CT scan を用いた環軸椎固定術後の骨癒合形態に関する検討

Examination of Postoperative Fusion Status Using Computed Tomography after Atlantoaxial Fixation

大竹 安史^{*1,2} 花北 順哉^{*1} 高橋 敏行^{*1} 河岡 大悟^{*1} 中村 博彦^{*2}
南 学^{*1}

Yasufumi Ohtake, M.D.^{*1,2}, Junya Hanakita, M.D., Ph.D.^{*1}, Toshiyuki Takahashi, M.D., Ph.D.^{*1},

Taigo Kawaoka, M.D.^{*1}, Hirohiko Nakamura, M.D., Ph.D.^{*2}, Manabu Minami, M.D., Ph.D.^{*1}

Abstract

Study Design : Retrospective study.

Objective : To evaluate fusion status using computed tomography (CT) in posterior grafts and atlantoaxial facets after C1/2 fixation.

Summary of Background Data : In spite of many excellent results after C1/2 fixation, few reports have examined fusion status using both CT and dynamic X-rays (Xp).

Methods : The study included 10 patients with C1/2 fixation who were followed up for 3 years. The fusion status of posterior grafts and atlantoaxial facets was meticulously evaluated using both CT and dynamic Xp. Dynamic radiological imaging was assessed and the following data were extracted : the atlantodental intervals (ADI), the space available for the cord (SAC), C2-C7 angle, and Δ SPD (spinous process distance).

Results : In patients with bilateral C1/2 transarticular screw fixation (Group A), the fusion rates of atlantoaxial facets and posterior grafts were 88% and 57%, respectively. In patients with alternative fixation procedures (Group B), the fusion rates of atlantoaxial facets and posterior grafts were 0% and 50%, respectively.

In patients with atlantoaxial facet fusion, instability (Δ ADI, Δ SPD) resolved and ADI and SAC were improved.

Conclusions : C1-2 transarticular screws can achieve facet fusion despite posterior graft failure; in such cases, radiological instability was resolved. The efficacy of using both CT and Xp for evaluation of postoperative fusion status after atlantoaxial fixation, and the importance of evaluating both atlantoaxial facets and posterior grafts were emphasized.

(Received : March 3, 2017 ; accepted : November 1, 2017)

Key words

atlantoaxial facet fusion, atlantoaxial transarticular screws, CT reconstruction

^{*1} 藤枝平成記念病院脊髄脊髄疾患治療センター／Spinal Disorders Center, Fujieda Heisei Memorial Hospital
連絡先：〒060-8570 札幌市中央区南1条西14丁目291 中村記念病院脳神経外科 大竹安史 [Address reprint requests to : Yasufumi Ohtake, M.D., Department of Neurosurgery, Nakamura Memorial Hospital, 291 South-1, West-14, Chuo-ku, Sapporo-shi, Hokkaido 060-8570, Japan]

^{*2} 中村記念病院脳神経外科／Department of Neurosurgery, Nakamura Memorial Hospital

はじめに

近年脊椎インスツルメントの導入・応用により、さまざまな環軸椎固定手技が開発され、良好な治療成績・骨癒合率が数多く報告されている¹⁻⁴⁾。しかしながら、術後の骨癒合の判定に関しては、詳細な骨癒合の定義のないもの^{5,6)}、単純X線や動態撮影のみで判定を行うものから^{1,7)}、CT scanを用い独自の骨癒合判定基準を作成し評価するもの^{8,9)}までさまざまである。

骨癒合の形態に関しても、詳細に報告したものは少なく、椎弓間で後方移植骨が癒合したのか、側方の椎間関節が癒合したのかを区別し評価したものは少ない⁸⁻¹¹⁾。

今回われわれは、当科にて行った環軸椎固定術後症例に対しCT scanを用いた骨癒合形態の検討を行った。

対 象

2004～2015年に当センターで環軸椎後方固定術が行われた症例は、45例であった。これらのうち、術後3年以上経過しCT scanで骨癒合の評価が可能であった10症例を対象症例とした。後頭骨頸椎固定、中下位頸椎固定を併用したものは除外した。男性5例、女性5例、平均年齢61(48～73)歳、平均観察期間は、90(43～144)カ月であった。

疾患の内訳は、全例環軸椎亜脱臼(atlantoaxial subluxation : AAS)で、歯突起形成不全(os odontoidum)を伴うもの1例、頭部外傷に引き続き顕在化したもの1例であった。併存症として関節リウマチを有するものはなく、Ⅱ型糖尿病を有するものは1例存在した。

手術適応および手術方法

手術適応は、AASおよび歯突起後方偽腫瘍などで、脊髄圧迫症状を呈するもの、もしくは保存治療に抵抗する頑固な頸部痛を呈するものとした。保存加療は十分な内科治療および、硬性頸椎カラーを使用した。術前に3D CT angiography (CTA)を施行し、いわゆるhigh riding VAの存在に留意しつつ、原則としてMagerl法に、Brooks法に準じた椎弓間骨移植を併用し、全例椎間関節への骨移植操作は行わなかった。両側Magerl法を行ったもの8例(このうち環椎後弓椎弓切除を併用したものも1例)、片側のMagerl法のみで固定したもの1例、椎弓間フックを用い椎弓間固定のみを行ったもの1例であった。移植骨の固定は、ポリエチレンケーブルもしくはナイロン糸、椎弓フックによって行い、金属ケーブル

を用いたものはなかった。

手術は術中側面透視を用い、良好なscrew進入経路を確認しながら行った。

骨癒合の判定方法

術後3年以上経過した最終観察時点におけるCT scanによる骨癒合評価を行った。放射線学的検討項目は、椎弓間・環軸椎椎間関節における骨癒合の有無をCT multi planar reconstruction (MPR)にて評価を行った。また、同時に撮像した動態X線にて、中間位側面X線におけるC2-7角[C2-7angle (N)]、後屈位・前屈位でのC2-7角の変化[C2-7angle (range of motion : ROM)]、前屈位でのatlantodental interval (ADI)、後屈位・前屈位でのADIの変化[ADI (ROM)]、有効脊柱管径(space available for the cord : SAC)、後屈位・前屈位での棘突起間距離の変化(spinous process distance : ΔSPD)を測定し、術前後での変化を評価した。

骨癒合の定義

環軸椎椎弓間の骨癒合に関しては、まず動態のX線にてΔSPDが2 mm以下であること、さらにCTMPRにて後方移植骨および椎間関節の骨癒合の状態について周囲との骨連続性がaxial/sagittal/coronal sliceのいずれかにて少なくとも連続2 slice以上で認められたものを骨癒合が得られたと判断した(Fig. 1 a～c)。また、後方移植骨が癒合しなかった症例においては、その癒合不全のパターンを3つに分類し評価した。環椎・軸椎側ともに癒合が起らないものC0型、軸椎椎弓とは骨癒合があるが環椎後弓とは癒合が起らないものC2型、環椎後弓とは癒合するが軸椎椎弓とは癒合が起らないものC1型とした(Fig. 2)。

臨床症状の評価

術前および最終観察時点において、日本整形外科学会頸髄症治療判定基準[Japanese Orthopaedic Association (JOA) score]、頸部痛のnumerical rating scale (NRS)を評価した。

統計学的処理

統計学的検討は、paired-t検定を用いて有意水準1%で差が認められた場合に有意差ありとした。

Fig. 1 Examples of posterior graft union and atlantoaxial facet union

- a : Computed tomography (CT) images show fusion of posterior graft union (arrow).
- b : Sagittal CT images show fusion of atlantoaxial facet union (arrow).
- c : Coronal CT images show fusion of atlantoaxial facet union (arrow).

倫理委員会の承認

当院の倫理委員会承認番号 FHR28-7 号にて承認を受け、実施を行った。

結 果

手術時間は平均 193 (124~297) 分で、術中出血量は平均 87 (30~200) cc であった。術後頸椎カラーの装着期間は平均 2 カ月 (2 週~3 カ月) であった。

JOA score は術前平均 10.7 (5~16)/17 点であったものが、最終観察時点では 14 (9~16)/17 と軽度改善していた。同様に、頸部痛の NRS も術前 7.3 (5~10) であったものが、最終観察時点の評価で 5.0 (2~8) へと改善していた。

神経血管損傷、硬膜損傷、感染などの合併症は生じなかった。Screw 径の 50% 以上が椎間関節、椎弓根を逸脱したものが 2 例存在したが、全例無症候性であった。再手術を要したものは 1 例 (6.3%) あり、片側の screw が椎間関節を逸脱していた症例であったが、術後一時的に臨床症状は改善し、自宅退院していた。その後、頑固な頸部痛が再燃し、ADI の再拡大、CT scan にて screw の loosening が認められたため、再度の固定術 (Magerl 法および環椎後弓フック固定) を行った症例であった。

1 骨癒合

術式が多岐にわたるため、両側の Magerl 法を用い固定を行った 8 症例を Group A とし、その他の 2 症例を Group B に分類した。Group A のうち 1 症例は環椎後弓椎弓切除を併用し、後方骨移植を行っていないので除外し、後方癒合率の計算の際の分母を 7 とした。

この 2 群において癒合率を検討すると、Group A では後方移植骨の癒合率は 57% (4/7 例) であったが、椎間関節の癒合率は 88% (7/8 例) と高率であった。一方、

Table 1 Union rates of posterior grafts and atlantoaxial facets

	Group A 8 cases	Group B 2 cases
Union rate of C1/2 facet	88% (7/8 cases)	0% (0/2 cases)
Union rate of posterior graft	57%* (4/7 cases)	50% (1/2 cases)

* C1 laminectomy without bone transportation was performed in 1 case

Group B では後方移植骨の癒合率は 50% (1/2 例)、椎間関節の癒合率は 0% (0/2 例) と Group A に比べ成績不良であった (Table 1)。

また、後方移植骨が癒合不全であった 5 例について、その癒合不全のパターンをみてみると、C0 型 1 例、C1 型 0 例、C2 型 3 例となっており、軸椎側とは骨癒合が起こるものの、環椎後弓と癒合不全を呈するものが多かった (Fig. 2)。この理由として、日本人では環椎後弓が細いためであるとの推測のもと、C1 型と C0 型、C2 型での術前の環椎後弓前後径・面積を CT scan、側面 X 線にて測定し比較検討したが、症例数が少ないためか有意差を生じるパラメータはなかった。

2 術後の放射線学的変化

全 10 症例における術前および、術後最終観察時点での放射線学的変化を検討した。

C2-7angle (N) : 術前 11.0 度から術後 1.7 度と減少し前弯が減少したが、統計学的な有意差は生じなかった (N.S.)。

C2-7angle (ROM) : 術前 40.9 度から術後 34.0 度と減少し可動域が減少したが、統計学的な有意差は生じなかった (N.S.)。

3 椎間関節癒合症例における放射線学的変化

本検討では、後方癒合不全症例でも側方椎間関節が癒合にいたった症例が多く認められた。そのため、椎間関節

Fig. 2 Examples of classification of posterior graft nonunion

- a : C0 type (posterior graft with nonunion at C1 and C2 lamina).
- b : C1 type (posterior graft with nonunion at C2 lamina and union at C1 lamina).
- c : C2 type (posterior graft with nonunion at C1 lamina and union at C2 lamina).

Table 2 Radiological parameters obtained on dynamic radiograms in patients with facet union in 7 cases

	Pre op.	Last follow up	p
ADI	8.0 mm (4.5~13.6 mm)	3.4 mm (0.0~4.5 mm)	p<0.01
ADI (ROM)	4.8 mm (0.5~9.8 mm)	1.1 mm (0.0~3.0 mm)	p<0.01
SAC	11.9 mm (7.0~14.4 mm)	15.3 mm (11.0~19.3 mm)	p<0.01
ΔSPD	9.7 mm (4.0~23.0 mm)	0.8 mm (0.0~2.0 mm)	p<0.01

ADI : atlantodental interval, ROM : range of motion, SAC : space available for the cord, SPD : spinous process distance

節が癒合にいたった症例における放射線学的変化を検討した (Table 2). 全 10 例のうち, 少なくとも椎間関節の癒合が認められたものは 7 例であり, これらにおいては ADI, ADI (ROM), SAC, ΔSPD はすべて術前後で有意に改善していた ($p<0.01$). また, これらの症例では全例 ΔSPD は 2 mm 以下であり, 十分な放射線学的制動が得られていた.

4 骨癒合と臨床症状の関連

全 10 症例における骨癒合, 臨床症状の経過を Table 3 に示す. Case 3, 10 は椎間関節・後方移植骨ともに癒合は認めなかった症例であるが, JOA score, NRS ともに術前に比べ改善していた. 一方, Case 1, 5 のように椎間関節・後方移植骨ともに癒合していても改善に乏しい症例もあり, 一定の傾向を見出すことはできなかった. また, 骨癒合と術後の放射線学的不安定性 [ADI (ROM), ΔSPD] の関連に関して検討すると, 骨癒合の有無にかかわらず, ほぼ全例で 2 mm 以下の可動性になっており, こちらも有意な関連を見出すことはできなかった.

考 察

前述のように環軸椎固定術後の良好な治療成績・骨癒合率を報告する論文は散見される^{1~4,12,13}). しかし, 骨癒合の定義に関しては曖昧なものも多く, 単純 X 線のみで判定したものも少なくない^{4,13}). これらの論文では, 本文中で骨癒合の定義に触れることはせず, 結果の項で術後全例で骨癒合を認めたと一文のみで表記されている. しかし, 単純 X 線のみでは一見癒合が完成しているようにみえる症例でも, CT scan を撮像すると癒合が完成していないものが当院の症例でも少なからず見受けられた (Fig. 3), 単純 X 線のみで骨癒合を評価することは不十分であると考え.

Elliott ら¹⁴) は 1986~2011 年の環軸椎固定術の英文論文をレビューし, その骨癒合率, 治療成績を Magerl 法に代表される transarticular screws と C1-2 screw rod construction 別に比較した. それによると, transarticular screws の骨癒合率は 94.6% と良好な成績が報告されているが, そのもととなる論文では約半数は X 線のみを用いて骨癒合を評価していた.

また, CT scan を用いて評価を行うものも存在するが, その詳細な癒合の定義を定め評価を行ったものは少なく, その定義もさまざまであった. Kim ら¹⁵) は「動態の X 線にて 2 mm 以下の可動性で, CT scan にて C1-2 椎弓間に 60% 以上の架橋が認められる」ことを癒合の定義とし, Ito らは「動態の X 線にて 1 mm 以下の可動性で, CT で椎間関節内, 周囲の骨連続性が少なくとも 1 slice で認められる」と定義する¹⁾ などさまざまであった.

そのため, 本検討ではこれら過去の文献を参考に, 骨癒合を判断する要素として「動態の X 線にて ΔSPD が 2 mm 以下であること」, 「全例 CTMPR にて周囲との骨連続性が少なくとも 2 slice 以上で認められること」と厳密に定義し詳細に検討した.

Table 3 Radiological and clinical parameters in all 10 cases

Case	Group	Operation	JOA score		NRS		Posterior graft union	C1/2 facet union	Post op. (mm)	
			Pre op.	Post op.	Pre op.	Post op.			ADI (ROM)	ΔSPD
1	A	Bill. Magerl	14	10	5	5	+	+	4	0.0
2	A	Bill. Magerl	5	15	9.5	8	—	+	0.1	0.2
3	A	Bill. Magerl	10	15	5	2	—	—	1.7	1.8
4	A	Bill. Magerl	14	16	10	5	—	+	1.9	2.0
5	A	Bill. Magerl	5	9	5	8	+	+	0.4	0.0
6	A	Bill. Magerl			N. T		+	+	1.9	1.1
7	A	Bill. Magerl *	12	16	8	3	—	+	0.1	0.5
8	A	Bill. Magerl			N. T		+	+	0	0.5
9	B	Brooks	16	16	8	3	+	—	0.1	0.5
10	B	Uni. Magerl	9	13	8	4	—	—	1	0.8

※ C1 laminectomy without bone transportation was performed in 1 case.

JOA score : Japanese Orthopaedic Association score, NRS : numerical rating scale, ADI : atlantodental interval, ROM : range of motion, SAC : space available for the cord, SPD : spinous process distance, N. T : not tested

1 骨癒合率

このように、統一された評価基準がないので、過去の報告と一概に比較することは困難であるが、本検討での後方骨癒合率は57%と芳しくなかった (Table 1)。この理由としては、本検討ではCT scanを用いて厳密に骨癒合の定義を定め、評価したため従来のものに比べて成績が低く出てしまったこと以外にも、後方移植骨の固定に多くの症例でポリエチレンケーブルを使用したことが影響した可能性もある。ポリエチレンケーブルは金属ケーブルに比べ耐性は高く、spring phenomenonと呼ばれる遅発性脊髄圧迫の危険性もなく有用な方法であるが、伸縮性があるため loosening をきたし癒合が完成するまでの安定性を失う可能性⁸⁾が指摘されている。

また、後方移植骨が軸椎椎弓とは癒合するものの環椎椎弓とは癒合しないものが多かった (Fig. 2; C2型)。これは、一般に日本人の環椎後弓径は小さいとされているため、移植骨との間に十分な接着面積がつかれず、後方移植骨の骨癒合が進まなかった可能性を考えた。そこで、各種の方法で測定した環椎椎弓径と癒合率の間の相関を検証したが、症例数の問題か有意な差を示すものは存在しなかった。今後症例を重ねていくことで、この原因を究明したいと考えるが、海綿状骨の接着面積を増大させるのは骨癒合には有利に働くと考えられる。今後は環椎後弓の広範囲で十分な decortication を行い、移植骨と十分な接着をしたり、採骨の際に海綿状骨を十分に接着させられるよう工夫することなどで癒合率を高めるよう考慮したい。

2 椎間関節骨癒合

本検討では後方移植骨の癒合率が不良であったが、両側に Magerl 法を実施した症例では、側方の椎間関節での癒合が多くの症例で認められた。Magerl 法における

Fig. 3 Example of posterior graft nonunion

a : Lateral radiograms indicated successful posterior graft union.

b : Computed tomography images reveal posterior graft non-union.

椎間関節骨癒合は Ito ら⁸⁾により初めて報告され、その後いくつかの報告例がある^{9~11)}。その機序はさまざまに推測されており、screw が椎間関節内を貫くことで、関節面の decortication が起こり関節内に血液・骨片が迷入すること¹¹⁾、術後早期に椎間関節内で screw 周囲に微細な動きが起こることによる⁸⁾などが報告されている。本検討では Magerl 法にて両側性に環椎椎固定を行った症例を3年以上の長期経過観察すると88%で椎間関節の癒合が観察された (Table 1)。また、少なくとも椎間関節だけでも癒合した症例を放射線学的に検討したところ、ADI, ADI (ROM), SAC, ΔSPD とすべてのパラメータは改善を呈し、全症例で放射線学的制動が得られていた (Table 2)。

従来の単純 X 線のみによる骨癒合判定では、椎間関節の癒合を判定することは不可能であり、後方移植骨の癒

合のみを評価するに留まるしかない。CT scan を用いることで、この両者を区別して評価することが可能であり、また後方移植骨が癒合不全になった症例の中にも椎間関節の癒合が完成している症例を見出し、これらに分けて評価することが可能である。

逆に、Table 3 の症例 3, 10 は動態 X 線では 2 mm 以下の制動が得られており、従来の基準では骨癒合が得られたと判定され得る症例であるが、CT scan を撮像すると骨癒合が得られていなかった。X 線では撮像角度の問題や、評価者間で誤差が生じることが否めず正確な測定方法とは言い難い。正確な骨癒合率を判定するためには、従来の動態 X 線のみでは不十分であり、CT scan も組み合わせて骨癒合を評価することが重要であると提言したい。

3 C1-2 screw rod construction との比較

近年 Magerl 法による椎骨動脈損傷への懸念や、術中整復可能である利点から環椎外側塊螺子-軸椎椎弓根螺子に代表される C1-2 screw rod construction が用いられることも多くなっている。前述のレビューでも椎骨動脈損傷、骨癒合率、screw malposition の点では C1-2 screw rod construction が有利であるとしている¹⁴⁾。しかし、これらの比較対象の論文の発表年度をみると、C1-2 screw rod construction は 2001~2011 年のものであるのに対し、Magerl 法によるものは 1991~2010 年のものであった。この間にナビゲーションシステムの普及やいわゆる high riding VA の存在の認知などさまざまな技術的な進歩があり、両手術法における条件が同一であるとは言い難いと考ええる。また、C1-2 screw rod construction では環軸関節に直接操作を加えない場合は環軸椎椎間関節の癒合は得られにくいとされるが^{4,17)}、Magerl 法では前述のように仮に後方移植骨癒合が得られない場合でも環軸椎間関節の癒合が得られるという可能性がある。

当院では、術前に椎骨動脈の走行を詳細に検討し、刺入が安全に可能である症例には Magerl 法を第一選択としている。これは、環軸椎間関節の骨癒合が得られる可能性がある点以外にも、C1-2 screw rod construction の際に合計 4 回椎骨動脈近傍に螺子を挿入するリスクが存在することを考慮すれば、安全に刺入経路を確保できる場合には、2 回の螺子挿入操作で留める Magerl 法のほうが、安全であると考えためである。しかし、本シリーズの中でも幸い重篤な合併症は引き起こさなかったものの、2 本の screw の逸脱を認めた。これらは初期の症例であり、手技に未習熟であった可能性がある。上述のような利点は考え得るものの、Magerl 法は重大な合併症の可能性のある手技であるので、十分に手技に習熟し、

慎重な術前検討を行った後に行うべきと考える。

4 本研究の限界

検討対象になった症例数が少なく、統計学的な信頼性が高くないこと、全例で骨密度の測定ができたわけではなく、これらに関する検討を加えていないこと、術後の外固定期間に関しては術者の裁量に任せられ一定でないことなどが挙げられる。

結 論

環軸椎固定術後の骨癒合形態に関する検討を、CT scan を用いて詳細に行った。CT scan を用いることで後方移植骨癒合、椎間関節癒合を区別して評価することが可能で、正確な骨癒合率が判定可能であった。Magerl 法を用い、両側環軸椎固定を行った症例を術後 3 年以上経過観察すると、88% に椎間関節の骨癒合が確認された。環軸関節骨癒合が得られた症例では動態 X 線でも放射線学的制動が確認された。

本文の要旨は、第 51 回日本脊髄障害医学会にて発表した。

利益相反開示

著者全員は日本脳神経外科学会への COI 自己申告の登録を完了しています。

本論文に関して開示すべき COI はありません。

文 献

- 1) Grob D, Jeanneret B, Aebi M, et al : Atlanto-axial fusion with transarticular screw fixation. *J Bone Joint Surg Br* 73 : 972-976, 1991
- 2) Magerl F, Seemann PS : Stable posterior fusion of the atlas and axis by transarticular screw fixation. Kehr P, Weidner A (eds) : *Cervical Spine I*. Springer-Verlag, 1987, pp322-327
- 3) Goel A, Desai KI, Muzumbar DP : Atlantoaxial fixation using plate and screw method : a report of 160 treated patients. *Neurosurgery* 51 : 1351-1357, 2002
- 4) Harms J, Melcher RP : Posterior C1-C2 fusion with polyaxial screw and rod fixation. *Spine* 26 : 2467-2471, 2001
- 5) Stillerman CB, Wilson JA : Atlanto-axial stabilization with posterior transarticular screw fixation : technical description and report of 22 cases. *Neurosurgery* 32 : 948-954, 1993
- 6) Wigfield C, Bolger C : A technique for frameless stereotaxy and placement of transarticular screws for atlanto-axial instability in rheumatoid arthritis. *Eur Spine J* 10 : 264-268, 2001
- 7) Eleraky MA, Masferrer R, Sonntag VK : Posterior atlantoaxial facet screw fixation in rheumatoid arthritis. *J Neurosurg* 89 : 8-12, 1998
- 8) Ito H, Neo M, Fujibayashi S, et al : Atlantoaxial transarticular screw fixation with posterior wiring using polyethylene cable. *Spine* 33 : 1655-1661, 2008
- 9) Sorimachi Y, Iizuka H, Ara T, et al : Atlanto-axial joint of atlanto-axial subluxation patients due to rheumatoid arthritis

- before and after surgery, morphological evaluation using CT reconstruction. *Eur Spine J* 20 : 798-803, 2011
- 10) 土井英之, 時岡孝光, 阿部光伸 : 環軸椎後方 transarticular screw 固定 (Magerl 法) における骨癒合形態の検討. 中部整災誌 56 : 639-640, 2013
 - 11) 細江英夫, 飯沼宣樹, 清水克時, 他 : 環軸椎固定術における環軸関節内骨癒合について. 中部整災誌 53 : 1335-1336, 2010
 - 12) Wang C, Yan M, Zhou H, et al : Atlantoaxial transarticular screw fixation with morselized autograft and without additional internal fixation : technical description and report of 57 cases. *Spine* 32 : 643-646, 2007
 - 13) Guo X, Ni B, Xie N, et al : Bilateral C1-C2 transarticular screw and C1 laminar hook fixation and bone graft fusion for reducible atlantoaxial dislocation : a seven-year analysis of outcome. *PLoS One* 9 : 1-7, 2014
 - 14) Elliott RE, Tanweer O, Boah A : Outcome comparison of atlantoaxial fusion with transarticular screws and screw-rod constructs : meta-analysis and review of literature. *J Spinal Disord Tech* 27 : 11-28, 2014
 - 15) Kim JY, Oh CH, Yoon SH : Comparison of outcomes after atlantoaxial fusion with transarticular screws and screw-rod constructs. *J Korean Neurosurg Soc* 55 : 255-260, 2014
 - 16) Naderi S, Crawford NR, Song GS, et al : Biomechanical comparison of C1-C2 posterior fixations. Cable, graft, and screw combinations. *Spine* 23 : 1946-1955, 1998
 - 17) 山崎義人, 小野 睦, 沼沢拓也, 他 : 頸椎外側塊スクリューを用いた環軸椎後方固定術における環軸関節癒合の検討. *J Spine Res* 2 : 1688-1691, 2011
-