

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*

小野田恵介¹⁾ 佐藤 透²⁾ 三好 康之¹⁾
徳永 浩司¹⁾ 杉生 憲志¹⁾ 伊達 勲¹⁾

Preoperative Assessment of Microvascular Decompression for Hemifacial Spasm with
Fusion Imaging of 3D MR Cisternogram/Angiogram

Keisuke ONODA ¹⁾, Toru SATOH ²⁾, Yasuyuki MIYOSHI ¹⁾
Koji TOKUNAGA ¹⁾, Kenji SUGIU ¹⁾, Isao DATE ¹⁾

1) Department of Neurological Surgery, Okayama University Graduate School of Medicine,
Dentistry and Pharmaceutical Sciences

2) Department of Neurological Surgery, Ryofukai Satoh Neurosurgical Hospital

The preoperative assessment of microvascular decompression (MVD) for hemifacial spasm has been performed with MRI, but assessment of the compressive status by 2D imaging has a number of limitations. We used a fusion image of the 3D MR cisternogram and co-registered 3D MR angiogram, reconstructed from MR cisternogram, obtained by 3D fast spin-echo sequence, and MR angiography, 3D time-of-flight and spoiled-gradient recalled sequences, for the preoperative assessment of the offending artery in 10 patients with hemifacial spasm. The anatomical relationship of the nerve-vessel complex was assessed on the simulated images, and compared with the intraoperative findings. The fusion image of the 3D MR cisternogram/angiogram depicted contours of the brain, nerves, and vessels clearly, and that allowed precise assessment of the pathogenic compression of the facial nerve by the offending vessels, comparative to the operative findings. The fusion imaging of the 3D MR cisternogram/angiogram may provide useful information in the surgical planning of MVD for hemifacial spasm.

(Received : December 22, 2005, Accepted : May 15, 2006)

Key words hemifacial spasm, microvascular decompression, three dimensional MR cisternogram, three dimensional MR angiogram

No Shinkei Geka 34(8): 785 - 791, 2006

*(2005. 12. 22 受稿, 2006. 5. 15 受理)

1) 岡山大学大学院医歯薬学総合研究科神経病態外科学, 2) 医療法人社団 涼風会 佐藤脳神経外科

〔連絡先〕 小野田恵介 = 岡山大学大学院医歯薬学総合研究科神経病態外科学 (〒700-8558 岡山市鹿田町 2-5-1)

Address reprint requests to : Keisuke ONODA, M.D., Department of Neurological Surgery, Okayama University Graduate School of Medicine, Dentistry and Pharmaceutical Sciences, 2-5-1 Shikata-cho, Okayama-city, Okayama 700-8558, JAPAN

E-mail : andonats@cc.okayama-u.ac.jp

Table Summary of 10 Cases of Hemifacial Spasm Treated with Microvascular Decompression

Case (No.)	Age (yr), Sex	Side	Offending vessel		Outcome
			At the image	At surgery	
1	61, F	Lt	PICA, VA	PICA, VA	good
2	36, F	Rt	PICA	PICA	good
3	59, F	Lt	PICA, VA	PICA, VA	good
4	66, F	Rt	PICA	PICA	good
5	51, M	Rt	PICA	PICA	good
6	69, F	Lt	AICA	AICA	good
7	64, F	Lt	PICA	PICA	good
8	54, F	Lt	AICA	AICA	good
9	47, F	Lt	AICA, PV	AICA, PV	good
10	64, M	Lt	AICA	AICA	good

[Abbreviation] PICA : posterior inferior cerebellar artery, VA : vertebral artery, AICA : anterior inferior cerebellar artery, PV : petrosal vein.

I. はじめに

片側顔面痙攣に対する microvascular decompression (MVD)¹⁻³⁾ の術前画像評価には、神経、血管、脳実質が同時に描出される MRI 元画像が使用され、顔面神経 root exit zone (REZ) 近傍での圧迫責任血管を元画像上で推測することが可能となってきた^{1,4-6,10,11)}。しかし、これらは 2次元平面画像のため、REZ での神経と血管との解剖学的位置関係を立体的に把握することは困難である。

今回、片側顔面痙攣症例において、責任血管による顔面神経 REZ の圧迫状況を立体的に表示する目的で、3D MR cisternogram/angiogram fusion imaging^{8,9)} を応用し、術前に MVD 術野に相応する three-dimensional (3D) simulation 画像を prospective に作成し、手術所見と対比検討した。3D MR cisternogram/angiogram fusion image を用いて顔面神経 REZ での神経血管圧迫状況を小脳橋角部脳槽内の様々な観察視点から術前検討した結果、片側顔面痙攣に対する MVD の適応の判断、手術難易度の推定、手術戦略、informed consent などに有用と考えられたので報告する。

II. 対象

2004 年 11 月より 2005 年 11 月までの 13 カ月

間に、MVD 手術治療を実施した片側顔面痙攣連続 10 症例を対象とした (Table)。年齢は 36 ~ 69 歳 (平均 57.1 歳)。性別は男性 2 例、女性 8 例で、患側は右 3 例、左 7 例であった。REZ での圧迫責任血管は anterior inferior cerebellar artery (AICA) 3 例、posterior inferior cerebellar artery (PICA) 4 例、PICA と vertebral artery (VA) が関与したものが 2 例、AICA と petrosal vein (PV) とが関与したものの 1 例であった。MVD は通常の suboccipital retrosigmoid approach にて、聴性脳幹反応モニター下を実施した。全例で術前に 3D MR cisternogram/angiogram fusion imaging を施行し、3D MR cisternogram、3D MR angiogram およびこれらの fusion image 各画像を再構成し、小脳橋角部脳槽内のいろいろな観察視点から、顔面神経 REZ での責任血管の圧迫状況を立体的に画像評価し、手術所見と対比した。

III. 方法

1. 3D MR cisternogram の作成

MR cisternography は MR 臨床機 (HiSpeed 1.0T, General Electric Healthcare, Milwaukee, WI, USA) を使用し T2-weighted 3D fast spin-echo (FSE) sequence で撮像した^{4,6-8)}。撮像条件は、4000/160/1 (TR/TE/excitation), echo train length

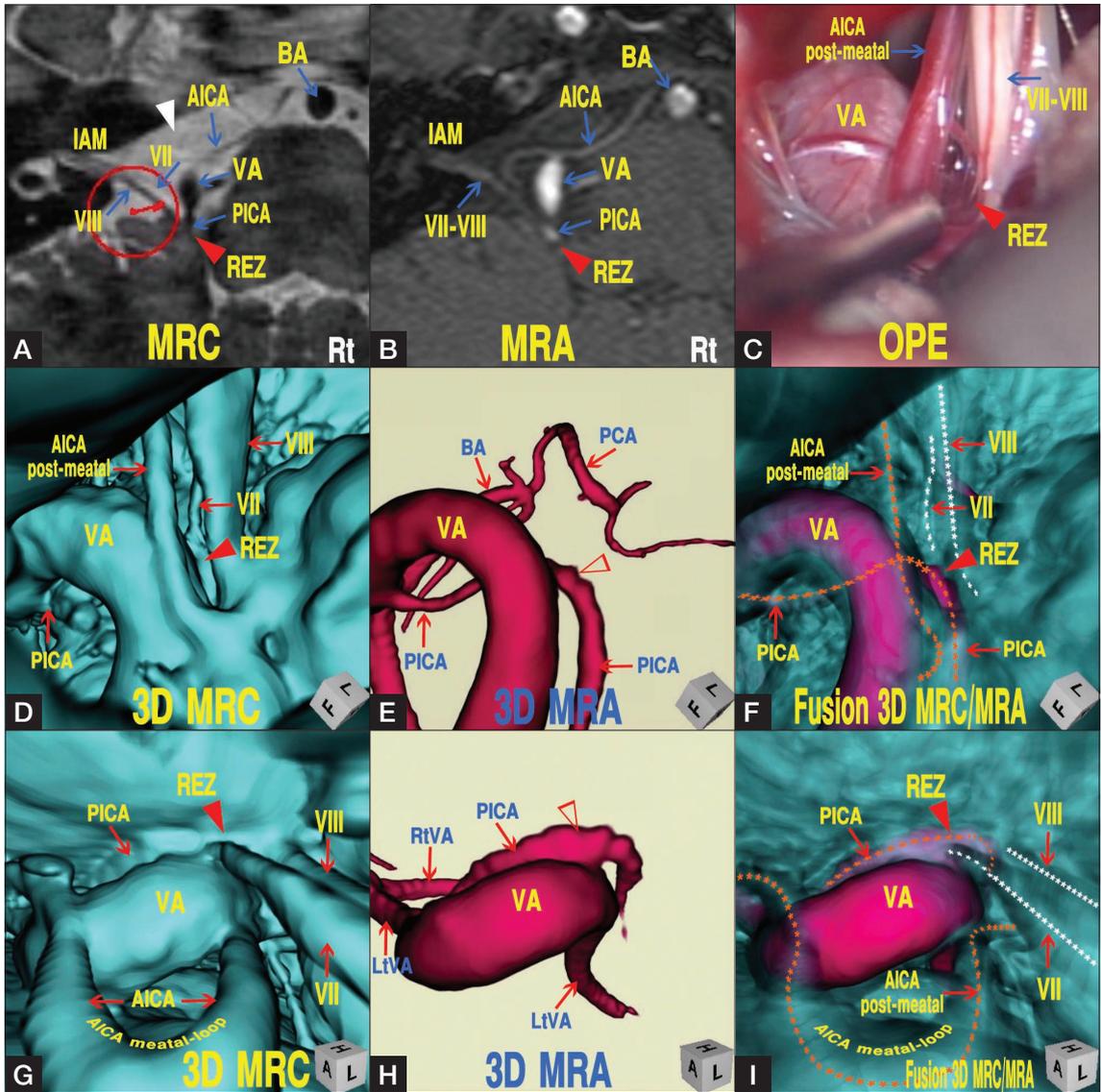


Fig.1 A 61 y.o. female, left hemifacial spasm (case 1). **A, B** : Source axial MR cisternogram (**A**) and MR angiogram (**B**), showing the compression at the REZ of the left facial nerve by the left PICA and adjacent VA. **C** : Operative photo, showing the nerve-vessel relationship at the REZ of the left facial nerve. The REZ was compressed by the left PICA and VA (offending vessels). **D-F** : 3D MR cisternogram (**D**), 3D MR angiogram (**E**), and 3D MR cisternogram/angiogram fusion image (**F**), through the simulated operative approach and viewed from the encircled-arrow in **A**. The fusion image (**F**) shows the similar view to the operative photo (**C**). The REZ of the facial nerve is compressed directly by the left PICA and indirectly by the left VA (offending vessels). Dotted lines in **F** show the course of the left facial nerve and vestibulochoclear nerves in white, and the left PICA and post-meatal AICA in orange. **G-I** : 3D MR cisternogram (**G**), 3D MR angiogram (**H**), and 3D MR cisternogram/ angiogram fusion image (**I**), viewed from the white-arrowhead in **A**. Compression of the REZ by the left PICA and VA (offending vessels) is clearly visualized. Dotted lines in **H** show the course of the left facial nerve and vestibulochoclear nerves in white, and the left PICA and post-meatal AICA in orange.

[Abbreviation] VA : vertebral artery, IAM : internal auditory meatus, REZ : root exit zone, AICA : anterior inferior cerebellar artery, PICA : posterior inferior cerebellar artery, VA : vertebral artery, BA : basilar artery, VII : facial nerve, VIII : vestibulochoclear nerve.

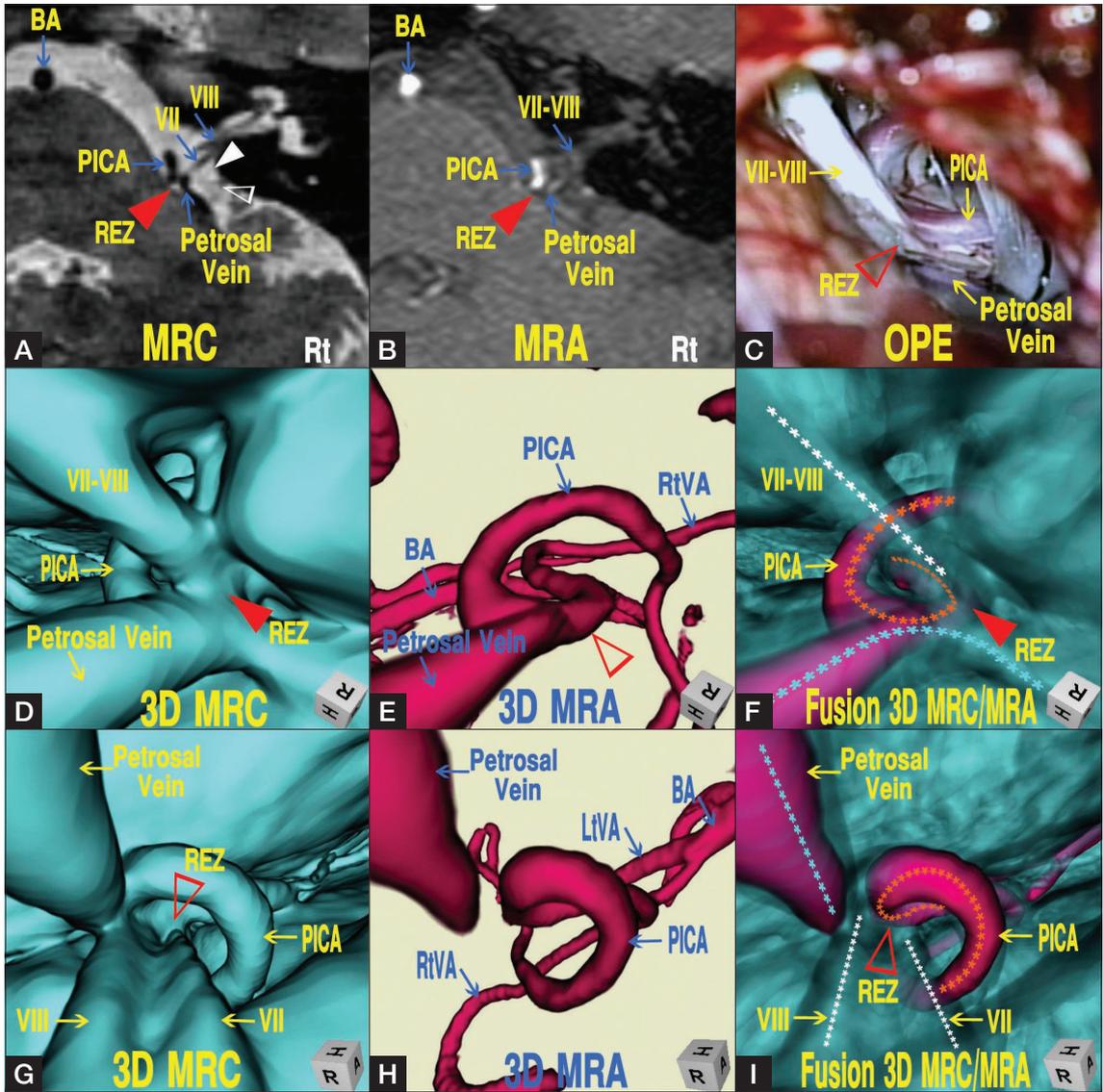


Fig.2 A 36 y.o. female, right hemifacial spasm (case 2). **A, B** : Source axial MR cisternogram (**A**) and MR angiogram (**B**), showing the compression at the REZ of the left facial nerve by the left PICA. A large petrosal vein runs adjacent to the REZ. **C** : Operative photo, showing the nerve-vessel relationship at the REZ of the left facial nerve. The REZ was compressed by the left PICA (offending vessel). **D-F** : 3D MR cisternogram (**D**), 3D MR angiogram (**E**), and 3D MR cisternogram/ angiogram fusion image (**F**), through the simulated operative approach and viewed from the empty-arrowhead in **A**. The REZ of the facial nerve is compressed directly by the left PICA (offending vessel). Dotted lines in **F** show the course of the left facial nerve and vestibulochochlear nerves in white, the left PICA in orange and petrosal vein in blue. **G-I** : 3D MR cisternogram (**G**), 3D MR angiogram (**H**), and 3D MR cisternogram/angiogram fusion image (**I**), viewed from the white-arrowhead in **A**. Compression of the REZ by the left PICA (offending vessel) is clearly visualized. Dotted lines in **H** show the course of the left facial nerve and vestibulochochlear nerves in white, the left PICA in orange and petrosal vein blue.

[Abbreviation] **VA** : vertebral artery, **IAM** : internal auditory meatus, **REZ** : root exit zone, **AICA** : anterior inferior cerebellar artery, **PICA** : posterior inferior cerebellar artery, **VA** : vertebral artery, **BA** : basilar artery, **VII** : facial nerve, **VIII** : vestibulochochlear nerve.

128 times, 256 × 256 matrix, 0.6-mm thickness, 0.6-mm section interval, 16-cm field of view, total scan time 13分23秒で、96枚の連続した軸位元画像を取得した。3D MR cisternogramは、workstation (Zio M900 Quadra ; AMIN, Tokyo) で元画像の volumetric data を3D volume-rendering data set (96 data) に変換し、遠近投影 volume-rendering 法を使用して再構成した。元画像での MR 信号強度分布 (arbitrary unit distribution) の histogram を分析し、信号強度分布の opacity curve から、閾値 440 ~ 480 (100% opacity level) から 460 ~ 500 (0% opacity level) に減少する下り坂関数 (width 20) を用いて、高信号強度を示す脳脊髄液以外のすべての情報を選択し青色カラーで表示した。3D MR cisternogram では、脳動脈、静脈、脳神経などの脳槽内構造物が、頭蓋底骨構造、硬膜、脳幹などの脳槽周囲構造物とともに立体表示された。

2. 3D MR angiogram の作成

MR angiography は、MR cisternography と同じ基準線を使用し、3D time-of-flight spoiled-gradient recalled (SPGR) sequence を使用し、以下の撮影条件で撮像した。35/ 3.9 ~ 4.1/ 2 (TR/ TE/ excitation), flip angle 20°, 192 × 128 matrix, 1.2 mm thickness, 0.6 mm slice interval, 16-cm field of view, overlap 8枚, total scan time 8分49秒 (2 slabs) で、104枚の連続した軸位元画像が得られた。これらの volumetric data は workstation で 0.6 mm の 3D volume-rendering data set (207 data) に変換した。3D MR angiogram は、遠近投影 volume-rendering 法を使用して、信号強度閾値 170 ~ 180 (0% opacity level) から 190 ~ 200 (100% opacity level) に増加する上り坂関数 (width 20) を用いて再構成し、赤色カラーで表示した。

3. 3D MR cisternogram/angiogram fusion image の作成

3D MR cisternogram/angiogram の fusion image^{8,9)} は、あらかじめ再構成した 3D MR cisternogram とその等座標 3D MR angiogram を workstation 上で重畳して作成した。さらに、動脈・静脈構造物の

視認性を得るために 3D MR cisternogram の opacity を 15% (青色)、3D MR angiogram を 100% (赤色) とした MRA 強調の fusion image を作成した。3D MR cisternogram/angiogram fusion image を使用して、顔面神経、責任血管、さらに責任血管による REZ の圧迫状況を小脳橋角部脳槽内のいろいろな視点から詳細に観察し、術野に相応する 3D 画像を術前に作成した。

IV. 結果

全症例で、術前作成した 3D MR cisternogram, 3D MR angiogram およびその 3D MR cisternogram/angiogram fusion image に相応した手術所見が得られた (Table)。脳脊髄液の吸引や小脳の retraction など MVD 手術操作により構造物のわずかな移動が認められたため、fusion image と手術所見が微妙な点で相違した症例もあった。しかし、fusion image で立体的に表示された顔面神経 REZ での責任血管と顔面神経との接触部位、その圧迫状況および周囲構造物との解剖学的位置関係は、手術所見とよく一致した。なお、合併症がみられた例はなく、良好な手術結果が得られた。

代表的症例の提示

〈症例 1〉 61 歳女性、左顔面痙攣 (Fig. 1)

4 年前より左顔面痙攣が出現、1 年前より近医にてボツリヌス治療を受けていたが、手術の希望があり当科を紹介された。MR cisternogram (Fig. 1A), MR angiogram (Fig. 1B) では、左 VA が顔面神経 REZ に近接して走行し、これより分岐した左 PICA が顔面神経 REZ と接触し圧迫する所見が得られた。顔面神経 REZ での神経-血管の立体的構築は、3D MR cisternogram, 3D MR angiogram およびその 3D MR cisternogram/angiogram fusion image により術前に立体的に評価した。手術進入方向 (Fig. 1A, encircled-arrow) から見た手術 simulation 画像 ; 3D MR cisternogram (Fig. 1D), 3D MR angiogram (Fig. 1E) およびその 3D MR cisternogram/angiogram fusion image (Fig. 1F) では、左 PICA および VA (責任血管) により顔面神経 REZ が anteroinferior 方向から圧迫された所見が得られた。また、AICA post-meatal loop

はREZを直接圧迫せずその近傍を走行していた。術野では得られない、左内耳道入口部の仮想的視点 (Fig. 1A, white-arrowhead) から観察した3D画像 (Fig. 1G-I) では、顔面神経REZが左PICAにより直接的に、左VAにより間接的に圧迫された所見が得られ、顔面神経REZの減圧には左PICAだけでなく左VAの転位も必要になると考えられた。手術所見 (Fig. 1C) では、3D MR cisternogram, 3D MR angiogram および fusion image とほぼ同等な術野が確認され、顔面神経REZは左PICAおよびVAで圧迫されていた。左VAおよびPICAを転位させ、顔面神経REZに prosthesis (Teflon-flake) を挿入し十分に免荷した。合併症なく、術直後より顔面痙攣は消失した。

〈症例2〉36歳女性、右顔面痙攣 (Fig. 2)

3年前より右顔面痙攣が出現し、近医にて carbamazepin (600 mg/日) の内服治療を受けていたが、手術の希望があり当科を紹介された。MR cisternogram (Fig. 2A), MR angiogram (Fig. 2B) では、顔面神経REZで右PICAおよび太いPVが接触する所見が得られた。手術進入方向 (Fig. 2A, empty-arrowhead) から見た手術 simulation 画像; 3D MR cisternogram (Fig. 2D), 3D MR angiogram (Fig. 2E) およびその3D MR cisternogram/angiogram fusion image (Fig. 2F) では、右顔面神経REZは右PICA (責任血管) により posteroinferior方向から圧迫された所見が得られた。また、PVは顔面神経REZを直接圧迫せずその近傍を走行していた。内耳道入口部の仮想的視点 (Fig. 2A, white-arrowhead) から観察した3D画像 (Fig. 2G-I) では、顔面神経REZがloop状に反転した右PICAにより圧迫された所見が得られた。手術所見 (Fig. 2C) では、3D MR cisternogram, 3D MR angiogram および fusion image で想定された術野が確認され、右PICAを移動し、顔面神経REZとPICAとの間に prosthesis を挿入し圧迫部を十分に免荷した。術後症状は速やかに消失し、良好な結果が得られた。

V. 考 察

片側顔面痙攣に対するMVDの術前画像評価に

は、3D TOF SPGRの元画像^{1,4)}、あるいは、constructive interference in steady-state (CISS)^{6,11)}、fast imaging employing steady-state acquisition (FIESTA)、balanced fast-field-echo (Balanced FFE)¹⁰⁾ もしくは true fast inflow with steady-state acquisition (true FISP)、3D fast asymmetric spin-echo (3D-FASE)⁶⁾、T2-weighted 3D FSE^{5,7-9)} など MR cisternography の元画像が用いられている。

SPGR画像はT1-weighted gradient-echo imageであり、脳神経、脳実質の形態は低信号強度で、血管構造は高信号強度で表示されるため、顔面神経REZ近傍での責任血管の走行が容易に視認される^{1,4)}。しかし、SPGR画像で表示される血管構造は真の形態ではなく、inflow effect で示される peak inflow velocity に関連した血流情報であり⁷⁻⁹⁾、責任血管と顔面神経との接触の詳細を評価するうえで留意しなければならない。

一方、MR cisternography では、脳槽内脳脊髄液は高信号強度で、脳槽内構造物は低信号強度で描出されるため、脳槽内を走行する脳神経、血管構造の外壁形態や脳脊髄液に接する脳実質、骨構造など脳槽周囲構造物の境界が明瞭に表示される^{4,11)}。これにより、顔面神経REZ近傍での顔面神経と圧迫責任血管との解剖学的位置関係や手術 approach から見た小脳橋角部脳槽の広さなどが明らかとなる。しかし、FIESTA, true FISP, CISSでは、脳神経と血管はともに同程度の低信号強度で描出されるため、これらを区別することは困難である^{4,6,10,11)}。また、T2効果により、脳底動脈など比較的太い血管が高信号強度を示す¹⁰⁾。さらに、これらの画像は、gradient-echo を base とした spin-echo との合成画像であり、血流信号が高信号から低信号強度まで一定せず、血管構造物の評価には注意を要する⁶⁾。一方、3D FSEを用いたMR cisternography⁷⁻⁹⁾では、TR, TEの撮像条件を適宜調整することで、脳脊髄液が高度の高信号強度で、脳神経と脳実質が中等度の低信号強度で表示され、血管構造物は flow void により高度の低信号強度で明瞭に描出される。そのため、3D FSE MR cisternography で得られた volumetric data を3D画像再構成することで、小脳橋角部脳槽内の脳神経や血管構造物と周囲脳

実質との解剖学的位置関係を立体的に表示することが可能となる。

本研究では、片側顔面痙攣症例に 3D MR cisternogram/angiogram fusion imaging^{8,9)} を応用し、顔面神経 REZ での責任血管の圧迫状況を立体的に画像評価した。その結果、fusion imaging では、遠近投影 volume-rendering 法で作成した 3D MR cisternogram と同一投影方向の等座標 3D MR angiogram とを重畳することで、脳槽内・脳槽周囲構造物と血管構造物が一枚の画像で表示された。これにより、脳神経、脳実質、血管構造物が複雑に青色で表示された 3D MR cisternogram のなかから、3D MR angiogram で赤色に表示された血管構造物が区別して視認されるため、REZ での責任血管による顔面神経の圧迫状況を立体的に把握することが可能であった。片側顔面痙攣に 3D MR cisternogram/angiogram fusion imaging^{8,9)} を応用することで、MVD 術野の 3D simulation が可能であった。また、REZ 近傍での責任血管や顔面神経を含めた脳槽内・脳槽周囲構造物を、いろいろな方向より術前に観察することで、手術難易度の推定や手術戦略を立てるうえで有用な情報が得られた。

今後、3D MR cisternogram/angiogram fusion imaging^{8,9)} を片側顔面痙攣の画像評価に応用する場合、REZ 近傍での perforator や微細な動静脈の描出、さらには、術後に移動した血管と神経や prosthesis の位置関係を評価することが課題となる。また、三叉神経痛や舌咽神経痛など他の神経血管圧迫病変への応用が期待される。

本論文の要旨は、第 64 回日本脳神経外科学会総会、(2005 年 10 月 5 日～7 日、横浜) および第 15 回日本脳神経外科コンピュータ研究会 (2006 年 1 月 28 日、山口) 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) 福島孝徳 : 顔面痙攣、三叉神経痛に対する後頭蓋渦神経血管減圧術 (Jannetta 法). *No Shinkei Geka* **10** : 1257-1261, 1982
- 3) Jannetta PJ, Abbasy M, Maroon JC, Ramos FM, Albin MS : Etiology and definitive microsurgical treatment of hemifacial spasm : operative technique and results in 47 patients. *J Neurosurg* **47** : 321-328, 1977
- 4) 三上 毅, 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
- 5) Mitsuoka H, Tsunoda A, Okuda O, Sato K, Makita J : Delineation of small nerves and blood vessels with three-dimensional fast spin-echo MR imaging : comparison of presurgical and surgical findings in patients with hemifacial Spasm. *AJNR Am J Neuroradiol* **19** : 1823-1829, 1998
- 6) Naganawa S, Koshikawa T, Fukatsu H, Ishigaki T, Fukuta T : MR cisternography of the cerebellopontine angle. Comparison of three-dimensional fast asymmetrical spin-echo and three-dimensional constructive interference in the steady-state sequences. *AJNR Am J Neuroradiol* **22** : 1179-1185, 2001
- 7) 佐藤 透, 尾美 暁, 大迫知香, 西田あゆみ, 守山英二, 小野田恵介, 徳永浩司, 杉生憲志, 伊達 勲 : 3D MR cisternography/angiography による部分的血栓化椎骨動脈瘤の画像評価. *脳外速報* **15** : 763-680, 2005
- 8) 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. *AJNR Am J Neuroradiol* **26** : 2010-2018, 2005
- 9) Satoh T, Omi M, Ohsako C, Fujiwara K, Tsuno K, Sasahara W, Onoda K, Tokunaga K, Sugiu K, Date I : Differential diagnosis of the infundibular dilation and aneurysm of internal carotid artery. Assessment with fusion imaging of the MR cisternography/angiography. *AJNR Am J Neuroradiol* **27** : 306-312, 2006
- 10) Tsuchiya K, Aoki C, Hachiya J : Evaluation of MR cisternography of the cerebellopontine angle using a balanced fast-field-echo sequence. Preliminary findings. *Eur Radiol* **14** : 239-242, 2004
- 11) Yamakami I, Kobayashi E, Hirai S, Yamaura A : Preoperative assessment of trigeminal neuralgia and hemifacial spasm using constructive interference in steady state three-dimensional Fourier transformation magnetic resonance imaging. *Neurol Med Chir (Tokyo)* **115** : 1-7, 1992