頭蓋頸椎移行部奇形の治療における 外科用移動型 3D イメージを用いた Navigation System の有用性

A Mobile 3D Imaging Navigation System for the Surgical Treatment of Craniocervical Junction Malformation

高橋 雄一 西田 憲記 小川 浩一 眞鍋 博明
中原 誠之 角本 孝介 土方 保和

Yuichi Takahashi, M. D., Kenki Nishida, M. D., Kouichi Ogawa, M. D., Hiroaki Manabe, M. D.,
Masayuki Nakahara, M. D., Kousuke Kakumoto, M. D., Yasukazu Hijikata, M. D.

Abstract

We evaluated the usefulness of a mobile 3D Imaging navigation system for the surgical treatment of craniocervical junction malformation and tried to determine the optimum fixation method for this procedure. The results of this study are presented in this paper. The study involved 3 patients with craniocervical junction malformation (excluding cases of atlanto-axial dislocation) who underwent surgery after August 2007. For this operative procedure, an ARCADIS Orbic 3D (Siemens) CT scan capable of intraoperative real-time 3D-CT was linked to the navigation system of a Stealth Station TRIA™ Plus (Medtronic SOFAMOR DANEK). A VERTEX™ MAX reconstruction system (Medtronic SOFAMOR DANEK) was used for instrumentation. None of the patients studied developed screw dislocation or neurological complications, and fixation was satisfactorily achieved in all cases. Since malformation of the craniocervical junction is often accompanied by a high riding vertebral artery (VA), hypoplasia of the pedicle or lateral mass and other abnormalities, the deployment of a laminar screw (LS) was found to be useful for the surgical treatment of such cases from a viewpoints of both safety and ease in fixation. Using a mobile 3D imaging navigation system for surgery is advantageous not only for detailed navigation but also checking the location of screw placement immediately by repeated intraoperative CT scans.

(Received July 13, 2009 ; accepted October 2, 2009)

Key words

malformation of craniocervical junction, mobile 3D imaging for surgical use, navigation system, laminar screw

はじめに

頭蓋頸椎移行部は、解剖学的、機能的に特殊な領域であり、頻繁に複雑な動きを行うため不安定性をきたしやすく、治療として固定術の必要性が高くなる¹⁾。しかし、重要な神経組織や椎骨動脈 (vertebral artery : VA) があ

り、神経症候学的にも複雑な部位であるため、合併症を起こす危険性も高い。当院では 2007 年 8 月に外科用移動型 3D イメージを用いたナビゲーションシステムを導入して以降、より安全に頸椎 instrumentation 手術を行うことが可能となった。今回われわれは、当院での経験を通して、頭蓋頸椎移行部奇形の治療における外科用移動

医療法人財団池友会新小文字病院脊椎外科治療センター／〒800-0057 北九州市門司区大里新町 2-5 [連絡先：高橋雄一]
Address reprint requests to : Yuichi Takahashi, M. D., Department of Spine and Spinal Surgery, Shinkomonji Hospital, 2-5 Dairishin-machi, Moji-ku, Kitakyusyu-shi, Fukuoka 800-0057, Japan

Fig. 1

a : Navigation system (Stealth Station TRIA™ plus).
b : ARCADIS Orbic 3D.

型 3D イメージを用いたナビゲーションシステムの有用性および固定法について検討したので報告する。

対象・方法

2007 年 8 月から手術を施行した環軸椎亜脱臼を除く頭蓋頸椎移行部奇形 3 症例を対象とした。術中に 3D イメージを撮影できる SIMENS 社の ARCADIS Orbic 3D (Fig. 1 a) と Medtronic SOFAMOR DANEK 社の Navigation system (Stealth Station TRIA™ plus) (Fig. 1 b) を連動させ、instrumentation には VERTEX™ MAX reconstruction system (Medtronic SOFAMOR DANEK 社) を使用した。

【Navigation system】

Stealth Station は赤外線発光ダイオード (LED) を備えた手術器具からの赤外線をカメラでとらえ、モニターの CT 画像にその位置を表示する。外科用移動型 3D イメージは、アイソメトリック機能を搭載した C アームで、術中に三次元画像の撮影可能な移動型装置である。まず、三点固定のフレームにリファレンスフレームを取り付け、術中に C アームを 1 回転させることで CT が撮影でき、撮影が完了すると自動的に画像が転送されナビゲーションのモニター上に写し出される (この時点で自動的に registration が終了している)。そののち、モニター上に三次元画像が再構築されナビゲーションが可能となる (Fig. 2)。

Fig. 2 Navigation image

【症例 1】

患者：33 歳，女性

診断：Atlanto-axial rotatory fixation

非常に強い後頸部痛，後頭部痛があり，保存的加療でも症状の改善がみられなかった。C1 は回旋位をとっていたが完全には固定されておらず，後頭骨と C1 および C1 と C2 の間で回旋での動きが残存していた (Fig. 3 a~j)。C2 は左側が high riding VA 呈していたため右側に laminar screw (LS) を (Fig. 3 k)，C3-5 までは lateral mass screw (LMS) を使用し (Fig. 3 l~n)，自家骨を移植して後頭骨から C5 までの固定術を施行した (Fig. 3 o)。C1 は回旋位をとっていたため screw の刺入が困難と判断し行わなかった。術後症状は改善し，screw の誤刺入はなく，固定も良好であった。

【症例 2】

患者：65 歳，女性

診断：環椎後頭骨癒合，Basilar impression，os odontoidum，Klippel-Feil 症候群

後頭部痛，四肢不全麻痺で発症。術前 CT にて os odontoidum での不安定性があり (Fig. 4 a)，術前 MRI でこの部位に髄内輝度変化を認め，また C3/4 高位でも狭窄を認めた (Fig. 4 b)。C2 と C3 は癒合しており，また pedicle が非常に細かったため LS を (Fig. 4 c)，C4 は LMS を使用し (Fig. 4 d)，後頭骨から C1 までの除圧および自家骨を移植して後頭骨から C4 までの固定を施行した (Fig. 4 e)。術後症状は改善し，screw の誤刺入はなく，固定も良好であった。

【症例 3】

患 者：65 歳，男性

診 断：Klippel-Feil 症候群，Basilar impression

呼吸困難，四肢不全麻痺で発症。術前 MRI にて C1/2 高位に髄内輝度変化を認め（Fig. 5 a），術前 CT で C2-7 の癒合，C2 に high riding VA および C3 以下では pedicle が非常に細かった（Fig. 5 b, c）。後頭骨から C3 までの除圧および C1 は LMS（Fig. 5 d），C4 以下は LS を使用し（Fig. 5 e~h），自家骨を移植して後頭骨から C7 までの固定を施行した（Fig. 5 i）。術後症状は改善し，screw の誤刺入はなく，固定も良好であった。

考 察

頭蓋頸椎移行部は多彩な動きが広範囲に行われ，また骨構造の複雑さとともに靱帯が重要な役割を果たしているため，解剖学的にも中下位頸椎に比べ特殊であり，この部位の固定にはより強固な固定法が必要となる¹⁾。この部位の固定に関しては，これまでもさまざまな方法が報告されているが¹⁻⁴⁾，一方で神経損傷や VA 損傷の危険性も高い。Wright ら⁵⁾は，Magerl 法における VA 損傷のリスクは患者 1 人あたり 4.1%，screw 1 本あたり 2.2%，VA 損傷に伴う neurological deficit は 0.2%と報告している。特に high riding VA は常に念頭に置いておく

Fig. 4

- a** : Preoperative sagittal CT image showing apparent os odontoideum and congenital fusion at C2 and C3 vertebrae.
b : Preoperative sagittal T2-weight MR image showing a high intensity at os odontoideum and canal stenosis at C3/4 level.
 Postoperative axial CT (**c, d**) and lateral X-ray (**e**) images. Bilateral C3 laminar screws and C4 lateral mass screws were inserted exactly.

必要があり⁶⁾、頭蓋頸椎移行部に奇形があるとその割合はさらに高くなるとされる。また、本症例のように、頭蓋頸椎移行部奇形には pedicle や lateral mass の低形成を伴うことも多い。Screw 誤刺入によるトラブルを回避するにはハイリスクな部位に screw を刺入しない手術計画を立てることが重要であり、このような症例には LS が anchor の一つとなりえる。LS の安全性、有効性に関する報告も多く⁷⁻⁹⁾、また固定性に関するもほかの固定法と比較しても同等であると報告されており¹⁰⁾、PS や LMS の困難な症例には LS は安全で有用な方法であると思われる。

PS や LMS を用いることで強固な固定が可能となり、頸椎後方 instrumentation 手術においては非常に有用な方法であるが、screw の逸脱は固定性の低下だけでなく、頸椎においては特に神経血管系の合併症が生じる可能性が高い。この問題を解決すべく、脊椎手術においてもナビゲーションシステムが応用されてきた。その有効性に関する報告も多いが¹¹⁻¹⁵⁾、従来のナビゲーションシステムを用いても screw の逸脱は少なからず存在する。ま

た従来のナビゲーションシステムは、①術前の詳細な CT 情報が必要、②腹臥位などの体位をとることにより alignment が変化し、術前の CT 情報とのずれが生じる可能性がある、③ 1 椎体ごとに煩雑な registration が術中に必要となり時間がかかる、④手術操作を加えるとナビゲーションが困難となるなどの欠点があった。これらの欠点を克服するために術中に撮影するイメージを画像に使用するナビゲーションシステム (Fluoro Nav) が開発され、頸椎の pedicle screw を始め、さまざまな手術での有用性が期待されていた¹⁶⁾。さらに進化したこの外科用移動型 3D イメージを用いたナビゲーションシステムは、①術中に 3D-CT の撮影が行えるため、術前の詳細な CT 情報は必ずしも必要ない、②術中の alignment を撮影でき、これをナビゲーションに使用できるため精度を高くすることができる、③CT 撮影開始から自動 registration までごく短時間で終了する、④手術操作を加えた後もナビゲーションが可能などの利点があり非常に有用である。また、このようなナビゲーション機能としての有用性に加え、術中に再度 CT 撮影を行うことによりそ

Fig. 5

a : Preoperative sagittal T2-weight MR image showing a high intensity at C1/2 level.

b , **c** : Preoperative sagittal CT image showing the fusion from C2/7 vertebrae, a high riding VA at the C2 level, and narrow pedicles.

Postoperative axial CT (**d-h**) and lateral X-ray (**i**) images. Bilateral C1 lateral mass screws (**d**), a right laminar screw at C4 and C6 (**e**, **g**), and a left laminar screw at C5 and C7 (**f**, **h**) were inserted exactly.

の場で screw の位置を確認できることも大きな利点の一つである。正常な解剖学的形態の場合はもちろん、頭蓋頸椎移行部奇形のように高度な奇形を伴う例や再手術例においてもさらなる効果を発揮し、頸椎 instrumentation 手術の適応拡大につながるものと思われる。問題点としては、1 回の CT 撮影で 3~4 椎体までの操作は可能であるが、それ以上の多椎体を使用する場合には場所をずらし再度 CT 撮影を行う必要があることと、装置が非常に高価であることが挙げられる。また、術中に C アー

ムを 1 回転させて CT を撮影するため、術野が不潔にならないように注意する必要がある。もちろん、術者の経験と技術が最も重要であることには変わりはないが、頸椎 instrumentation 手術のさらなる安全性や手術精度を確保するために、外科用移動型 3D イメージを用いたナビゲーションシステムはきわめて有用であると思われる。

まとめ

- 1) 頭蓋頸椎移行部奇形には high riding VA, pedicle や lateral mass の低形成などを伴うことが多く, このような症例には安全性, 固定性の面から LS が有用と思われた.
- 2) 外科用移動型 3D イメージを用いたナビゲーションシステムは, ナビゲーション機能としての有用性はもちろん, 術中に再度 CT 撮影を行うことによりその場で screw の位置を確認できることも大きな利点の一つである.

文献

- 1) 高安正和, 吉田 純: 頭蓋頸椎移行部の Instrumentation. *No Shinkei Geka* 27: 871-881, 1999
- 2) Jain VK, Takayasu M, Singh S, et al: Occipital-axis posterior wiring and fusion for atlantoaxial dislocation associated with occipitalization of atlas. *J Neurosurg* 79: 142-144, 1993
- 3) Puttlitz CM, Melcher RP, Kleinstueck FS, et al: Stability analysis of craniovertebral junction fixation techniques. *J Bone Joint Surg* 86-A: 561-568, 2004
- 4) Inamasu J, Kim DH, Klugh A: Posterior instrumentation surgery for craniocervical junction instabilities: an update. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 45: 439-447, 2005
- 5) Wright NM, Lauryssen C: Vertebral artery injury in C1-2 transarticular screw fixation: results of a survey of the AANS/CNS section on disorder of the spine and peripheral nerves. *J Neurosurg* 88: 634-640, 1998
- 6) Neo M, Matsushita M, Iwashita Y, et al: Atlantoaxial transarticular screw fixation for a high-riding vertebral artery. *Spine* 28: 666-670, 2003
- 7) Wright NM: Posterior C2 fixation using bilateral, crossing C2 laminar screws. Case series and technical note. *J Spinal Disord Tech* 17: 158-162, 2004
- 8) Wright NM: Translaminar rigid screw fixation of the axis. Technical note. *J Neurosurg Spine* 3: 409-414, 2005
- 9) Gorek J, Acaroglu E, Berven S, et al: Constructs incorporating intralaminar C2 screws provide rigid stability for atlantoaxial fixation. *Spine* 30: 1513-1518, 2005
- 10) Lapsiwala SB, Anderson PA, Oza A, et al: Biomechanical comparison of four C1 to C2 rigid fixative techniques: Anterior transarticular, posterior transarticular, C1 to C2 pedicle, and C1 to C2 interlaminar screws. *Neurosurgery* 58: 516-521, 2006
- 11) Ludwig SC, Kramer DL, Vaccaro AR, et al: Transpedicle screw fixation of the cervical spine. *Clin Orthop* 359: 77-88, 1999
- 12) Kamimura M, Ebara S, Itoh H, et al: Safe and accurate cervical pedicle screw insertion guided by a computer-assisted image-guidance system. *J Spinal Disord* 13: 218-225, 2000
- 13) 上村幹男, 中川浩之, 木下哲也, 他: イメージガイドシステムを使用した頸椎椎弓根スクリュー固定の正確性. *脊椎脊髄* 14: 227-232, 2001
- 14) Kotani Y, Abumi K, Ito M, et al: Improved accuracy of computer-assisted cervical pedicle screw insertion. *J Neurosurg* 99 (Suppl): 257-263, 2003
- 15) 高安正和, 高木輝秀, 錦古里武志, 他: 頭蓋頸椎移行部 instrumentation におけるナビゲーションシステムの有用性. *脊椎脊髄神手術手技* 7: 45-49, 2005
- 16) 上村幹男, 中川浩之, 木下哲也, 他: 新しいコンピュータナビゲーション (仮想イメージ) システム Fluoro-Nav™. *臨整外* 36: 763-768, 2001