

成人脊柱変形に対する LIF と PPS を用いた 低侵襲脊椎矯正術における骨癒合過程

川島 康輝 石原 昌幸 朴 正旭 谷 陽一
足立 崇 串田 剛俊 谷口 慎一郎 齋藤 貴徳

要旨

はじめに：成人脊柱変形に対する側方経路椎体間固定（以下 LIF）および経皮的椎弓根スクリュー（以下 PPS）を用いた circumferential Minimally Invasive Surgery（以下 cMIS）での胸椎、腰仙椎部分における骨癒合過程を後ろ向きに検討した。

対象と方法：2016 年以降に当院で LIF と後方 PPS で手術を行い術後 2 年以上経過観察可能であった脊柱変形患者 60 例（女性 45 例，男性 15 例）において胸椎及び腰仙椎部における骨癒合率，骨癒合形態及び rod 折損率を評価し，また胸椎部における骨癒合の有無で患者背景や合併症発生率等を比較検討した。

結果：骨癒合率は胸椎 52%，腰仙椎は 85% であった。胸椎部におけるスクリューの緩みは骨癒合不全群で有意に多かったがスクリューの脱転や PJK，ロッド折損等の有害事象の発生において有意差はなかった。

結語：ASD に対する LIF と PPS を用いた胸椎部に骨移植を行わない cMIS では胸椎レベルにおいて骨癒合不全群であっても中期成績における有害事象の発生において有意差はなく臨床的に問題ないことが確認された。

キーワード：成人脊柱変形，低侵襲脊椎矯正術，骨癒合

はじめに

超高齢社会を迎え，さらに脊椎 instrument の進化に伴い成人脊柱変形（adult spinal deformity：ASD）に対する矯正手術も増加傾向にある。ASD の主病態は椎間板腔の変性，椎間板レベルの変形であるため椎体間レベルでの解離及び矯正が基本となる。側方経路椎体間固定（lateral interbody fusion：LIF）の導入により ASD に対する手術は劇的な進歩を遂げた。LIF による前方解離により柔軟性も獲得できるため後方は経皮的椎弓根スクリュー（percutaneous pedicle screw：PPS）であっても十分な矯正が達成される症例も少なくない^{1),2)}。一方で proximal junctional kyphosis（以下 PJK）/proximal junctional fail-

ure（以下 PJF）や rod 折損等の implant 関連合併症が問題である¹⁾。我々は，腰椎部分では LIF，腰仙椎部分では TLIF を行い，一方胸椎部分においては PJK 予防目的に傍脊柱筋を温存するため骨移植は行わず，胸椎から骨盤部まで PPS で後方固定を行っている³⁾。今回，LIF 及び PPS を用いた circumferential Minimally Invasive Surgery（以下 cMIS）における胸椎部分および腰仙椎部分での骨癒合過程について後ろ向きに検討した。

対象と方法

2016 年 10 月から 2018 年 3 月までの間に LLIF と PPS を用いて矯正固定術を行い術後 24 ヶ月以上経過観察可能であった成人脊柱変形患者 60 名を対

連絡先：川島 康輝（chelseajoesheva@gmail.com）

関西医科大学附属病院整形外科講座

受付日：2021 年 1 月 8 日，採用日：2021 年 4 月 4 日

Copyright © Journal of Spine Research



骨移植なし LIF TLIF

図1 手術方法

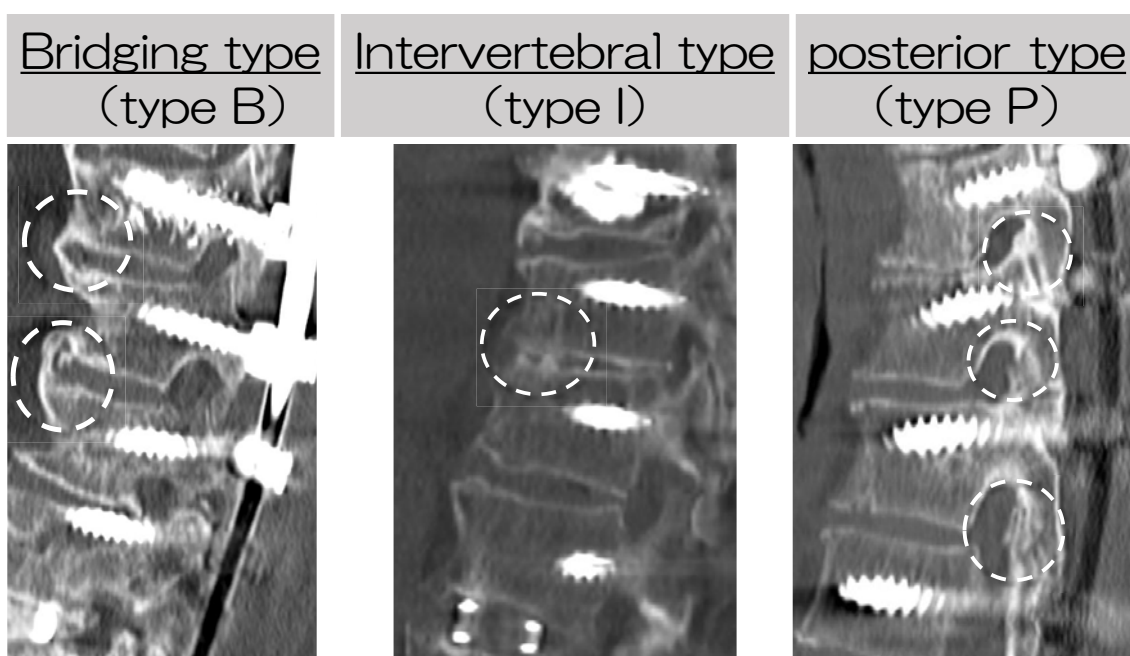


図2 骨癒合形態

象とした。平均年齢73.5歳，平均経過観察期間35.5ヶ月であった。手術方法は，全腰椎（L1/2～L4/5）においてLIFを施行し，1週間後L5/S1のTLIFと，後方PPS固定を行った（図1）。固定範囲は全例下位胸椎（T9：10例，T10：50例）から骨盤までとした。全例胸椎部においては骨移植を行わず，また前縦靱帯損傷例は除外した。この60名における胸椎191椎間（T9/10/11/12/L1），腰椎240椎間（L1/2/3/4/5），腰仙椎60椎間（L5/S1）に関して術後2年での骨癒合率，骨癒合形態，rod折損の有無を検討し，さらに骨移植を行っていない胸椎において，

骨癒合群と骨癒合不全群の二群間で年齢，性別，術前椎間板/椎体の性状，Screw緩み及びスクリュー脱転，PJK，rod折損，脊柱骨盤パラメーター，ODIについて検討した。骨癒合形態に関しては架橋形成型（typeB），椎体間癒合型（typeI），後方癒合型（typeP）の3群に分類した（図2）。また術前椎間板/椎体の性状に関しては，変性なし（typeN），びまん性特発性骨増殖症（以下DISH）（typeD），架橋形成傾向にあるpre DISH（type pre-D）の3群に分類した（図3）。全例rodは5.5mmチタン合金を用い，LIFは全例extreme lateral interbody fusion（XLIF[®]）を

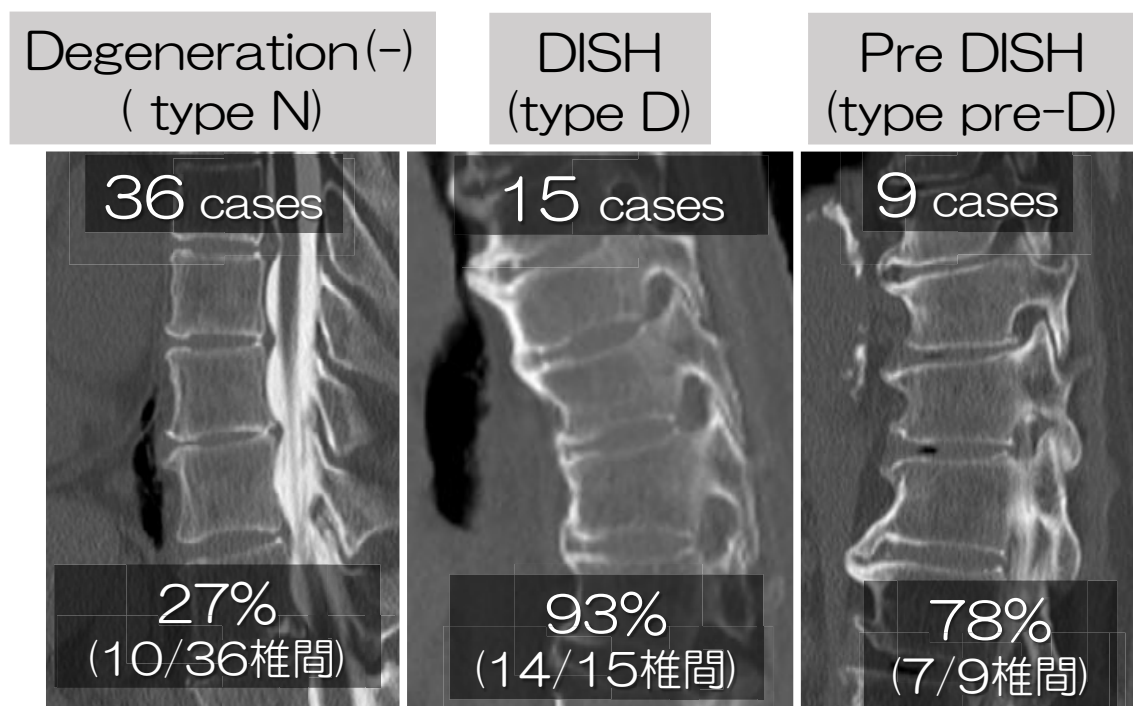


図3 術前椎間板/椎体の性状（胸椎）

施行し、全例 XLIF 用チタン cage (Corent XL Ti®) を用いた。Cage 内には自家腸骨とハイドロキシアパタイトとコラーゲン複合体 (リフィット®) を混ぜて使用した。骨癒合判定は術後 2 年時の CT で評価し、骨癒合の定義は CT にて架橋形成を認めたものもしくは cage 内/椎体間骨梁の連続性が確認できたものとした。術後 2 年までに rod 折損を来したものは骨癒合不全とした。また前縦靱帯損傷は、後方矯正固定後に椎体と cage の間に新たに間隙が発生したものと定義した。統計解析は fisher 正確検定、student t 検定を用い、 $p < 0.05$ を有意差ありとした。PJK の定義は、単純 X 線立位全長側面像において固定頭側端の尾側終板と 2 椎体頭側の頭側終板がなす角度 proximal junctional angle (PJA) が 10° 以上、かつ術前 PJA から 10° 以上後弯変形が進行したものとした（椎体骨折等の PJF も含む）。本研究は当院の倫理委員会の承認を受け行われた。

結果

平均 LIF 施行椎間数は 4.2 椎間であった。術後 2 年での骨癒合率は胸椎では 52% でありそのうち新規骨癒合が 35%、既存骨癒合が 17% であった。腰仙椎での骨癒合率は 85% であった。骨癒合形態に関しては胸椎、腰椎、腰仙椎いずれも typeB が最多であり、腰椎においてはその約半数で typeB と typeI

が混在していた。椎体間固定を行っている腰椎、腰仙椎においては typeB に次いで typeI が多かったのに対して胸椎では typeP が次に多い結果となった（表 1）。rod 折損は腰椎で 20 例 33%（L2/3：3 例，L3/4：5 例，L4/5：12 例），腰仙椎（L5/S1）で 10 例 17% 認めたが、胸椎での発生は認めなかった（表 2）。Rod 折損を来した症例は、L5/S1 の 1 例を除き、全例骨癒合不全症例であった。胸椎部における術前椎間板/椎体の性状については typeN が 36 例，typeD が 15 例，type preD が 9 例であり、骨癒合率はそれぞれ 27%、93%、78% と typeD の骨癒合率が最も高かった（図 3）。胸椎でのインプラント関連合併症においては Screw の緩みは 38% であり T10 及び T11 で認めたものが 10%、T10 単独の緩みは 28% であった。Screw 脱転は 5%、PJK は 30% であった（表 2）。Screw の緩みのある群とない群と比較すると、胸椎骨癒合率は Screw の緩みがある群で有意に低いものの、PJK の発生率に関して有意差はなかった（表 3）。次に胸椎における骨癒合群と骨癒合不全群の二群間で患者背景を比較したところ、骨癒合群で男性及び DISH 群が有意に多く、typeN が有意に少なかった。また Screw の緩みは骨癒合不全群で有意に多かったが、Screw 脱転や PJK、rod 折損等の implant 関連合併症の発生において有意差はなかった。PJK 及びロッド折損による再手術率に関し

表 1 骨癒合率/骨癒合形態 (術後 2 年)

	骨癒合率 (level)	骨癒合形態			
		Type B	Type I	Type P	P value
胸椎 (n = 191)	52% (98/191)	83% (81/98)	5% (5/98)	12% (12/98)	P<0.05
	新規骨癒合 既存骨癒合				
	34% (66/191) 17% (32/191)				
腰椎 (n = 240)	85% (205/240)	73% (150/205) B + I 37%	27% (55/205)	0%	P<0.05
腰仙椎 (n = 60)	85% (51/60)	77% (39/51)	17% (9/51)	6% (3/51)	P<0.05

Fisher exact test

表 2 各種合併症発生率 (胸椎)

	Screw 緩み	PS 脱転	PJK	Rod 折損
症例数 (n = 60)	23 (UIV, UIV-1 : 10% 6 例 UIV のみ : 28% 17 例)	3	18	0
%	38%	5%	30%	0%

表 3 Screw 緩みの有無での骨癒合率/PJK 発生率

Screw 緩み	緩みあり群 (n = 23)	緩みなし群 (n = 37)	
骨癒合率	13% (10/77 levels)	57% (64/113 levels)	P<0.001
PJK 発生率	22% (5/23 cases)	35% (13/37 cases)	P = 0.16

Fisher exact test

ても二群間で有意差はなかった。(表 4)。また二群間で各種パラメーターにおいて有意差は認められなかった(表 5)。術前 ODI は骨癒合群で 35 点, 骨癒合不全群で 33 点であり, 術後 ODI は骨癒合群 29 点, 骨癒合不全群 27 点でありいずれも有意差は認めなかった(術前 p=0.23, 術後 p=0.31)。

症例 1

82 歳女性, ASD に対して LIF と PPS を用いて矯正固定術施行。胸椎では術前椎間板/椎体の性状は typeD であった。術後 2 年で typeB の骨癒合形態を示している(図 4)。

症例 2

75 歳女性, ASD に対して LIF と PPS を用いて矯正固定術施行。胸椎では術前椎間板/椎体の性状は T10/11 は typeD, T11/12/L1 は typeN であった。術後 2 年で typeP の骨癒合形態を示している(図 5)。

考 察

ASD の矯正手術における骨癒合率は過去の報告では約 80 から 95% と報告されている^{4)~8)}。本研究においては腰椎, 腰仙椎は約 85% と同等であった一方, 骨移植を行っていない胸椎では 52% と低い結果であった。我々が渉猟しえた限りでは ASD に対する cMIS において骨移植を行っていない胸椎での骨癒合過程及び骨癒合形態を調査した報告は過去になく本研究が初めての報告となる。本結果では胸椎骨癒合群において術前椎体/椎間板性状は typeN が有意に少なく, また胸椎及び腰仙椎ともに骨癒合形態は typeB が多かった。我々は過去に ASD 手術で L5/S1 骨癒合不全リスク因子について検討し, 術前椎間板変性が少なく L5/S1 局所前弯が大きいことがリスク因子と報告した⁹⁾。本研究においても類似し

表 4 骨癒合群/骨癒合不全群の比較 (胸椎)

			骨癒合群 (n = 32)	骨癒合不全群 (n = 28)	P value
年齢（歳）			74.5	72.1	P = 0.51
性別（男性：女性）			11：21	4：24	P = 0.06
術前椎間板/椎体性状	DISH（type D）		14/32	1/28	P<0.001
	Pre-DISH（type pre-D）		7/32	2/28	P = 0.15
	Disc degeneration（-）（type N）		10/32	25/28	P<0.001
Screw 緩み（例）			4/32	19/28	P<0.001
Screw 脱転（例）			1/32	2/28	P = 0.45
PJK（例）			10/32	8/28	P = 0.46
Rod 折損（胸椎部）（例）			0/32	0/28	P = 1.00
再手術率	Rod 折損（例）	胸椎	0/32	0/28	P = 1.00
		腰仙椎	12/32	10/28	P = 0.56
	PJK（例）		5/32	4/28	P = 0.51
	Total		5/32	4/32	P = 0.43

Fisher exact test

表5 各種パラメーター（骨癒合群 vs 骨癒合不全群）

	骨癒合群 (n = 32)	骨癒合不全群 (n = 28)	P value
PI	48.6	50.5	0.27
Pre-LL	13.0	11.2	0.21
Post-LL	47.9	49.3	0.31
Pre-PI-LL	35.6	39.3	0.19
Post-PI-LL	0.7	1.2	0.30
Pre-PT	29.2	30.5	0.18
Post-PT	17.4	18.7	0.25
Pre-TK	18.2	18.4	0.38
Post-TK	38.9	37.2	0.21

Student t test

た結果となったが、これは脊柱変形患者においては胸腰椎での変性が強い症例が多く骨棘形成も旺盛であり、そこで架橋形成および骨癒合することが予想される。骨癒合群にて男性が多い傾向にあり、有意に typeN が少なく、変性している typeD もしくは type pre-D が多かった。疫学的に DISH や OPLL は男性に多く¹⁰⁾、また Implant 周囲異所性骨化の因子として男性が報告されており¹¹⁾、椎間板/椎体に変性し DISH を有しており、かつ男性であることが胸椎部自然骨癒合において重要である可能性が示唆された。また Screw の緩みは骨癒合不全群で有意に多いものの、Screw の脱転や PIK、rod 折損等の術後

implant 関連合併症に関しては有意差がなかったことより、胸椎の骨移植を行わずとも術後 2 年という中期成績においては問題ないことが本研究にて確認された。この理由として胸椎は腰椎と比較し可撓性が少ないこと、既存骨癒合症例も含めて約半数は自然骨癒合が得られること、またスクリューの緩みを呈した症例においてはわずかなスクリューの緩みが固定上位端の動きを許容し semi-rigid な固定が得られていること等があげられる。また PJK 発生リスク因子としては過去に数多くの因子が報告されているが¹²⁾、その中で背筋や靱帯等の後方軟部組織の温存を重要視する報告も散見されている^{13), 14)}。骨移植を行わずとも臨床成績に有意差がないのであれば、背筋群を温存し PPS とすることにより PJK を予防することの方が臨床成績の向上により有用である可能性が示唆され今後さらなる検討が必要である。

結語

1. ASD に対する LIF と PPS を用いた cMIS に
おける骨癒合過程に関して検討した。
2. 胸椎での骨癒合率は 52% であり、一方腰仙椎
では 85% であった。いずれも骨癒合形態の大部分は
typeB であった。
3. 胸椎において骨癒合不全群では骨癒合群と比
較し合併症発生率に有意差はなく中期成績において
は問題なかった。

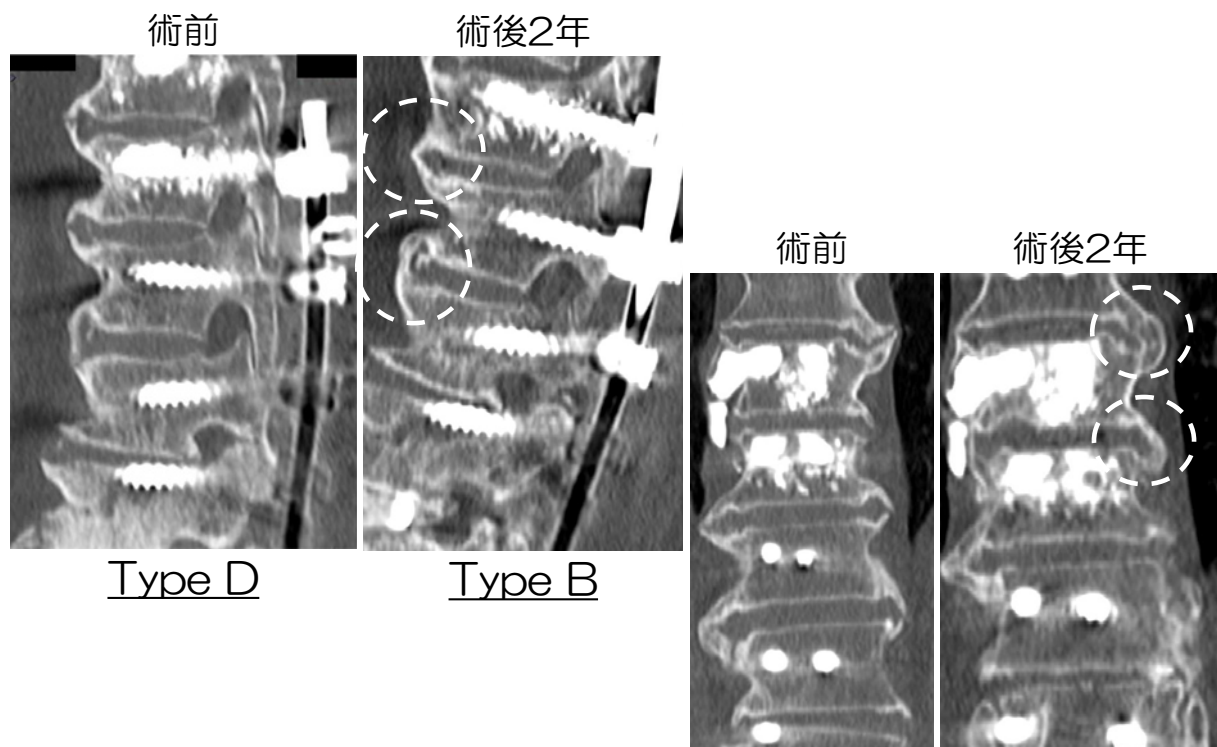


図4 症例1 術前後CT
82歳女性 ASD

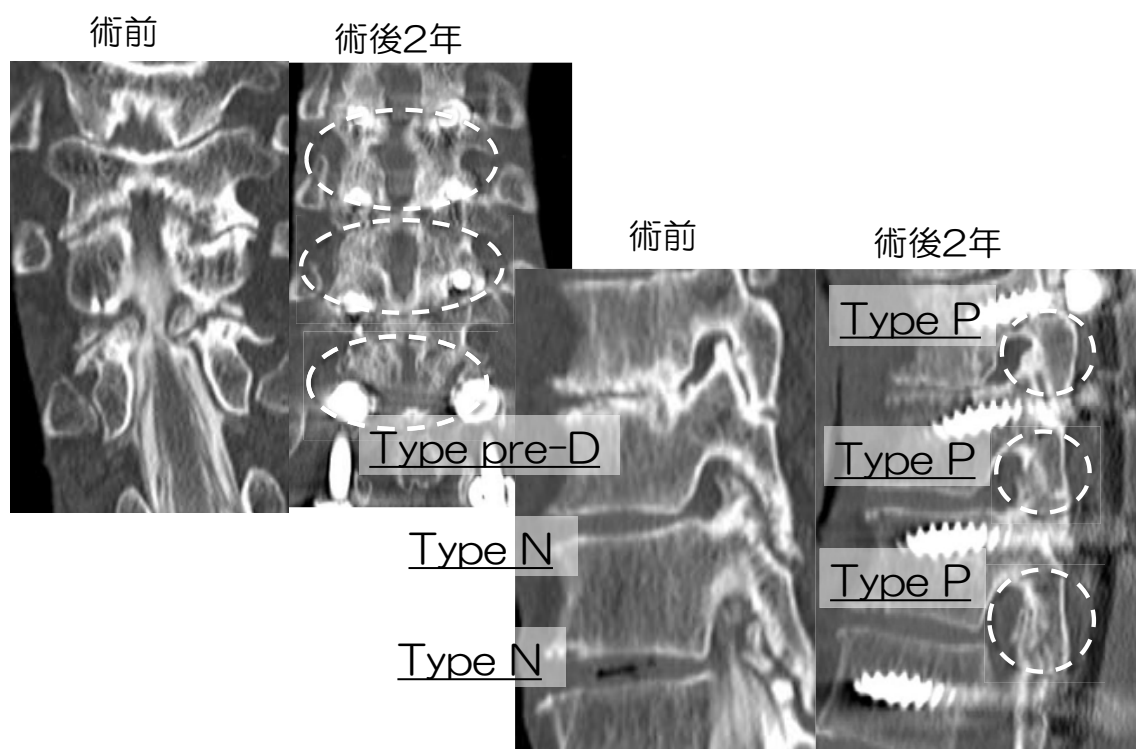


図5 症例2 術前後CT
75歳女性 ASD

4. 骨癒合不全群において術前椎体/椎間板性状はtypeNが有意に多かった。

利益相反

本論文に関連し開示すべき利益相反はなし。

文 献

- 1) 石原昌幸, 齋藤貴徳: 成人脊柱変形に対する LIF と PPS を用いた Circumferential MIS. 臨床整形外科. 2020 ; 55 (7)
- 2) Anand N, Kong C, Fessler GR: A Staged Protocol for Circumferential Minimally Invasive Surgical Correction of Adult Spinal Deformity. *neurosurgery* volume. 2017; 81 (5)
- 3) 石原昌幸, 谷口慎一郎, 齋藤貴徳, 他: 成人脊柱変形術後 Proximal Junctional Kyphosis の原因は Rod Contour である. *Journal of Spine Research*. 2019 ; 10 (6) : 934-937
- 4) Strom GR, Bae J, Mizutani J, et al: Lateral interbody fusion combined with open posterior surgery for adult spinal deformity. *J neurosurg Spine*. 2016; 25: 697-705
- 5) Schmitt PJ, Kelleher JP, Ailon T, et al: 2016: Long-Segment Fusion for Adult Spinal Deformity Correction Using Low-Dose Recombinant Human Bone Morphogenetic Protein-2: A Retrospective Review of Fusion Rates. *Neurosurgery*. 2016; 79 (2): 212-221
- 6) Kim YJ, Bridwell KH, Lenke LG, et al: Pseudarthrosis in long adult spinal deformity instrumentation and fusion to the sacrum: prevalence and risk factor analysis of 144 cases. *Spine*. 2006; 31 (20): 2329-2336
- 7) Eastlack KR, Srinivas R, Mundis GM, et al: Early and Late Reoperation Rates With Various MIS Techniques for Adult Spinal Deformity Correction. *Global Spine Journal*. 2019; 9 (1): 41-47
- 8) Hamilton KD, Kanter AS, Bolinger BD, et al: Reoperation rates in minimally invasive, hybrid and open surgical treatment for adult spinal deformity with minimum 2-year follow-up. *Eur Spine J*. 2016; 25: 2605-2611
- 9) 河中沙百合, 石原昌幸, 齋藤貴徳, 他: 成人脊柱変形術後 L5/S1 レベルにおける骨癒合率および局所前彎角の検討. 中部日本整形外科災害外科学会雑誌. 2020 ; 63 (3) : 453-454
- 10) Niu C C, Lin S S, Yuan L.J, et al: Correlation of blood turnover biomarker and wnt signaling antagonist with AS, DISH, OPLL and OYL.
- 11) Yi S, Shin DA, Kim KN, et al: The predisposing factors for the heterotopic ossification after cervical artificial disc replacement. *Spine J*. 2013; 13 (9): 1048-1054
- 12) Maruo K, Ha Y, Inoue S, et al: Predictive factors for proximal junctional kyphosis in long fusions to the sacrum in adult spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013; 38: E1469-E1476
- 13) Kim HJ, Iyers S, Zebala LP, et al: Perioperative neurologic complications in adult spinal deformity surgery: incidence and risk factors in 564 patients. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2017; 42: 420-427
- 14) Mummaneni PV, Park P, Fu K-M, et al: Does minimally invasive percutaneous posterior instrumentation reduce risk of proximal junctional kyphosis in adult spinal deformity surgery? A Propensity-Matched Cohort Analysis. *Neurosurgery*. 2016; 78 (1): 101-108

Bone Fusion Process in Circumferential Minimally Invasive Surgery Using Lateral Interbody Fusion and Percutaneous Pedicle Screw for Adult Spinal Deformity

Koki Kawashima Masayuki Ishihara Masaaki Paku Yoichi Tani
Takashi Adachi Taketoshi Kushida Shinichiro Taniguchi Takanori Saito

Department of Orthopedic Surgery, Kansai Medical University Hospital

Abstract

Introduction: Circumferential minimally invasive surgery (c-MIS) that employs lateral interbody fusion (LIF) and percutaneous pedicle screw (PPS) for adult spinal deformity (ASD) is becoming increasingly popular. However, studies that have thoroughly evaluated bone fusion rate and morphology, including those of the thoracic spine without bone grafting, are few. We examined the bone fusion process at the thoracic and lumbosacral levels of patients with ASD who underwent c-MIS using LIF and PPS.

Methods: This retrospective study included 60 patients with ASD who underwent corrective surgery using LIF and PPS and were followed up for >24 months after surgery. Patients with anterior longitudinal ligament rupture were excluded. The average age and follow-up period of the patients were 73.5 years and 35.5 months, respectively. The fixation range was from the lower thoracic spine to the pelvis in all cases. Bone grafting was not performed in the thoracic spine. The bone fusion rate and morphology were examined for 191 thoracic, 240 lumbar, and 60 lumbosacral vertebrae. Moreover, implant-associated complications in the thoracic spine without bone grafting were examined and compared between the union and nonunion groups. The bone fusion morphology was classified into the bridging (type B), interbody fusion (type I), and posterior fusion (type P) types. The conditions of the preoperative disc/vertebral body were classified as follows: no degeneration (type N), diffuse idiopathic skeletal hyperostosis (DISH) (type D), and pre-DISH (type pre-D), which tends to form bridging.

Results: The bone fusion rate at the thoracic level 2 years postoperatively was 52%; 17% of these patients had bone union preoperatively. The bone fusion rate at the lumbar and lumbosacral levels was 85%. Type B was the most common type of bone fusion. The preoperative disc/vertebral body conditions were type N in 36 cases, type D in 15 cases, and type pre-D in 9 cases, and the bone fusion rates were 27%, 93%, and 78%, respectively. The incidence of implant-associated complications in the thoracic spine was 38%. The proportion of male patients and type D cases were significantly higher and the proportion of type N cases was significantly lower in patients with union in the thoracic spine than in those without. Screw loosening was significantly more common in the nonunion group; however, no significant difference was observed in the incidence rate of postoperative implant-related complications between the two groups.

Conclusions: Even without bone grafting, postoperative incidence of implant-related complications remains unaffected.

Key words: adult spinal deformity, circumferential minimally invasive surgery, bone fusion process