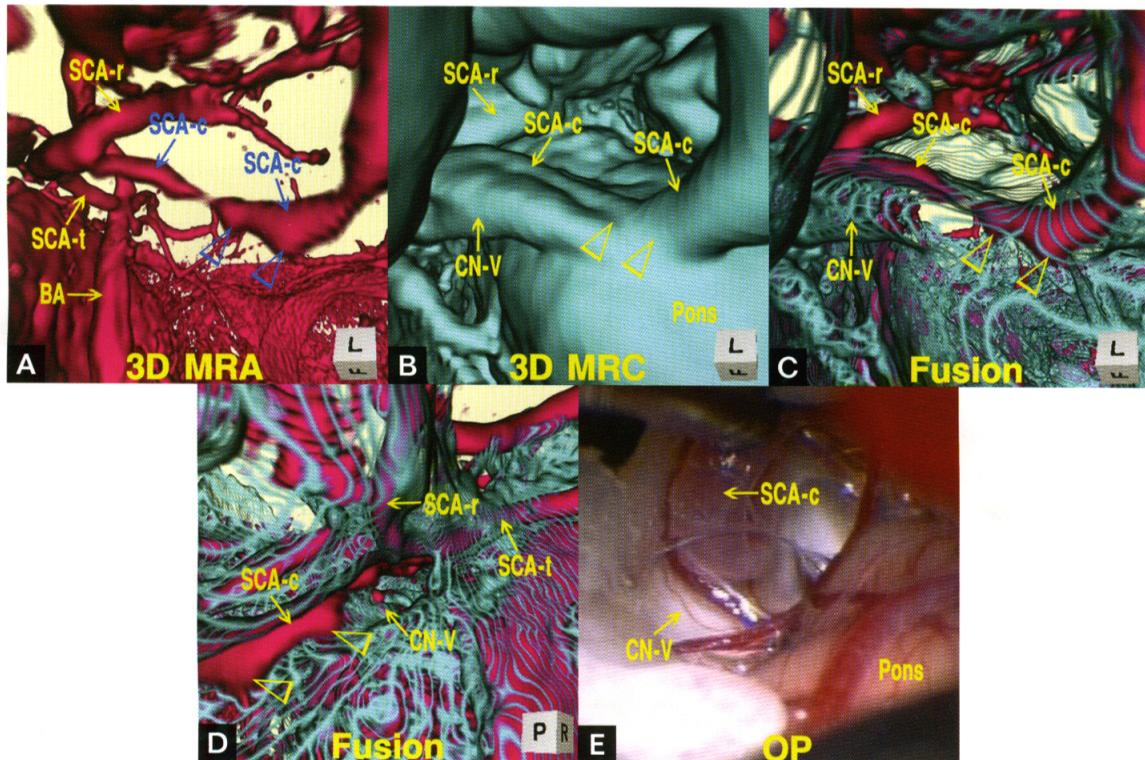


Fig. 2 A 71 y.o. male, left trigeminal neuralgia (unclear type). **A, B, C:** 3D MR angiogram (A), MR cisternogram (B) and boundary fusion 3D MR cisternogram/angiogram (C), left lateral projection, showing the severe contact of the caudal branch of the left SCA at the REZ of the left trigeminal nerve. Degree of compression was severe (grade III). 3D MR angiogram showed the left SCA-caudal branch showed unclear margin (empty-arrowhead) due to complicated intravascular MR signal intensity. **D:** Boundary fusion 3D MR cisternogram/angiogram, viewed from inside the pons, showing the severe compression between the offending SCA-caudal branch and the trigeminal nerve. **E:** Operative photo, showing the trigeminal nerve was compressed with indentation by the offending SCA-caudal branch. [Abbreviation] SCA-t: trunk of the superior cerebellar artery, SCA-r: rostral branch of the SCA, SCA-c: caudal branch of the SCA, BA: basilar artery, CN-V: trigeminal nerve. Empty-arrowheads indicate the site of neurovascular compression with abnormal MR findings.

V. 考 察

三叉神経痛は、典型的な臨床症状を呈するものであれば診断は容易であるが、非典型的な顔面痛の場合には鑑別診断に難渋する^{4,5,9,13,16,17)}。そのため、三叉神経痛の画像診断には、magnetic resonance (MR) cisternogram や MR angiogram などのMRI検査が行われ、三叉神経や脳幹部の腫瘍性病変、脳血管性病変、多発性硬化症などとの鑑別ののみならず、三叉神経REZ近傍での責任血管による神経の圧迫の有無、圧迫部位、圧迫程度などneurovascular compressionの詳細が評価される^{1-3,6-8,13-16)}。

T2-weighted 3D fast spin-echo sequenceなどで得られるMR cisternogramでは、脳神経と脳実質は等信号強度で、血管構造物はflow voidにより高度の低信号強度で、脳槽内脳脊髄液は高度の高信号強度で、それぞれ異なったMR信号強度で表示される^{8,12-16)}。3D MR cisternogramでは、脳槽内および脳槽に接する構造物の外壁形態が明瞭に描出されるため、REZ近傍での三叉神経と圧迫責任血管との解剖学的位置関係を立体的に把握することが可能である^{7,13-17)}。

一方、3D TOF SPGR sequenceで撮像されたMR angiogramでは、脳槽内脳脊髄液は低信号強度で、脳神経、脳実質は等信号強度で、動脈など

の血管構造物は inflow effect により高信号強度で描出されるため、REZ 近傍での圧迫責任血管の走行が容易に視認される^{1,6,8,12-15)}。また、造影剤を投与した steady-state contrast-enhanced MR angiogram (造影 MRA) では、paramagnetic agent による T1-shortening effect により inflow effect の弱い (比較的血流速度の遅い) SCA-rostral, caudal branches, AICA meatal loop, PICA 末梢部などの動脈や superior petrosal vein およびその分枝などの静脈、さらには静脈洞がより高信号強度に描出される¹²⁻¹⁶⁾。しかし、造影剤の使用の有無にかかわらず、3D TOF SPGR sequence で得られた血管の MR 信号強度は、血管内腔の真の形態情報ではなく、inflow effect による peak inflow velocity に関連した管腔内の血流情報が反映される¹⁰⁻¹⁴⁾。

MR angiogram で表示される血管構造物の MR 信号強度は複雑で、その程度は種々の要因により影響される。MR 信号強度は遅い血流による spin saturation, 不均一な血流 (乱流, 湍流, 拍動, 高速な動きなど) による phase dispersion, susceptibility effect, partial volume effect などにより減弱する¹⁰⁻¹²⁾。一般に、高い MR 信号強度は、速い血流速度に相応すると考えられる。しかし低い MR 信号強度は、必ずしも遅い血流を意味しない。そのため、circulating flow, stagnation, stasis など複雑な瘤内血流を伴う比較的大きな脳動脈瘤や脳動脈瘤の bleb では、瘤内の MR 信号強度は不均一となる¹⁰⁾。また、瘤周囲構造物 (perianeurysmal environment) と接触する脳動脈瘤では、接触面での瘤壁の描出が不明瞭となる¹¹⁾。さらに、乱流、湍流の発生する脳主幹動脈狭窄部では、管腔構造物が描出不良となり、途絶あるいは不連続に描出される¹²⁾。これら MR 信号強度の不均一な分布は、flow-related artifacts としてこれまで negative に評価してきた。しかし、見方を変えれば、管腔構造物の MR 信号強度が不均一、あるいは減弱、消失している部位では、inflow effect の障害が発生していると考えられ、複雑な血流状態を示唆する重要な管腔内血流情報と考えられる。

今回、三叉神経痛症例における neurovascular compression 部位での 3D MR angiogram における MR 信号強度に着目して詳細に解析した。その結

果、圧迫責任血管において MR 信号強度の不均一、減弱、消失あるいは管腔外壁境界面での信号の低下などの異常所見が認められた。3D MR angiogram で異常所見を示す部位での血管走行は、3D MR cisternogram あるいは boundary fusion 3D MR cisternogram/angiogram で表示された血管形態を参照することで推測することが可能であった。これにより、圧迫責任血管は、異常所見を呈する圧迫部位での血管の途絶や、圧迫近位部から遠位部まで断続的にあるいは狭小化を伴い連続して走行していた (intermittent MR angiogram 所見)。また、圧迫部位では、神経に接触する管腔境界面が不整で管腔壁が不明瞭に描出される場合がみられた (unclear MR angiogram 所見)。これらの異常所見は、軽度 (grade I) の neurovascular compression では認められず、三叉神経の変形や膨隆を来す中等度 (grade II) の圧迫、ないしは神経の陥凹や圧痕を伴う高度 (grade III) の圧迫の場合に、圧迫部位近傍に認められた。すなわち、三叉神経痛症例の neurovascular compression 部位で認められる 3D MR angiogram の異常所見は、責任血管による三叉神経の中等度～高度の圧迫を示唆する新しい 3D MR angiogram 所見と考えられた。

三叉神経痛における MRI では、これまで神経と血管との解剖学的位置関係が 2 次元的にあるいは 3 次元的に画像評価されてきた^{1-3,6-8,13-16)}。今回の臨床研究から、MR angiogram で得られた MR 信号強度で示される管腔内血流情報により、責任血管による神経の圧迫程度がある程度推察可能と考えられた。MVD 手術では限られた術野となるため、neurovascular compression の観察範囲はある程度制限される。そのため、virtual reality を用いて neurovascular compression 部位を脳槽内、脳内、神経内のいろいろな視点から観察し、責任血管の圧迫部位と圧迫程度を術前に推測することは、MVD の手術展開に役立つ情報となる¹³⁻¹⁶⁾。特に、圧迫部位が術野で死角となる三叉神経上面～上内側面にある場合や Meckel 腔近傍にある場合、動脈あるいは動脈・静脈により複数の部位で同方向あるいは反対方向から圧迫されている場合には、術前画像による neurovascular compression の推測は MVD 手術に有用であった。また、術前画像で

圧迫所見が認められず、三叉神経の形態や走行異常のみが示唆された症例では、実際の MVD 手術でも圧迫責任血管は認められず、くも膜炎やくも膜の肥厚、三叉神経の捩れや萎縮などが確認され、有用な画像情報と考えられた。

VI. 展 望

神経血管圧迫症候群における新しい 3D MR angiogram 所見は、MVD を敢行するにあたり、neurovascular compression の詳細を推測するうえで有用と思われた。また、neurovascular compression 部位でみられる責任血管による神経の圧迫が、症候性であるか否かを判断するうえでも有用な画像情報になるものと考えられた。今後、3D MR cisternogramあるいは boundary fusion 3D MR cisternogram/angiogram を用いて、三叉神経痛症例での対側（健側）および正常者にみられる神経と血管との接触の頻度および圧迫の程度などについて、さらに検討してみたい。

本論文の要旨の一部は、Advanced Neuroimaging Virtual Reality 2006（2006 年 8 月 3 日、名古屋）において口演発表した。

文 献

- 1) Anderson VC, Berryhill PC, Sandquist MA, Caiverella DP, Nesbit GM, Burchiel KJ : High-resolution three-dimensional magnetic resonance angiography and three-dimensional spoiled gradient-recalled imaging in the evaluation of neurovascular compression in patients with trigeminal neuralgia. A double-blind pilot study. *Neurosurgery* **58** : 666-673, 2006
- 2) Chávez G, De Salles AAF, Solberg TD, Pedroso A, Espinoza D, Villalba P : Three-dimensional fast imaging employing steady-state acquisition magnetic resonance imaging for stereotactic radiosurgery of trigeminal neuralgia. *Neurosurgery* **56** : E628, 2005
- 3) Erbay AE, Bhadelia RA, O'Callaghan M, Gupta P, Riesenburger R, Krackov W, Polak JF : Nerve atrophy in severe trigeminal neuralgia. noninvasive confirmation at MR imaging. Initial experience. *Radiology* **238** : 689-692, 2006
- 4) Jannetta PJ : Observations on the etiology of trigeminal neuralgia, hemifacial spasm, acoustic nerve dysfunction and glossopharyngeal neuralgia : Definitive microsurgical treatment and results in 117 patients. *Neurochirurgia* **20** : 145-154, 1977
- 5) Kondo A : Follow-up results of microvascular decompression in trigeminal neuralgia and hemifacial spasm. *Neurosurgery* **40** : 46-52, 1997
- 6) 三上 穀, 南田善弘, 八巻稔明, 馬場雄大, 宝金清博: Fast imaging employing steady-state acquisition (FIESTA)による神経血管減圧術の術前術後評価. *脳外誌* **14** : 683-688, 2005
- 7) Naraghi R, Hastreiter P, Tomandl B, Bonk A, Huk W, Fahlbusch R : Three-dimensional visualization of neurovascular relationships in the posterior fossa : Technique and clinical application. *J Neurosurg* **100** : 1025-1035, 2004
- 8) 小野田恵介, 佐藤 透, 三好康之, 徳永浩司, 杉生憲志, 伊達 熱: 片側顔面痙攣に対する microvascular decompression の新しい術前画像評価. 3D MR cisternogram/angiogram fusion imaging の応用. *No Shinkei Geka* **34** : 785-791, 2006
- 9) Samii M, Günther T, Laconetta G, Muehling M, Vorkapic P, Samii A : Microvascular decompression to treat hemifacial spasm. Long-term results for a consecutive series of 143 patients. *Neurosurgery* **50** : 712-719, 2002
- 10) Satoh T, Ekino C, Ohsako C : Transluminal color-coded three-dimensional magnetic resonance angiography for visualization of signal intensity distribution pattern within an unruptured cerebral aneurysm : preliminarily assessment with anterior communication artery aneurysms. *Neuroradiology* **46** : 628-634, 2004
- 11) Satoh T, Omi M, Ohsako C, Katsumata A, Yoshimoto Y, Tsuchimoto S, Onoda K, Tokunaga K, Sugiu K, Date I : Influence of perianeurysmal environment on the deformation and bleb formation of the unruptured cerebral aneurysm. Assessment with fusion imaging of 3D MR cisternography and 3D MR angiography. *AJR Am J Neuroradiol* **26** : 2010-2018, 2005
- 12) 佐藤 透, 小坂 章, 尾美 賦, 大迫 知香: 3D MR cisternography/angiography fusion imaging による脳底部脳主幹動脈狭窄性病変の画像評価. *No Shinkei Geka* **34** : 591-596, 2006
- 13) 佐藤 透, 小野田恵介, 伊達 熱: 特発性三叉神経痛における圧迫責任血管の画像評価. *脳外誌* **15** : 611-618, 2006
- 14) 佐藤 透, 尾美 賦, 大迫 知香, 鍋島 瞳栄, 小野田恵介, 伊達 熱: 三叉神経痛における neurovascular compression の画像評価: boundary imaging of a fusion three-dimensional magnetic resonance cisternogram/angiogram の応用. *No Shinkei Geka* **35** : 33-41, 2007
- 15) Satoh T, Onoda K, Date I : Three-dimentional magnetic resonance cisternograms and angiograms for the assessment of microvascular decompression in patients with hemifacial spasms. *J Neurosurg* **106** : 82-89, 2007
- 16) Satoh T, Onoda K, Date I : Preoperative simulation for microvascular decompression in patients with idiopathic trigeminal neuralgia : visualization with three-dimentional magnetic resonance cisternogram and angiogram fusion imaging. *Neurosurgery* **60** : 104-114, 2007
- 17) Sindou M, Howeidy T, Acevedo G : Anatomical observations during microvascular decompression for idiopathic trigeminal neuralgia (with correlations between topography of pain and site of the neurovascular conflict) : Prospective study in a series of 579 patients. *Acta Neurochir (Wien)* **144** : 1-13, 2002