頭蓋頸椎固定のための外科解剖および基本手技

—整形外科の立場から—

根尾 昌志¹⁾

1) 大阪医科大学学生体管理再建医学講座整形外科学教室

Occipitocervical Fusion in Orthopedic Surgery : Surgical Anatomy and Basic Technique

Masashi Neo, M.D, Ph.D.¹⁾

1) Department of Orthopedic Surgery, Osaka Medical College

Occipito-cervical (O-C) fusion is a well established bone surgery procedure. At the planning and operation of the O-C fusion, bone biology, biomechanics, and cervical alignment should all be carefully taken into consideration. In this report, I first describe the characteristics of and pitfalls to avoid in the placement of the anchors on the occiput, C1 and C2. To prevent the vascular injury, the most serious complication of the O-C fusion, a thorough understanding of the variation of the vertebral artery and cranial sinus is paramount. Precise evaluation of the individual course of each using preoperative CT angiography and CT venography is essential. The impact of the O-C2 fixation malalignment on the postoperative dysphagia, another serious complication of the O-C fusion, is also discussed.

(Received August 30, 2013 ; accepted September 3, 2013)

Key words : occipitocervical fusion, instrument, complication, vertebral artery

Jpn J Neurosurg (Tokyo) 23 : 114-120, 2014

はじめに

頭蓋頸椎後方固定術は骨の手術である。

脳神経外科、整形外科の守備範囲を骨という観点からみた時、歴史的に脳神経外科は主に頭蓋骨を取り扱い、整形外科は主に四肢骨、脊椎を取り扱ってきた。そして、この取り扱う骨の違いが、両科の脊椎手術に対するスタンスの違いに反映されている。まず、頭蓋骨は体幹の頂上にあり、何かを支持する役目はないが、脊椎、下肢骨は、その上にある体を支えることが重要な役目の一つである。さらに、両者とも神経を守る容器ではあるが、頭蓋骨は可動性がきわめて少なく、一方脊椎はいくつもの骨が可動性を持ってつながっていて、全体として大きく

動く、という違いがある。そして、これらの違いが、両科の手術適応、手術手技を考えるうえでの文化や風土の差を形成している。お互いの違いがどこから生まれるのかを理解することが、両科が協力してさらに良質な脊椎脊髄疾患の治療を行っていくうえでは必須である。

整形外科医として筆者が文化、風土の違いを感じる点は、

①Bone biology に対する考え方 (骨移植、骨癒合に関する考え方)

②Biomechanics の理解 (支えとしての役割をどの程度重視するか、各種アンカーの選択や、前方支柱の考え方)

③アラインメントの概念(その重要度に対する考え方)

④動的因素の解釈 (脊椎では脊髄症、神経根症を引き

連絡先: 根尾昌志, 〒569-8686 高槻市大学町 2-7 大阪医科大学学生体管理再建医学講座整形外科学教室

Address reprint requests to: Masashi Neo, M.D, Ph.D., Department of Orthopedic Surgery, Osaka Medical College, 2-7 Daigaku-machi, Takatsuki-shi, Osaka 569-8686, Japan

起こすのは、MRI でみられる静的圧迫の程度のみでは決まらないことの理解が必要。これが除圧か固定かの手術法選択や除圧範囲、固定範囲の選択の違いを生む）などである。

これらのことを意識しながら、頭蓋頸椎固定術についての注意点を述べてみたい。

各種アンカーの特徴と注意点

頭蓋頸椎固定術は、現在ほとんどの症例でインストゥルメントが用いられる。インストゥルメンテーションの発達により、多くの患者が術後 halo-vest を必要とせず早く離床することができるようになり、骨癒合率も高くなった。しかし、逆に血管損傷などのインストゥルメンテーション特有の重篤な合併症も出現してきたため、その使用には十分な知識と経験が必要である。まず、後頭骨および上位頸椎固定に用いられる各種アンカーの特徴と注意点について述べる。

① 後頭骨プレート

現在の頭蓋骨のアンカーは後頭骨プレートと螺子が使われることが多い。プレートには、その固定螺子の位置によって、傍正中型（螺子を正中には打たない）（Fig. 1）と正中型（螺子を正中に打つ）（Fig. 2）がある。力学的には後頭骨正中部が分厚くなっており、長い螺子を使用できるため正中型が有利である³⁾⁶⁾。一方、正中型プレートは頭蓋骨の骨移植母床を塞ぐ傾向にあるため、その設

置位置に十分な注意が必要である。インストゥルメントは骨癒合までの補助的役割を果たすに過ぎず、移植骨が骨癒合して初めて目的が達成されるということを忘れてはならない。そして、骨癒合の確率を上げるのは、広い骨移植母床と十分な量の移植骨である（Fig. 1, 2）。移植骨には血が通っていないため、移植骨を介しての真の骨癒合には数カ月から場合によっては年単位を要すること（生きた骨どうしが、2～3 カ月で骨癒合する骨折とは違う）、骨伝導能しか持たない人工骨よりも、骨芽細胞、bone morphogenetic protein (BMP) を含む自家骨のほう

Fig. 1 Paramedian occipital plates and bone graft

Fig. 2 Bone graft technique using a median type occipital plate

A : The occipital bone caudal to the plate and the C2 lamina were decorticated.

B : An iliac bone span was fixed between the occiput and the lamina of C2 under a cross-link.

C : Bone chips and hydroxyapatite particles were packed between the bone surface and the grafted bone.

Fig. 3 Abnormal course of the vertebral artery at C1-2 level

A : Left persistent 1st intersegmental artery (arrow).

B : Left fenestrated vertebral artery (arrows).

が骨癒合に有利であることも理解しておく必要がある。

螺子を bicortical に抜く（外板だけでなく頭蓋骨の内板も貫く）か monocortical のみとする（外板のみ貫く）かも議論のあるところである。内板を抜いたほうが固定力が高いことには異論がないと思うが、それにより頭蓋内側の組織を傷つける可能性があり、実際死亡例も報告されている⁸⁾。自験例（傍正中型プレート 35 例、正中型プレート 31 例、bicortical screw 65 例、monocortical screw 1 例）で螺子が脱転してプレートが頭蓋骨から外れたのは 1 例だけで、その症例は正中の外板のみを止めるタイプのプレート螺子使用例であった。傍正中型のプレートでも、プレート折損は 2~3 例あったが、螺子が抜けてプレートが脱転したものはなかった。Bicortical に螺子を打つ時問題となるのは脳硬膜静脈洞であるが、この位置、走行は個人差が大きく、外側から正確に静脈洞の位置を予測することはできない⁶⁾。また、頭蓋骨の骨移植母床を広く取ろうとすると、プレートの位置を高くせざるを得なくなり、これも静脈洞損傷の可能性を上げる。筆者はinionの遠位で、できればプレートの下に 1 cm 以上の骨移植母床を得ることができるように、プレートの種類や位置を選択している。最近のシステムはストッパー付きのドリルを用いるものが多く、頭蓋骨穿孔時の出血や髄液漏出はほとんどなくなった。しかし、静脈洞走行にはバリエーションが多く、その位置、走行によっては静脈洞損傷とそれに伴う静脈洞血栓症が重篤な結果を招く可能性の高い症例もあり、術前に computed tomography venography (CTV) で静脈洞の位置や走行を確認しておくのがよい⁶⁾。椎骨動脈 (vertebral artery: VA) の走行や血流量確認のために、上位頸椎手術では術前の computed tomography angiography (CTA) が必須であるが、CTV は 1 回の造影剤静注で CTA と同時に撮影すること

ができ、患者への負担は少ない。

② C1 外側塊螺子

Goel-Harms 法の普及に伴い、最近よく用いられている。この螺子を打つ時に最も注意しなければならないのは、VA 走行の変異である。特に、VA が C1 後弓の尾側から脊柱管内に入る VA 走行の場合、螺子の刺入点である C1 後弓尾側の外側塊の展開で VA を損傷する可能性がある¹⁵⁾。これには VA が普通の走行をとらず C1 後弓の尾側から脊柱管内に入る persistent 1st intersegmental artery や VA が C2 横突孔を出た後、普通の走行と C1 後弓の尾側から脊柱管内に入る走行の二手に分かれる fenestrated VA などがある (Fig. 3)。これらの血管走行の変異は、os odontoideum や環椎後頭骨癒合症など上位頸椎奇形のある症例では頻度の高いことが知られている¹⁹⁾。また、Duan ら²⁾によると上位頸椎解剖の正常な症例においても、前者は 9.1%、後者は 3.4% もみられたとのことであった。これらの走行異常は、術前に CTA を撮ることによって容易に診断できる (Fig. 3)。

C1 外側塊螺子刺入時に、C2 神経根を切断するかどうかについても議論がある。切断すれば広い視野が得られ、止血もしやすいが、術後後頭部の paresthesia, dysesthesia を残す可能性が高い。時間とともに気にならなくなることが多いようだが、それなりの症状を残してしまうこともあり、日本では切断せずに刺入することが多い。

③ Magerl 螺子

C2 の anchor (Magerl 螺子、C2 椎弓根螺子) に関しても VA 損傷が最も重大な問題である。VA 損傷を避けるためには、「C2 内の VA 走行は独特であり、かつバリエーションが多い」ということをまず理解する必要がある

Fig. 4 Variation of the course of the vertebral artery at the C2 level

Fig. 5 The three dimensional relationship between the vertebral artery and the Magerl screw¹⁶⁾

The star indicates the risky point for vertebral artery injury.

(Fig. 4). C6～C3 まで頸椎横突孔を下から上にまっすぐに上がってきた VA は、環軸関節の下で外側に方向を変えて横向きに走り、C2 横突孔を抜ける。この横向きに走る VA によって作られる C2 下面の溝を VA groove (of C2) と呼ぶ。C2 横突孔を抜けた VA は、再度頭側に向かって C1 横突孔を下から上へ通過する。つまり VA は環軸関節の尾側から外側へとクランク状の走行をするのである。VA の走行は左右差や個人差があり、解剖の教科書の記載のように比較的まっすぐ下から上に抜けていく場合もあるが (Fig. 4A, 5 右)、実はそのような走行はまれである。大なり小なりクランク状の走行をとる (Fig. 4B～D, 5 左) と理解しておいたほうが VA 損傷を避ける観点からは無難である。Magerl 螺子による VA 損傷は C2 内で起こる (Fig. 5)。C2 内の VA に関しても、CTA で骨と VA の関係を確認する必要がある、症例によっては、Magerl 螺子の刺入が 100% 不可能なこともある。

一方、Magerl 螺子が刺入可能な時は、どのような VA 走行であっても螺子を C2 isthmus の最内側 (脊柱管側)、最背側を通すのが最も安全性が高い¹³⁾¹⁴⁾¹⁶⁾。C2 isthmus の最内縁は、術中 C2 isthmus の椎弓上縁を環軸関節まで

Fig. 6 The C2 pedicle screw was inserted medially and cranially without breaching the vertebral artery groove. Strictly speaking, a screw with this trajectory should be called “pars screw”.

剥離して露出することで、直視下に確認できる。C2 isthmus の最背側は、術中イメージ下に確認する。術中イメージで正確な C2 側面像を得て、螺子が環軸関節の最後縁を通るようにする。このような角度で螺子を刺入すると、一般にいわれているよりも強斜位となり、ほとんどの螺子軸は C1 前弓の中央より頭側に向かうことになる。したがって、従来からいわれてきた「C1 前弓を狙って螺子を刺入する」というのは VA 損傷の観点からすると誤りである。前述したように、VA 損傷を避けるために重要なのは螺子と C2 との関係であり、C1 を指標にすること自体無意味である。

④ C2 椎弓根螺子

C3～6 の椎弓根螺子は、VA の内側を抜いて刺入する。しかし、C2 では VA が前述したクランク状走行をとるため少し事情が変わってくる。つまり、VA の内側を直接通すことができない場合でも、普通より頭側から刺入したり、頭側へ向けて刺入したりすることにより、外へ逃げていく VA の上内側を通すことができる場合もあるということである。Fig. 6 では、螺子は内側かつ頭側 (環軸関節方向) へ向かって刺入され、VA groove をクリアして

Fig. 7 Schematic drawing of the mechanism for airway stenosis⁵⁾

A : Decreasing of the O-C2 angle makes the mandible and tongue root shift posteriorly, causing airway stenosis.

B : Reducing of atlantoaxial subluxation (AAS) also makes the mandible and tongue root shift posteriorly, causing airway stenosis.

いる。この螺子は C2 の上下関節突起を結ぶ pars interarticularis を通っているため、厳密には“pars screw”と呼ばれる。

一般に、C2 椎弓根螺子は Magerl 螺子よりも安全だとされているが、三次元的に調べてみると必ずしもそうではない。C2 の椎体前方の皮質を貫く螺子を椎弓根螺子と定義して（つまり環軸関節に向かうような pars screw は含まない）、Magerl 螺子と比較すると、その骨経路の螺子に対する余裕は、両者で有意差を認めなかった²⁰⁾。これは、VA が蛇行して Magerl 螺子の刺入が困難な症例では、C2 椎弓根螺子も VA 損傷リスクが高く、逆もまた真であることによる。両者の VA 損傷リスクに大きな差がないことは、十分に理解しておくべきである。また、同じように両者の VA 損傷の危険性を三次元的に調べた研究で、関節リウマチ（RA）患者では、Magerl 螺子、C2 椎弓根螺子ともに、有意に VA 損傷の危険性が高いこともわかっている¹⁰⁾¹¹⁾。RA 患者では上位頸椎手術の機会が多いため、このことも知っておく必要がある。

⑤ C2 椎弓螺子 (laminar screw)

Magerl 螺子、C2 椎弓根螺子には VA 損傷の危険性があり、時には刺入不可能であることから、C2 の椎弓内を通す C2 椎弓螺子が Wright¹⁸⁾によって報告された。これは VA 損傷の可能性がきわめて低い。一方、この螺子は力学的には Magerl 螺子、C2 椎弓根螺子に比べて劣る¹⁾⁴⁾⁹⁾。また、C2 の椎弓面に螺子のヘッドが来るため、骨移植母

床が減り、骨癒合にも不利と考えられる。しかし、技術的に比較的容易で安全あり、一つの選択肢として覚えておくくと便利である。

頭蓋頸椎固定のアラインメント

頸椎に限らず脊椎の一部の固定アラインメント不良が、隣接椎間障害や頸部痛、腰痛の原因となることはよく知られている。しかし、固定アラインメント不良がもっと重篤な問題を引き起こすことがある。

後頭頸椎後方固定術後に嚥下障害・窒息が起こり、時には重篤な結果となることはよく知られていた。全頸椎のアラインメントと関係があると考えられていたが、どのようなアラインメントが望ましいのか、何を指標に固定位置を決めればよいのかは不明であった。現在最も推奨され実際的な方法は、術前から halo-vest を装着し、嚥下障害・窒息の起こらないことを確認しておいて、術中その位置で内固定を行うことである。これは確かに有効ではあるが試行錯誤に過ぎず、この合併症の本質に迫ることはできない。また、術前 halo-vest で確認したにもかかわらず、嚥下障害・窒息が起こることもある。結局、今まで真の原因が不明であったため、有効な対策が打てなかった。

しかし、筆者らは最近、上位頸椎のみ、つまり O-C2 のアラインメントが上気道の機械的狭窄を通してこの合併症に大きく関わっていることを明らかにしてき

た¹²⁾¹⁷⁾²¹⁾。O-C2 角 (McGregor 線と C2 終板の線の成す角。前開きが正) が小さくなると、頭蓋骨が頸椎に対して屈曲すると同時に、下顎が頸椎に引きつけられる。こうなると、前方および側方を下顎骨に、後方を頸椎に囲まれた部分 (C3-4 レベル) の容積が小さくなり、その中にある舌根の行き場がなくなって気道 (口咽頭) を押し潰すのである (Fig. 7A)。また、O-C2 角が変わらなくても環軸関節亜脱臼 (atlantoaxial subluxation: AAS) の整復操作は下顎を頸椎に近づける結果になり、後頭頸椎固定術後の嚥下障害・窒息の原因となることがある⁵⁾ (Fig. 7B)。

以上より、術後合併症である嚥下障害・窒息を予防するには、固定 O-C2 角を術前中間位以上に保つ必要がある¹²⁾。AAS の整復をした場合には O-C2 をさらに伸展させて整復分を代償するのがよい。特に最近ではインストゥルメントの固定力が強力になり、術後の固定角度の変化はほとんど期待できないため、術中の固定角度で運命が決まる⁷⁾。広い術野やワーキングスペースを確保するため往々にして上位頸椎屈曲位で手術体位を取りがちであるが、固定直前にイメージ下に O-C2 角を測定し、必要ならば調節し直さなければならない。それによって術後嚥下障害・窒息という、隣接椎間障害よりもはるかに重篤な合併症を予防することができる。

おわりに

頭蓋頸椎固定術は骨の手術であるということを認識し、bone biology, biomechanics, 頭蓋頸椎アラインメントについての理解が必要である。今回は触れなかったが、手術適応に関しては動的因子が脊髄症に及ぼす影響についても認識することが重要である。

文 献

- 1) Claybrooks R, Kayanja M, Milks R, Benzel E: Atlantoaxial fusion: a biomechanical analysis of two C1-C2 fusion techniques. *Spine J* 7: 682-688, 2007.
- 2) Duan S, Lv S, Ye F, Lin Q: Imaging anatomy and variation of vertebral artery and bone structure at craniocervical junction. *Eur Spine J* 18: 1102-1108, 2009.
- 3) Ebraheim NA, Lu J, Biyani A, Brown JA, Yeasting RA: An anatomic study of the thickness of the occipital bone. Implications for occipitocervical instrumentation. *Spine (Phila Pa 1976)* 21: 1725-1730, 1996.
- 4) Hong JT, Takigawa T, Udayakumar R, Shin HK, Simon P, Espinoza Orías AA, Inoue N, An HS: Biomechanical effect of the C2 laminar decortication on the stability of C2 intralaminar screw construct and biomechanical comparison of C2 intralaminar screw and C2 pars screw. *Neurosurgery* 69 (1 Suppl Operative): ons 1-6, 2011.
- 5) Izeki M, Neo M, Ito H, Nagai K, Ishizaki T, Okamoto T, Fujibayashi S, Takemoto M, Yoshitomi H, Aoyama T, Matsuda S: Reduction of Atlantoaxial Subluxation Causes Airway Stenosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 38: E513-E520, 2013.
- 6) Izeki M, Neo M, Fujibayashi S, Takemoto M, Otsuki B, Watanabe M, Koizumi K, Matsuda A, Nagai K, Matsuda S: Utility of the analysis of intracranial venous sinuses using preoperative computed tomography venography for safe occipital screw insertion. *Spine (Phila Pa 1976)* 38: E1149-E1155, 2013.
- 7) Izeki M, Neo M, Takemoto M, Fujibayashi S, Ito H, Nagai K, Matsuda S: The O-C2 angle established at occipitocervical fusion dictates the patient's destiny in terms of postoperative dyspnea and/or dysphagia. *Euro Spine J*. (in press)
- 8) Lee SC, Chen JF, Lee ST: Complications of fixation to the occiput-anatomical and design implications. *Br J Neurosurg* 18: 590-597, 2004.
- 9) Lehman RA Jr, Dmitriev AE, Helgeson MD, Sasso RC, Kuklo TR, Riew KD: Salvage of C2 pedicle and pars screws using the intralaminar technique: a biomechanical analysis. *Spine (Phila Pa 1976)* 33: 960-965, 2008.
- 10) Miyata M, Neo M, Ito H, Yoshida M, Fujibayashi S, Nakamura T: Rheumatoid arthritis as a risk factor for a narrow C-2 pedicle: 3D analysis of the C-2 pedicle screw trajectory. *J Neurosurg Spine* 9: 17-21, 2008.
- 11) Miyata M, Neo M, Ito H, Yoshida M, Miyaki K, Fujibayashi S, Nakayama T, Nakamura T: Is rheumatoid arthritis a risk factor for a high-riding vertebral artery? *Spine (Phila Pa 1976)* 33: 2007-2011, 2008.
- 12) Miyata M, Neo M, Fujibayashi S, Ito H, Takemoto M, Nakamura T: O-C2 angle as a predictor of dyspnea and/or dysphagia after occipitocervical fusion. *Spine (Phila Pa 1976)* 34: 184-188, 2009.
- 13) Neo M, Matsushita M, Iwashita Y, Yasuda T, Sakamoto T, Nakamura T: Atlantoaxial transarticular screw fixation for a high-riding vertebral artery. *Spine (Phila Pa 1976)* 28: 666-670, 2003.
- 14) Neo M, Sakamoto T, Fujibayashi S, Nakamura T: A safe screw trajectory for atlantoaxial transarticular fixation achieved using an aiming device. *Spine (Phila Pa 1976)* 30: E236-E242, 2005.
- 15) Neo M, Fujibayashi S, Miyata M, Takemoto M, Nakamura T: Vertebral artery injury during cervical spine surgery: a survey of more than 5600 operations. *Spine (Phila Pa 1976)* 33: 779-785, 2008.
- 16) 根尾昌志: Magerl 法の考え方と実際. *脊椎外科* 27: 22-27, 2013.
- 17) Ota M, Neo M, Aoyama T, Ishizaki T, Fujibayashi S, Takemoto M, Nakayama T, Nakamura T: Impact of the O-C2 angle on the oropharyngeal space in normal patients. *Spine (Phila Pa 1976)* 36: E720-E726, 2011.
- 18) Wright NM: Posterior C2 fixation using bilateral, crossing C2 laminar screws: case series and technical note. *J Spinal Disord Tech* 17: 158-162, 2004.
- 19) Yamazaki M, Koda M, Aramomi MA, Hashimoto M, Masaki Y, Okawa A: Anomalous vertebral artery at the extraosseous and intraosseous regions of the craniocervical junction: analysis by three-dimensional computed tomography angiography. *Spine (Phila Pa 1976)* 30: 2452-2457, 2005.

- 20) Yoshida M, Neo M, Fujibayashi S, Nakamura T: Comparison of the anatomical risk for vertebral artery injury associated with the C2-pedicle screw and atlantoaxial transarticular screw. *Spine (Phila Pa 1976)* **31**: E513-E517, 2006.
- 21) Yoshida M, Neo M, Fujibayashi S, Nakamura T: Upper-airway obstruction after short posterior occipitocervical fusion in a flexed position. *Spine (Phila Pa 1976)* **32**: E267-270, 2007.

要 旨

頭蓋頸椎固定のための外科解剖および基本手技

—整形外科の立場から—

根尾 昌志

頭蓋頸椎固定術は骨の手術であるということを認識し、手術にあたっては bone biology, biomechanics, 頭蓋頸椎アラインメントについての知識、理解が必須となる。これらの視点から、頭蓋骨や上位頸椎のアンカーの特徴と注意点について述べる。後頭骨や頸椎のインストゥルメンテーションの最大の合併症は血管損傷であり、これを予防するためには、血管走行のバリエーションの理解と、術前の CT angiography や CT venography による椎骨動脈や脳硬膜静脈洞の評価が必須である。また、上位頸椎のアラインメント不良が、後頭骨頸椎固定術のもう一つの重篤な合併症である術後の嚥下障害に与える影響についても述べる。

脳外誌 23 : 114-120, 2014