

- 1) 原著
- 2) 脳血管内治療における 3-dimensional 立体視画像の有用性
- 3) 平松亮，川端信司，宮地茂，大西宏之，黒岩敏彦
- 4) 大阪医科大学附属病院脳神経外科・脳血管内治療科
- 5) 平松亮，大阪医科大学附属病院脳神経外科・脳血管内治療科，
大阪府高槻市大学町 2-7, 072-683-1221, neu106@osaka-med.ac.jp
- 6) 3-D 立体視画像，3-D rotational angiography, 脳動脈瘤，脳動静脈奇形，
硬膜動静脈瘻
- 7) 本論 □を， □本脳神経 □管内治療学会 機関誌「JNET Journal of
Neuroendovascular Therapy」に投稿するにあたり，筆頭著者，共著者
によって，国内外の他雑誌に掲載ないし投稿されていないこと
を誓約致します

和文要旨

目的：

脳血管内治療を行う上で、3-dimensional（3-D）再構成画像は必須である。従来の3-D再構成画像はモニター上に投影された平面画像にすぎない。今回我々は脳血管内治療前に3-D立体視画像を作成し術前シミュレーションを行い、その有用性を検討した（対象は脳動脈瘤6例と動静脈シャント疾患8例）。

症例呈示：

Case6. 症例は60歳男性の未破裂脳動脈瘤（内頸動脈傍前床突起部動脈瘤）

Case8. 症例は64歳男性の脊髄硬膜動静脈瘻

それぞれ3-D立体視画像作成には3-D立体視画像変換ワークステーション・3-Dモニターを使用した。第1術者が作成された3-D立体視画像を用い術前シミュレーションした後、通常の脳血管内治療を行い3-D立体視画像が有用であった点について術後フリーコメントで評価した。

結論：

3-D立体視画像を脳血管内治療に応用したことで、空間的オリエンテーションの把握の点で評価が高かった。特に複雑な血管構造を有する動静脈シャント疾患でそのような評価は多くみられた。そのため術者経験の浅い脳血管内治療医のトレーニングや学生教育に最適であると思われた。

諸言

3-dimensional（3-D）立体視画像は近年広く外科手術に用いられるようになってきている。特に腹腔鏡下手術領域ではその有用性が多く報告さ

れており¹⁻³⁾、最近では手術支援ロボット「ダヴィンチ」にも用いられ、本邦でも多くの施設で採用されている⁴⁻⁶⁾。また脳神経外科手術領域でも神経内視鏡手術⁷⁾や顕微鏡下手術での手術支援ナビゲーションシステムと組み合わせた 3-D 立体視画像が取り入れられ、その有用性の報告を散見する⁸⁻¹¹⁾。

脳血管内治療を行うためには 3-D rotational angiography (3-D RA) は必須の診断ツールである。しかしこの撮影より作成された 3-D 再構成画像 (以後 3-D 画像) はあくまでも平面画像に過ぎない。そこで今回我々は 3-D 立体視画像を脳血管内治療に応用し、その有用性について術者の評価を中心に検討を行った。

対象と方法

対象は脳動脈瘤 6 例 (未破裂 : 5 例, 破裂 : 1 例) と複雑な血管構造を有する動静脈シャント疾患 8 例 (脳動静脈奇形 (arteriovenous malformation ; AVM) : 2 例, 硬膜動静脈瘻 (dural arteriovenous fistula ; dAVF) : 3 例, 脊髄 AVF: 3 例) の計 14 例である (**Table 1**)。3-D 立体視画像はパナソニック メディカルソリューションズ株式会社が開発した手術支援画像システム (Plissimo XV) を用い作成した。3-D 立体視画像の作成手順は、まず脳血管内治療前に施行した 3-D RA の raw data を DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) 形式で CD-R に出力し、そのデータを Plissimo XV 上で展開する。3-D 立体視画像は数秒で完成し、それを同じくパナソニック メディカルソリューションズ株式会社が開発した 3-D 立体視画像対応 liquid crystal display (LCD) モニターに投影する。術者は 3-D 専用偏光眼鏡をかけて立体視画像をモニター上で自在にマウスを動かし病変までのアクセスや病変の奥行きなどを術前に

シミュレーションした後 (Fig. 1) , 従来通りの治療を開始した. 治療後に第 1 術者が 3-D 立体視画像を用いた術前シミュレーションが治療上有用であった点についてフリーコメントで評価を行った.

結果

Plissimo XV を用いた 3-D 立体視画像の作成は, 14 例全ての治療において容易に作成できた. 脳血管内治療における 3-D 立体視画像の有用性について, 術者の評価として奥行き方向の血管構築やワーキングアングルに重なりを持つ分枝の把握等, 空間的オリエンテーションがつけやすい点があげられた. 具体的には AVM において平面画像では見誤りやすい屈曲した血管のねじれや, 近接する 2 血管の距離の把握が可能であった. 横静脈洞部 dAVF では, 複数の parasinus の奥行きやその接合部の形状が立体的に描出され, アプローチする角度や方向の決定に有用であった. また脳動脈瘤においては術者が術者経験の豊富な脳血管内治療指導医の場合では通常の治療と比較して 3-D 立体視画像の格段な有用性は示せなかった. これは脳動脈瘤の血管構造はシャント疾患の複雑な血管構造とは異なり比較的 3 次元構造をイメージしやすいため術者経験の豊富な指導医では有用性が示せなかったものと思われた. しかし術者が手術経験の浅い脳血管内治療専門医であった場合には脳動脈瘤のアクセスルートの奥行き (サイフォン部の tortuous な形状など) や micro catheter (MC) の shaping 形状をより正確に知ることができた. しかしマウス上の手元の操作と 3-D 立体視画像対応 LCD モニター上での立体視画像の動きに時間差がありストレスを感じるという評価も認められた.

症例提示

Case 6

患者：60歳，男性

現病歴：ふらつきを主訴に近医で頭部 MRI/MRA を施行され左内頸動脈瘤を指摘され当院へ紹介となった。当科にて脳血管撮影検査を行ったところ最大径は 5mm を超えていた。年齢・大きさより治療対象で，本人の治療希望もありコイル塞栓術を行うこととなった。

治療：局在は内頸動脈傍前床突起部動脈瘤であり (Fig. 2A) 最大径が 5.30mm で，ネック径は 3.95mm と比較的 broad ネット (Dome/Neck 比=1.35) であった。内頸動脈傍前床突起部動脈瘤でサイフォン部からの距離が非常に短く MC を動脈瘤内に留置する (engagement) 際に難渋すること，またコイル塞栓術中に MC が安定しないことが予想されたためバルーンアシスト下でのコイル塞栓術を行う方針とした。治療は全身麻酔下で行い，6Fr の guiding catheter (GC) を左頸部内頸動脈 (C1 レベル) に留置した。その後術前 3-D RA の raw data を DICOM 形式で CD-R に出力し，この data を Plissimo XV 上で展開すると約 10 秒で 3-D 立体視画像が完成した (Fig. 2B)。これを術者 (脳血管内治療専門医) がマウスを用いて 3-D 立体視画像対応 LCD モニター上で自由に動かし術前シミュレーションを行ってから MC の shaping および engagement を行った。計 5 本のコイルを用い最終造影にて動脈瘤は complete obliteration を得た。

評価：サイフォン部の奥行きが通常の 3-DRA で認識していた感覚より非常に深く感じた。そのため通常は 3-D RA での所見に合わせて 3 次元的に preshape したマイクロカテーテルをガイドワイヤーで方向転換して誘導する。その際にサイフォン部でワイヤーの抵抗を視覚的に，もしくは触覚的に感じながらカテーテルを誘導するが，術前にサイフォン部の奥行きを確認していたため，より敏感にそれらの抵抗を感じ無理なワイヤー

操作をせず engagement することができた。

Case 8

患者：64 歳，男性

現病歴：4 カ月前より両下肢脱力と膀胱直腸障害を認めたため椎間板ヘルニア手術目的で当院整形外科に入院となった。術前腰椎 MRI にて flow void および拡張した異常血管を胸腰椎レベルに認めたため当科紹介となり，当科で脊髄血管撮影を行うと右胸椎 7, 8 レベルの肋間動脈から栄養される脊髄 dAVF を認めた (Fig. 3A) ため血管内治療を行うこととした。

治療：Case 6 同様，治療前に行った脊髄血管撮影の 3-D RA の raw data を DICOM 形式で CD-R に出力し，この data を Plissimo XV 上で展開すると約 10 秒で 3-D 立体視画像が完成した (Fig. 3B)。本症例は脊髄 dAVF であり，drainer と feeder (T7, T8 radiculomedullary artery) をそれぞれ個別の立体視画像を作成し重ねた。これを術者（脳血管内治療指導医）が 3-D 立体視画像対応 LCD モニター上で術前シミュレーションを行った後，治療を開始した。治療は全身麻酔下に 6Fr と 4Fr の coaxial system で guiding catheter を右第 7 胸椎肋間動脈に留置した。そこから feeder である radiculomedullary artery に MC の挿入を試みたが，術前 3-D 立体視画像より肋間動脈からの分岐角度が鋭角であることが事前に分かっていたため，無理なワイヤー操作を行わず血管分岐後の肋間動脈にコイルを留置して閉塞をした。その後血管分岐手前より n-butyl 2-cyanoacrylate (NBCA) 注入を行い feeder のみのへ塞栓物質注入が可能であった。T8 radiculomedullary artery からも NBCA の注入を行い，最終造影にて脊髄 dAVF は完全消失した。

評価：T7 radiculomedullary artery の分岐は厳しい角度であり，これは 3-D

画像でも確認できていた。しかし feeder である側の血管分岐が鋭角でさらに水平方向にヘアピンターンしている 3 次元情報を正確にとらえることが可能であった (Fig. 3)。これにより無理なワイヤー操作を行わず適切な治療戦略を立てることができた。

考察

立体視画像の歴史は古く、2枚のフィルムで立体視することは単純撮影が可能になった前世紀初頭から一般的に行われていた¹²⁻¹⁴⁾。また連続撮影でない1枚撮りの立体血管撮影は、1930年に齋藤らにより報告された。これは管球の角度をずらした2回の単発撮影で立体画像にすることは可能であったが、造影剤を2回注入する必要があった。1回の連続撮影で立体撮影を可能にするため、1管球を短時間に2つの位置の間を何度も行き来させたり¹⁵⁻¹⁷⁾、2管球を交互に用いたり^{18,19)}、1管球内に2焦点を持つ管球 (dual-focus x-ray tube) を用いたりされた²⁰⁾。解像度などの問題から、1焦点を持つ1管球 (singlefocus x-ray tube) を用い一定の角度 (convergent angle : 6~12度) をずらして同じ連続撮影を2回する方法が再び普及したが、やはり造影剤を2回注入するという問題点は解決されなかった。角度をずらした2方向の画像を並べて表示して、交差法または平行法により、近位または遠位に注視点を調節することにより裸眼による立体視を行なうのが一般的であった。

今回我々が用いた3-D立体視画像システムは、脳血管内治療を行う際に必ず撮影する3-D RAのraw dataから簡便に立体視画像を作成でき、また3-D偏光眼鏡をかければ誰でもその立体視画像を確認することが可能である。そのため3-D立体視画像作成のために2回の撮影を行う必要がなく、立体視画像を見るための慣れも不要である。また今回の検討ではす

すべての症例において数秒で3-D立体視画像が容易に作成でき、さらに術前の血管構築の把握や治療戦略の決定にこの3-D立体視画像は大変有用であった。特にシャント疾患では血管解剖やfeeder, drainerの前後関係や距離感の把握に有用で、血管走行を不十分な、または過小評価したために操作に無理が加わることで合併症が生じたり、治療時間の延長による放射線曝露量の増加を防ぐ効果もあると思われた。一方で、マウス操作と3-D立体視画像対応モニター上の立体視画像の実際の動きに時間差が生じるなど操作性の問題を抱えている。そのため今後もさらなるソフトの改善やハードウェアの向上に努める必要があると思われた。

結語

今回我々は3-D立体視画像を脳血管内治療術前シミュレーションに用い、その有用性を検討した。3-D立体視画像変換ワークステーション・3-Dモニターを用いた3-D立体視画像作成は容易であり、また複雑な血管構造を有する動静脈シャント疾患で空間的オリエンテーションがつけやすかったという評価を多く認め、その有用性も示唆された。この空間的オリエンテーションは脳血管内治療において非常に重要な要素であり、3-D立体視画像を術前に確認することで術者経験の浅い脳血管内治療医のトレーニングや学生教育にも利用できると思われた。

また今回我々が行った脳血管内治療の術前シミュレーションとして3-D立体視画像を導入した報告は今までになく、現在我々は当院倫理委員会へ申請中であり、今後は前向き研究を行いその有用性を実証していきたい。

利益相反開示

本論文に関して、開示すべき利益相反状態は存在しない。

文献

- 1) Kong SH, Oh BM, Yoon H, et al. Comparison of two- and three-dimensional camera systems in laparoscopic performance: a novel 3D system with one camera. *Sur Endosc* 2010;24:1132-1143
- 2) Silvestri M, Simi M, Cavallotti C, et al. Autostereoscopic three-dimensional viewer evaluation through comparison with conventional interfaces in laparoscopic surgery. *Surg Innov* 2011;18:223-230
- 3) LaGrange CA, Clark CJ, Gerber EW, et al. Evaluation of three laparoscopic modalities: robotics versus three-dimensional vision laparoscopy versus standard laparoscopy. *J Endourol* 2008;22:511-516
- 4) Ito M, Asano Y, Shimizu T, et al. Comparison of standard laparoscopic distal pancreatectomy with minimally invasive distal pancreatectomy using the da Vinci S system. *Hepatogastroenterology* 2014;61:493-496
- 5) Yoshida S, Fukui N, Saito K, et al. Novel image monitoring system using a head-mounted display for assistants in da Vinci surgery. *Int J Urol* 2015;22:520-521
- 6) Fujiwara K, Fukuhara T, Niimi K, et al. Load evaluation of the da Vinci surgical system for transoral robotic surgery. *J Robotic Surg* 2015;9:315-319
- 7) Inoue D, Yoshimoto K, Uemura M, et al. Three-dimensional high-definition neuroendoscopic surgery: a controlled comparative laboratory study with two-dimensional endoscopy and clinical application. *J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg* 2013;74:357-365

- 8) Rohde V, Hans FJ, Mayfrank L, et al. How useful is the 3-dimensional, surgeon's perspective-adjusted visualisation of the vessel anatomy during aneurysm surgery? A prospective clinical trial. *Neurosurg Rev* 2007;30:209-216; discussion 216-207
- 9) Unsgaard G, Ommedal S, Rygh OM, et al. Operation of arteriovenous malformations assisted by stereoscopic navigation-controlled display of preoperative magnetic resonance angiography and intraoperative ultrasound angiography. *Neurosurgery* 2005;56:281-290; discussion 281-290
- 10) Mathiesen T, Peredo I, Edner G, et al. Neuronavigation for arteriovenous malformation surgery by intraoperative three-dimensional ultrasound angiography. *Neurosurgery* 2007;60:345-350; discussion 350-341
- 11) Kockro RA, Reisch R, Serra L, et al. Image-guided neurosurgery with 3-dimensional multimodal imaging data on a stereoscopic monitor. *Neurosurgery* 2013;72 Suppl 1:78-88
- 12) 太田富雄, 詠田 真治, 出口潤, 他 : 頭蓋骨・脳・血管の三次元画像アトラス. 京都, 金芳堂, 1995.
- 13) Washburn MF. Retinal Rivalry as a Neglected Factor in Stereoscopic Vision. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1933;19(8):773-777.
- 14) Fray WW, Warren SL. Stereoscopic Röntgenography of the Breasts: An Aid in Establishing the Diagnosis of Mastitis and Carcinoma. *Ann Surg* 1932;95(3):425-32.
- 15) Takahashi M, Tamakawa Y, Goto K, et al. Serial cerebral angiography in stereoscopic magnification. *AJR American journal of roentgenology* 1976;126:1211-1218

- 16) Vogelsang H, Dietz K. Stereoscopic magnification in spinal angiography. *AJNR American journal of neuroradiology* 1983;4:588-589
- 17) Mokrohisky JF, Murtagh F, Paul RE, Jr., et al. Biplane stereoscopic cerebral angiography. *Acta Radiol* 1956;46:262-272
- 18) Fernstrom I, Lindblom K. Simultaneous stereoangiography. *Acta Radiol* 1955;44:230-232
- 19) Tobe T, Saito S, Toda N, et al. Simultaneous stereoroentgenography. *The Gunma journal of medical sciences* 1966;15:23-31
- 20) Doi K, Rossmann K, Duda EE. Application of longitudinal magnification effect to magnification stereoscopic angiography: a new method of cerebral angiography. *Radiology* 1977;124:395-401

図表の説明

Table 1

List of patients and comments of first surgeon

Figure 1

First surgeon runs a preoperative simulation on an access to lesion and a depth of lesion etc. using 3-D stereoscopic system.

Figure 2

Case 6. A: This image is pre-operative 3-D rotational angiography (A left internal carotid angiogram, an antero-posterior view) .

. B: This image is pre-operative 3-D stereoscopic angiography (A left internal carotid angiogram, an antero-posterior view) .

Figure 3

Case 8. A: This image is pre-operative 3-D rotational angiography (A right 7th intercostal angiogram, an antero-posterior view) . Arrow shows a hairpin curve of feeder on 3-D rotational angiography. B: This image is pre-operative 3-D stereoscopic angiography (A right 7th intercostal angiogram, an antero-posterior view) . Arrow head shows a hairpin curve of feeder on 3-D stereoscopic angiography.

Table 1 List of patients and comments of first surgeon

Case	Age	Sex	Diagnosis	Treatment	Operative experience of the first surgeon	Comments of First Surgeon
1	62	M	Unruptured ICA anterior wall AN	Coil embolization using balloon assist technique	Over two decades	Not available
2	65	M	spinal dAVF	TAE using 13% NBCA and coil embolization	Over two decades	Much improved spatial understanding of feeder
3	77	F	Unruptured ICA large AN	Coil embolization using double catheter technique	Over two decades	Not available
4	55	M	spinal dAVF	TAE using 13% NBCA and coil embolization	Over two decades	Much improved spatial understanding of feeder
5	76	M	Transverse-sigmoid sinus dAVF	TVE using coil embolization and TAE using 13% NBCA	Over two decades	Spatially recognition of the depth of parasinus and the configuration of shunt point
6	60	M	ICA-paraclinoid AN	Coil embolization using balloon assist technique	2 years	Spatially easy recognition of tortuous carotid siphon
7	58	M	AVM (feeder aneurysm)	Coil embolization	Over two decades	Spatially easy recognition of complicate feeder structure
8	64	M	spinal dAVF	TAE using 13% NBCA and coil embolization	Over two decades	Much improved spatial understanding of feeder
9	37	M	AVM	TAE using Onyx 18	Over two decades	Spatially easy recognition of complicate feeder structure
10	72	M	Transver-sigmoid sinus dAVF	TVE using coil embolization and TAE using 13% NBCA	Over two decades	Spatially recognition of the depth of parasinus and the configuration of shunt point
11	73	F	Transver-sigmoid sinus dAVF	TAE using coil embolization and 13% NBCA	Over two decades	Identification of shunt point
12	66	F	Unruptured IC-ophthalmic AN	Stent assisted coil embolization using double catheter technique	2 years	Spatially easy recognition of tortuous carotid siphon and accurate micro catheter shaping
13	75	F	Ruptured BA-SCA AN	Coil embolization	Over two decades	Not available
14	69	F	Unruptured carotid cave AN	Coil embolization using balloon assist technique and double catheter technique	Over two decades	Not available

ICA: internal carotid artery, AN: aneurysm, dAVF: dural arteriovenous fistula, AVM: arteriovenous malformation, BA: basilar artery, SCA: superior cerebellar artery, TAE: transarterial embolization, TVE: transvenous embolization, NBCA: n-butyl 2-cyanoacrylate

Fig.1

Figure 1

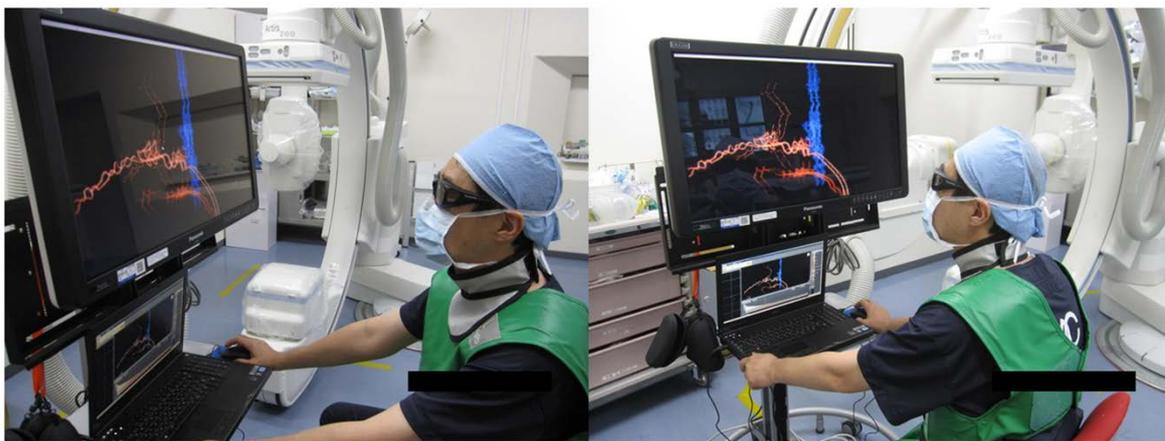


Figure 2

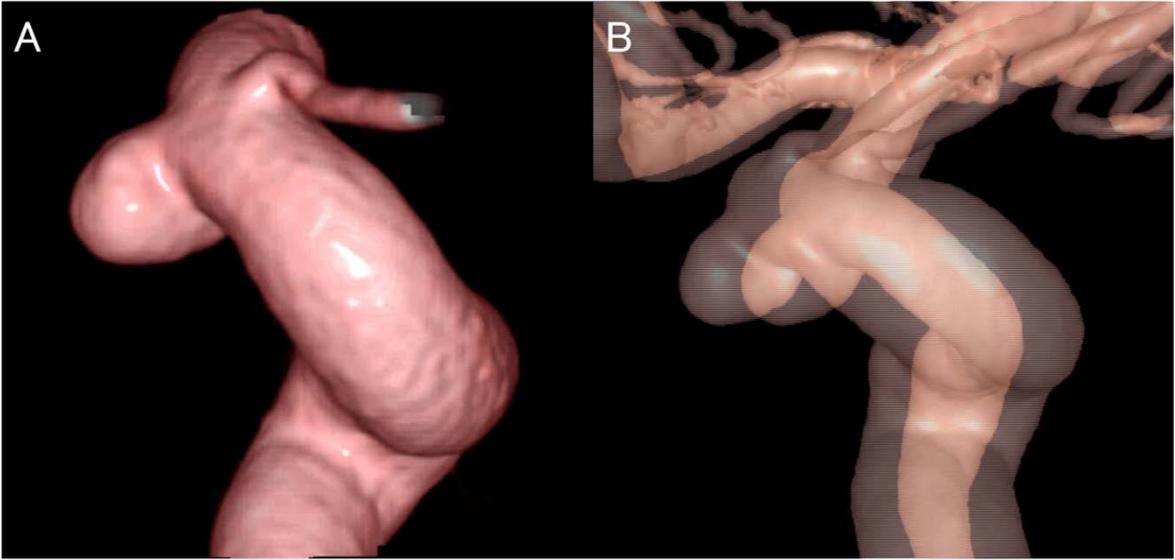


Figure 3

