前方除圧固定術における頸椎矢状バランスの変化の検討

Changes in Cervical Sagittal Balance after Anterior Decompression and Fusion

八木 貴^{*1} 仙北谷 伸朗^{*1} 村山 裕明^{*1} 堀越 徹^{*2} 木内 博之^{*1}

Takashi Yagi, M.D.^{*1}, Nobuo Senbokuya, M.D.^{*1}, Hiroaki Murayama, M.D.^{*1},

Tohru Horikoshi, M.D.^{*2}, Hiroyuki Kinouchi, M.D.^{*1}

Abstract

Purpose : Preoperative parameters of cervical sagittal balance, including T1 slope (T1S) and C2–C7 sagittal vertical axis (cSVA), have been recognized as predictors of kyphosis and neck disability after cervical posterior decompression surgery. However, the importance of these parameters in anterior cervical discectomy and fusion (ACDF) has not been sufficiently studied. We investigated the temporal changes in these parameters, including C2–C7 cervical lordosis (CL), cSVA, T1S, and T1 slope minus cervical lordosis (T1S–CL), after ACDF and examined the influence of ACDF on cervical sagittal balance.

Materials and Methods : We retrospectively analyzed the clinical data of 24 patients (13 males ; 11 females ; mean age, 59.5 ± 15.6) who underwent ACDF for up to 2 levels with a standalone polyether-ether-ketone (PEEK) cage. Patients with preoperative lordotic angles of 10° or more were allocated to the balance group, and those with angles less than 10° were allocated to the imbalance group. CL, cSVA, T1S, and T1S–CL were measured preoperatively and one year after surgery. The clinical outcomes were measured using the Japan Orthopedic Association (JOA) score, and the relationships between the JOA score and the cervical sagittal balance parameters were analyzed.

Results : After ACDF, a cervical lordotic angle of $3.8 \pm 4.6^\circ$ was lost in the balance group ($CL \geq 10^\circ$, $n = 12$), whereas a cervical lordotic angle of $5.1 \pm 8.6^\circ$ was gained in the imbalance group ($CL < 10^\circ$, $n = 12$); a significant difference was observed between the two groups.

The analyses of all 24 cases revealed a weak correlation ($r = 0.43$) between the preoperative cSVA and the postoperative JOA score improvement rate at 1 year, but there were no relationships between the other parameters and the JOA score improvement rate. Moreover, a positive correlation ($r = 0.66$, $p = 0.02$) was observed between the preoperative cSVA and the JOA score improvement rate 1 year after surgery in the balance group.

Conclusion : The effect of ACDF on cervical sagittal balance depends on the preoperative lordotic angle. In a balanced lordosis case, preoperative cSVA correlates with the postoperative JOA score improvement rate, and preoperative cSVA may be predictive of the clinical outcomes.

(Received : March 6, 2020 ; accepted : August 5, 2020)

Key words

anterior decompression and fusion, cervical sagittal balance, predictive

^{*1} 山梨大学医学部脳神経外科／Department of Neurosurgery, University of Yamanashi, Faculty of Medicine
連絡先：〒409-3898 中央市下河東 1110 山梨大学医学部脳神経外科 八木 貴 [Address reprint requests to : Takashi Yagi, M.D., Department of Neurosurgery, University of Yamanashi, Faculty of Medicine, 1110 Shimokato, Chuo-shi, Yamanashi 409-3898, Japan]

^{*2} 西島病院脳神経外科／Department of Neurosurgery, Nishijima Hospital

はじめに

脊柱・骨盤矢状バランスは、正常な状態で水平注視の維持とエネルギー消費の最小化に関与している。この脊柱・骨盤矢状バランスは health-related quality of life (HR-QOL) と関連し、成人脊柱変形における脊椎再建術では、神経の減圧や脊椎の安定化のみならず冠状面と矢状面における適切な alignment の回復とバランスの維持が重要であることが報告されている^{1,2)}。頸椎に限定しても頸椎矢状バランスの異常が、患者の全般的な身体機能や HR-QOL に有害な影響を与えるとされ³⁾、近年では T1 slope (T1S) などの矢状バランスの放射線学的指標が後方支持組織へ直接影響を及ぼす頸椎後方手術の治療効果の予測因子としても注目されている^{4~7)}。前方除圧固定術は、後方除圧法と比較すると筋肉や靭帯などの後方支持組織に直接の損傷がなく、後弯変形の矯正にも優れた術式であるが、近年注目されている sagittal vertical axis (SVA) や T1S などの術前の矢状バランスの放射線学的指標の本手技における意義や、術後の変化については十分に検討されていない。われわれは頸椎症性脊髄症に対する前方除圧固定術の手術前後においてこれらの矢状バランスの変化を後方視的に検討し、臨床所見との関連やその意義について考察する。

対象と方法

2014 年 1 月～2017 年 12 月の間に頸椎変性疾患に対する減圧手術を要した症例は 84 例で、原則として 2 椎間までの病変に前方除圧固定術を、3 椎間以上の病変で椎弓形成術を適用した。このうち、頸椎症性脊髄症の診断で前方除圧固定術を行い術後 1 年以上の経過観察が可能であった 24 例（男性 13 例、女性 11 例、平均年齢 59.5 ± 15.6 歳、1 椎間除圧および 2 椎間除圧が各 12 例）を対象として術前後の放射線学的指標の変化を後方視的に検討した。手術は Smith-Robinson 法に準じて右側からアプローチを行い、椎間板を搔爬し、後方の骨棘を削除後に肥厚した靭帯を切除し PEEK cage (CORNERSTONE®, Medtronic Sofamor-Danek, Memphis, USA, 4 mm height) を用いて椎体間固定を行った。術前、術後 1 週、術後 1 年の頸椎立位単純 X 線で、矢状バランスの放射線学的指標として、① C2-C7 lordotic angle (CL)、② C2-C7 sagittal vertical axis (cSVA)、③ T1 slope (T1S)、④ T1S と CL の差 (③-①、T1S-CL) を測定した (Fig. 1)。cSVA は 40 mm 未満、T1S は 20 度以上 40 度未満、T1S-CL は 20 度未満を生理的範囲と定義した^{8~10)}。臨床成績は、術前

Fig. 1 Measurements of the radiological parameters

- ① : CL (C2-C7 lordotic angle).
- ② : cSVA (C2-C7 cervical sagittal vertical axis).
- ③ : T1S (T1 slope).

と術後 1 年での Japanese Orthopaedic Association (JOA) スコアとその改善率を計測し、術前の各放射線学的指標と JOA スコア改善率の相関関係を検討した。また、術前後の各指標の変化の相関関係についても検討した。さらに、術前の前弯維持群（術前 CL 10 度以上、Balance group）と前弯消失群（術前 CL 10 度未満、Imbalance group）との 2 群に分類し、各指標の変化を比較し、前方除圧固定術が矢状バランスに与える影響を検討した。Cage subsidence について頸椎単純 X 線側面像で、術直後 1 週間から術後 1 年の期間での cage 前端的椎体への沈み込み距離を測定して評価し、2 群間で比較検討した。統計学的評価では 2 群間の比較に Student t 検定を行い、各指標の相関関係の検討では Pearson の相関分析を行った。

結 果

1 術前の指標

全症例の術前平均 JOA スコアは 12.6 ± 2.7 であった。術前の放射線学的指標は、CL : 11.1 ± 15.7 度（平均 $\pm$ SD）、cSVA : 19.3 ± 8.3 mm、T1S : 26.7 ± 9.7 度、T1S-CL : 15.5 ± 10.6 度であった。1 椎間除圧固定群 (n=12) と 2 椎間除圧固定群 (n=12) で、年齢、術前 JOA スコア、各放射線学的指標にいずれも有意差はなかった。

前弯維持群と前弯消失群に分類し比較すると、平均年齢は前弯消失群 (n=12) で 51.7 ± 16.7 歳で、前弯維持群 (n=12) の 67.3 ± 9.8 歳と比較して有意に若かった。

Table 1 Patient characteristics and preoperative parameters

	All patients n = 24	Balance group n = 12	Imbalance group n = 12	p (Balance vs Imbalance)
Age	59.5 ± 15.6	67.3 ± 9.8	51.7 ± 16.7	0.04*
Sex (male : female)	13 : 11	8 : 4	5 : 7	n.s
Pre. JOA score	12.6 ± 2.7	12.5 ± 2.5	12.8 ± 3.0	n.s
Surgical level	1.5 ± 0.5	1.4 ± 0.5	1.5 ± 0.5	n.s
CL (°)	11.1 ± 15.7	22.8 ± 11.9	-0.6 ± 8.6	<0.01*
C2-C7 SVA (mm)	19.3 ± 8.3	18.0 ± 8.8	20.6 ± 8.0	n.s
T1S (°)	26.7 ± 9.7	31.5 ± 8.9	21.8 ± 8.0	0.01*
T1S-CL (°)	15.5 ± 10.6	8.7 ± 6.8	22.4 ± 9.2	<0.01*

Values are presented as mean ± standard deviation and number. *indicates statistical significance, JOA : Japanese Orthopaedic Association, CL : cervical lordosis, T1S : T1 slope

Table 2 Changes in the parameters 1 year after anterior decompression and fusion

	All patients n = 24	Balance group n = 12	Imbalance group n = 12	p (Balance vs Imbalance)
ΔCL (°)	0.6 ± 8.2	-3.8 ± 4.6	5.1 ± 8.6	0.005*
ΔC2-C7 SVA (mm)	2.3 ± 5.3	3.6 ± 4.6	1.1 ± 6.0	0.25
ΔT1S (°)	0.75 ± 5.4	-1.3 ± 3.7	2.8 ± 6.2	0.06
ΔT1S-CL (°)	0.13 ± 8.6	2.6 ± 4.8	-2.3 ± 10.9	0.17
Cage subsidence (mm) 1 level/2 level	2.0 ± 1.1/3.6 ± 2.0	2.0 ± 1.3/3.6 ± 3.1	2.1 ± 1.9/3.9 ± 0.9	0.9/0.8
JOA improvement rate (%)	75.7 ± 22.6	72.5 ± 24.3	80.6 ± 18.9	0.37

Values are presented as mean ± standard deviation and number (%). *indicates statistical significance, Δ : the value obtained at the last follow-up minus the preoperative value, CL : cervical lordosis, SVA : sagittal vertical axis, CL : cervical lordosis, T1S : T1 slope, JOA : Japanese Orthopaedic Association

術前 JOA スコアは2群間で差はみられなかった。前弯維持群の CL は 22.8 ± 11.9 度、前弯消失群は -0.6 ± 8.6 度であった。cSVA はそれぞれ 18.0 ± 8.8 度、 20.6 ± 8.0 度で2群間で差はなかった。前弯消失群では、術前 T1S 21.8 ± 8.0 度で前弯維持群と比べて有意に低値 ($p=0.01$) で、T1S-CL は 22.4 ± 9.2 度で有意に高値であった ($p<0.01$) (Table 1)。

② 治療後の各指標の変化

前方除圧術後1年での各指標は CL 11.8 ± 12.4 度、cSVA 21.6 ± 7.4 mm、T1S 27.4 ± 8.7 度、T1S-CL 15.7 ± 7.6 度で、cSVA のみ治療前と比較して有意に増加がみられたが ($p<0.05$)、その他の指標は有意な変化はなかった。2群での検討では、前弯維持群では 3.8 ± 4.6 度の前弯角の損失があったのに対し、前弯消失群では 5.1 ± 8.6 度の前弯角増加が得られており、2群間で有意差を認めた ($p<0.01$)。T1S の変化は CL の変化と平行して、治療後前弯維持群で低下し、前弯消失群で角度が増加する傾向を認めたが、有意差はなかった ($p=0.06$)。T1S-CL の変化は前弯維持群で増加 (バランス悪化) し、前弯消失群で低下 (バランス改善) する変化を認めたが2群間で有意差はみられなかった。前弯維持群での cage subsidence は、1 椎間除圧で 2.0 ± 1.3 mm ($n=6$)、2 椎間除圧で 3.6

± 3.1 mm ($n=6$) であった。前弯消失群では1椎間除圧で 2.1 ± 0.9 mm ($n=6$)、2 椎間除圧で 3.9 ± 0.9 mm ($n=6$) で、2群間で cage subsidence の程度に差はみられなかった (Table 2)。

③ 前方除圧術後の各指標の変化の関係について

全例での前方除圧術後の各指標の変化の検討では、治療後の CL の変化と cSVA の変化、および T1S-CL の変化の間に負の相関関係 ($r=-0.65$, -0.79 , $p<0.05$) がみられた。一方で、cSVA の変化と T1S-CL の変化の間に正の相関関係 ($r=0.73$, $p<0.05$) がみられた。T1S の変化は、いずれの指標とも相関関係がみられなかった。

前弯消失群と前弯維持群で各指標の相関関係を比較すると、前弯消失群において CL と cSVA 間 ($r=-0.75$)、cSVA と T1S-CL 間 ($r=0.87$)、T1S と T1S-CL 間 ($r=0.62$) に有意な相関関係を認め、前弯維持群との差が明確であった (Table 3)。

④ 術前の放射線学的指標と JOA スコア改善率の関関について

術後全例で臨床症状は改善し、JOA スコア改善率は2群間で差はみられなかった (Table 2)。術前の矢状バランスの各指標と術後1年の JOA スコア改善率の相関関係を検討すると、24 例全例では術前の cSVA と術後1年の

Table 3 Correlation analysis of postoperative changes in the parameters

		Δ CL	Δ C2-C7 SVA	Δ T1S	Δ T1S-CL
Δ CL	All patients n = 24		r = -0.65*	r = 0.23	r = -0.79*
	Balance group n = 12	—	r = -0.42	r = 0.35	r = -0.69*
	Imbalance group n = 12		r = -0.75*	r = -0.07	r = -0.83*
Δ C2-C7 SVA	All patients n = 24			r = 0.18	r = 0.73*
	Balance group n = 12	Same as above	—	r = -0.13	r = 0.31
	Imbalance group n = 12			r = 0.51	r = 0.87*
Δ T1S	All patients n = 24				r = 0.4
	Balance group n = 12	Same as above	Same as above	—	r = 0.43
	Imbalance group n = 12				r = 0.62*
Δ T1S-CL	All patients n = 24				
	Balance group n = 12	Same as above	Same as above	Same as above	—
	Imbalance group n = 12				

Pearson's correlation coefficient (r). * indicates statistical significance, Δ : the value obtained at the last follow-up minus the preoperative value, CL: cervical lordosis, SVA: sagittal vertical axis, T1S: T1 slope

Fig. 2 Representative case of maintained sagittal balance before surgery

At 1 year after 2-level anterior decompression and fusion, the cervical lordosis decreased by 6°, SVA increased by 7.4 mm, the T1 slope increased by 2°, the T1 slope and CL mismatch increased by 8°, and all parameters changed toward a decline in balance.

JOA スコア改善率の間に弱い相関関係 ($r=0.43$, $p=0.15$) を認めたが, その他の指標の間には相関がみられなかった. 一方, 2 群に分類しての検討では, 前弯維持群において術前の cSVA と術後 1 年の JOA スコア改善率の間に正の相関関係を認めた ($r=0.66$, $p=0.02$).

症例提示

【症例 1】術前前弯維持群

65 歳, 男性.

手の巧緻運動障害, 歩行障害で発症し, 頸椎症性脊髄症の診断で C6/7 の 1 椎間の前方除圧固定術を行った. 術前の頸椎 JOA スコアは 13 点であった.

術前の CL は 30 度, cSVA は 26 mm, T1S は 33 度,

T1S-CL は 3 度で生理的な頸椎矢状バランスが保たれていた. 治療により脊髄症は軽快し, 術後 1 年での JOA スコアは 17 点, 改善率は 100% であった. 術直後, 術後 1 年においても cage subsidence の所見はみられなかった. 術直後では CL は 6 度損失したが, 1 年後には改善を認め, 術前と比較して CL の損失は 2 度であった. 術後 1 年で, cSVA は 3 mm 短縮, T1S は 1 度の低下, T1S-CL は 1 度上昇で生理的な矢状バランスの有意な変動はなく維持されていた (Fig. 2).

【症例 2】術前前弯消失例

52 歳, 女性.

両手の巧緻運動障害, 歩行障害で発症し, 頸椎症性脊髄症の診断で C5/6 の 1 椎間の前方除圧固定術を行った.

Parameters	Pre ope	Just after ope	1 year after ope	Changes
CL (°)	-7	10	18	25
cSVA (mm)	22.8	22.4	13.2	-9.6
T1S (°)	32	32	31	-1
T1S-CL (°)	39	22	13	-26

Fig. 3 Representative case of an imbalanced cervical sagittal alignment before surgery

One year after the 1-level anterior decompression and fusion, cervical lordosis showed a 25° kyphotic correction, SVA decreased by 9.6 mm, the T1 slope decreased by 1°, the T1 slope and CL mismatch decreased by 26°, and all parameters changed towards improving the balance.

術前の頸椎 JOA スコアは 14.5 点であった。術前の CL は -7 度、cSVA は 22.8 mm、T1S は 32 度、T1S-CL は 39 度で、生理的頸椎矢状バランスが不良であった。手術後 1 年で JOA スコアは 16.5 点まで改善し、改善率は 80% であった。本症例では術直後、1 年後ともに cage subsidence がみられなかった。CL は術直後に 10 度、1 年後にはさらに 18 度まで改善が得られた。治療後 1 年で、CL は 25 度の矯正が得られ、cSVA は 9.6 mm の短縮、T1S は 1 度低下、T1S-CL は 26 度低下し、すべての矢状バランスの指標の改善がみられた (Fig. 3)。

考 察

矢状バランスの指標は、重力と後頸部筋群の伸展力とのバランスが障害された際に生じる頸椎バランスの変化の予測に重要であるため、後方支持組織に直接影響を及ぼす後方固定術や椎弓形成術を中心に検討されてきた。これまでは、椎弓形成術において術前 T1S が高値の例で術後の前弯角損失が大きく、T1S が術後の後弯変形の予測因子となり得ることや⁴⁾、多椎間の後方除圧固定術において術前の cSVA が術後の neck disability index と相関し¹¹⁾、cSVA 40 mm 以上が有意に術後の neck disability に関与すること³⁾、さらに T1S-CL が 20 度以上でも後方除圧固定術後の neck disability に関与している⁷⁾ことなどが報告されている。これらの報告からは、術前の矢状バランスの指標は、頸椎後方除圧術の治療効果の予測因子としてのみならず、後方手術に不適切なバランス不良例を術前に把握し、適切な治療選択のための指標として

も重要な情報と考えられる。

一方で、後方支持組織に直接影響を及ぼさない前方除圧固定術においては、術前の矢状バランスの指標の影響に関する報告はいまだかぎられており¹²⁻¹⁴⁾、その臨床的意義は明らかとなっていないのが現状である。今回われわれの検討で明らかになったことは、以下の点である。

1) 2 椎間までの cage 単独使用による前方除圧固定術が矢状バランスに与える影響は、術前前弯維持群と消失群では差があり、前弯消失例ほど矢状バランス改善に与える影響が大きい (Table 2)

健常例と頸髄症例を比較した研究では、頸髄症例で有意に T1S が低値であり¹⁵⁾、T1S の減少は矢状バランスの悪化が示唆された。さらに、T1S-CL > 20 度の矢状バランス不良例は、前方除圧固定により有意に前弯角の改善が得られたことが報告されている¹⁶⁾。本検討では、術前前弯消失例では、前方除圧固定術後に T1S が増加し T1S-CL は減少する点で前弯維持例とは明確な違いがみられ、T1S の増加と T1S-CL の減少が矢状バランスの改善に関連していることが明らかとなった。この結果からは、前方除圧固定術では前弯消失例ほど CL や T1S の指標の改善に影響を与えていることが示された。

2) 前方除圧固定術では術前の SVA と治療成績の間に関連がみられる点で、T1S と治療成績の間に関連が報告されている椎弓形成術と明確な差がある (Table 3)

Kwon ら¹²⁾は、2 椎間の前方除圧固定術が矢状バランスに与える影響は、CL の変化が T1S-CL の変化に有意に関連している点で後方除圧固定術と明確な違いがあり、ま

た前方除圧固定術における T1S は、後方除圧術で報告されているような治療効果予測因子としての意義は乏しいことを報告している。今回のわれわれの検討は、Kwonらの結果を支持するものであり、前方除圧固定術における臨床的および放射線学的治療成績を予測する指標としては、通常の CL や cSVA に注目すべきものと考えられた。

頸椎症性脊髄症の治療選択は、一般的に不安定性の有無、罹患椎間、圧迫因子の局在など複数の要因を踏まえて判断されるが、本検討の結果を踏まえると術前矢状バランス不良例では前方除圧固定術のバランス改善効果も治療選択の判断要素として考慮すべきと考えられた。

3) 術前前弯維持群においては、術前の SVA と術後の JOA スコア改善率に相関を認め、前方除圧固定術の治療効果の予測因子となり得る

多椎間の後方固定術後、cSVA が 40 mm 以上であることが neck disability に関与することが報告されているが³⁾、実際には cSVA 40 mm 以上のバランス不良例はまれであり、40 mm 未満の生理的範囲でどのような意義を有しているのかは明らかとなっていない。今回、cSVA のみ両群で術後増加がみられ、前方除圧固定術後に増加することが明らかになったが、治療後の cSVA は 11.9~36.9 mm の範囲で、40 mm を超える例はみられなかった。前弯維持例 12 例を検討すると、術前 cSVA が 26~32 mm の 3 例では術後の JOA スコア改善率が 100% と良好であった一方で、cSVA が 4.5~5.1 mm の低値 2 例では、改善率が 33~41% と不良であった。このことから、術前前弯維持群においては cSVA 40 mm 未満の範囲でも至適な矢状バランスがあり、術前 cSVA が 10 mm 未満の低値例では前方除圧固定術後の脊髄症の改善率不良と関連する可能性が示唆された。一方で、前弯消失群では術前 cSVA と JOA スコア改善率の間に関連はなかった。今回の検討の範囲で 2 群間での結果の差異は明確には説明できない。頸髄症の術後成績には年齢や基礎疾患および罹患期間などの複数の因子が関与するため、単一の放射線学的指標のみでは単純には関連づけられないと考えられること、また本検討での症例数が少ないため、さらなる症例を蓄積したうえで検証する必要があると考えられた。

本研究では、以下に挙げる limitation がある。第一に、少数例の後方視的検討であり、対象症例も治療選択の時点で selection bias がかかっている点である。真の意味で前方除圧術が矢状バランスに与える影響を明らかにするためには、より多数例の前向き検討が必要である。第二に、治療後の観察が術後 1 年の短期であり、頸椎配列に直接関与する cage subsidence の長期的な影響は不明確

である。前方除圧固定術が矢状バランスに与える影響を明らかにするには、さらなる長期観察での検討が必要である。

■ おわりに

頸椎症性脊髄症に対する前方除圧固定術前後の矢状バランスの変化と臨床成績との関連を検討した。2 椎間までの前方除圧固定術では、術前の前弯消失例ほど矢状バランス改善に与える影響が大きい。前弯消失例では、前方除圧固定術により治療レベルの局所の前弯角を改善させ、T1S の増加や T1S-CL の減少が矢状バランスの改善に関与していることが明らかとなった。また、術前前弯が維持されている例では、術前 cSVA の値と術後 1 年の JOA スコア改善率の間に相関を認め、術前の SVA の値が治療効果の予測因子となる可能性が示唆された。

本論文の主旨は、第 33 回日本脊髄外科学会で発表した。

利益相反開示

筆者は日本脳神経外科学会への COI 自己申告を完了しており、本論文に関して開示すべき COI はない。

文 献

- 1) Terran J, Schwab F, Shaffrey CI, et al : The SRS-Schwab adult spinal deformity classification : assessment and clinical correlations based on a prospective operative and nonoperative cohort. *Neurosurgery* 73 : 559-568, 2013
- 2) Schwab F, Patel A, Ungar B, et al : Adult spinal deformity—postoperative standing imbalance : how much can you tolerate? An overview of key parameters in assessing alignment and planning corrective surgery. *Spine* 35 : 2224-2231, 2010
- 3) Tang JA, Scheer JK, Smith JS, et al : The impact of standing regional cervical sagittal alignment on outcomes in posterior cervical fusion surgery. *Neurosurgery* 71 : 662-669, 2012
- 4) Kim TH, Lee SY, Kim YC, et al : T1 slope as a predictor of kyphotic alignment change after laminoplasty in patients with cervical myelopathy. *Spine* 38 : E992-997, 2013
- 5) Jun HS, Kim JH, Ahn JH, et al : T1 slope and degenerative cervical spondylolisthesis. *Spine* 40 : E220-226, 2015
- 6) Kim B, Yoon DH, Ha Y, et al : Relationship between T1 slope and loss of lordosis after laminoplasty in patients with cervical ossification of the posterior longitudinal ligament. *Spine J* 16 : 219-225, 2016
- 7) Hyun SJ, Han S, Kim KJ, et al : Assessment of T1 slope minus cervical lordosis and C2-7 sagittal vertical axis criteria of a cervical spine deformity classification system using long-term follow-up data after multilevel posterior cervical fusion surgery. *Oper Neurosurg (Hagerstown)* 16 : 20-26, 2019
- 8) Staub BN, Lafage R, Kim HJ, et al : Cervical mismatch : the normative value of T1 slope minus cervical lordosis and its ability to predict ideal cervical lordosis. *J Neurosurg Spine* 30 : 31-37, 2018

- 9) Ling FP, Chevillotte T, Leglise A, et al : Which parameters are relevant in sagittal balance analysis of the cervical spine? A literature review. *Eur Spine J* **27** : 8-15, 2018
 - 10) Ames CP, Smith JS, Eastlack R, et al : Reliability assessment of a novel cervical spine deformity classification system. *J Neurosurg Spine* **23** : 673-683, 2015
 - 11) Vernon H, Mior S : The neck disability index : a study of reliability and validity. *J Manipulative Physiol Ther* **14** : 409-415, 1991
 - 12) Kwon WK, Kim PS, Ahn SY, et al : Analysis of associating factors with C2-7 sagittal vertical axis after two-level anterior cervical fusion : comparison between plate augmentation and stand-alone cages. *Spine* **42** : 318-325, 2017
 - 13) Jeon SI, Hyun SJ, Han S, et al : Relationship between cervical sagittal alignment and patient outcomes after anterior cervical fusion surgery involving 3 or more levels. *World Neurosurg* **113** : e548-554, 2018
 - 14) Lee SH, Lee JS, Sung SK, et al : A lower T1 slope as a predictor of subsidence in anterior cervical discectomy and fusion with stand-alone cages. *J Korean Neurosurg Soc* **60** : 567-576, 2017
 - 15) Sun J, Zhao HW, Wang JJ, et al : Diagnostic value of T1 slope in degenerative cervical spondylotic myelopathy. *Med Sci Monit* **24** : 791-796, 2018
 - 16) Lee SH, Son DW, Lee JS, et al : Differences in cervical sagittal alignment changes in patients undergoing laminoplasty and anterior cervical discectomy and fusion. *Neurospine* **15** : 91-100, 2018
-