

脊柱侧后凸/后凸畸形 SRS-Schwab 四级截骨术后 近端交界性后凸的危险因素分析

刘 盾, 史本龙, 朱泽章, 李 洋, 刘 臻, 孙 旭, 邱 勇

(南京大学医学院附属鼓楼医院脊柱外科 210008 南京市)

【摘要】目的:探讨脊柱侧后凸/后凸畸形患者 SRS-Schwab 四级截骨术后发生近端交界性后凸(proximal junctional kyphosis, PJK)的相关危险因素。**方法:**回顾性分析 2011 年 5 月~2015 年 12 月于我院行 SRS-Schwab 四级截骨手术且具有完整临床及影像学资料的 46 例脊柱侧后凸/后凸畸形患者,其中男性 24 例,女性 22 例,手术时年龄 23.1 ± 19.7 岁。记录患者体重指数、融合节段、最上端固定椎(upper instrumented vertebra, UIV)位置及置钉密度等。测量术前、术后 3 个月及末次随访时的胸椎后凸角(thoracic kyphosis, TK)、腰椎前凸角(lumbar lordosis, LL)、骨盆入射角(pelvic incidence, PI)、局部后凸角(segmental kyphosis, SK)、主弯 Cobb 角(main curve, MC)、矢状面平衡(sagittal vertical axis, SVA)及近端交界角(proximal junctional angle, PJA)。根据患者术后是否发生 PJK 分为非 PJK 组和 PJK 组,采用 t 检验、 χ^2 检验或 Fisher 精确检验对比两组临床资料及影像学参数,利用多因素 Logistic 回归分析确定 PJK 发生的危险因素。**结果:**46 例患者术后随访 24~63 个月(36.9 ± 13.4 个月),其中 11 例(23.9%)发生 PJK,以 I 型 PJK(8/11)最为常见,8 例发生于术后 6 个月内。PJK 组和非 PJK 组患者性别、年龄、随访时间、体重指数、融合节段、骨密度、置钉密度、UIV 位置均无统计学差异($P > 0.05$)。PJK 组患者术前 $TK > 40^\circ$ (6/11)和 SK 矫正 $> 30^\circ$ (7/11)的比例均高于非 PJK 组($P < 0.05$)。两组患者间术前 PJA、LL、MC、PI、SVA 和术后及末次随访时 TK、LL、MC、SK、PI、SVA 改变均无统计学差异($P > 0.05$)。回归分析结果显示术后 SK 矫正 $> 30^\circ$ (OR=7.000, 95%CI=1.591-30.800, $P=0.010$)是 PJK 发生的独立危险因素。PJK 组术前 PJA 为 $7.5^\circ \pm 3.0^\circ$,术后 3 个月为 $20.8^\circ \pm 4.1^\circ$,末次随访时为 $22.0^\circ \pm 4.5^\circ$,交界性后凸未见明显加重。**结论:**脊柱侧后凸/后凸畸形患者 SRS-Schwab 四级截骨术后 PJK 发生率为 23.9%,其主要发生于术后 6 个月内,脊柱后凸畸形过度矫正是其独立危险因素。

【关键词】 脊柱侧后凸/后凸; SRS-Schwab 四级截骨术; 近端交界性后凸; 危险因素

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2021.07.01

中图分类号: R682.3, R687.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2021)-07-0579-07

Risk factors for proximal junctional kyphosis after SRS-Schwab grade 4 osteotomy in patients with spine kyphoscoliosis/kyphosis/LIU Dun, SHI Benlong, ZHU Zezhang, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2021, 31(7): 579-585

【Abstract】 Objectives: To investigate the risk factors for proximal junctional kyphosis(PJK) in patients with kyphoscoliosis/kyphosis underwent SRS-Schwab grade 4 osteotomy. **Methods:** A retrospective review of 46 patients with spine kyphoscoliosis/kyphosis who underwent SRS-Schwab grade 4 osteotomy between May 2011 and December 2015 was performed, including 24 males and 22 females, with an average age of 23.1 ± 19.7 years. Body mass index, fusion segment, upper instrumented vertebra(UIV) and implant density were recorded. The spine-pelvic parameters including thoracic kyphosis(TK), lumbar lordosis(LL), pelvic incidence(PI), segmental kyphosis(SK), main curve(MC), sagittal vertical axis(SVA) and proximal junctional angle(PJA) were measured pre- and post-operationally and at last follow up. Patients were divided into PJK group and non-PJK group. Comparison of clinical and radiographic data was conducted between the 2 groups by Student's t -test

基金项目:南京市医学科技发展资金一般性课题(CZLB1480-2020);江苏省临床医学中心(YXZX2016009)

第一作者简介:男(1995-),博士研究生,研究方向:脊柱外科

电话:(025)68182022 E-mail:jsliudun@163.com

通讯作者:朱泽章 E-mail:zhuzezhang@126.com

and Chi-square test or Fisher's exact test. Multivariate Logistic regression analysis was used to determine the risk factors of PJK. **Results:** The average follow-up period of 46 patients was 36.9 ± 13.4 months, during which PJK occurred in 11 cases (23.8%). 8 patients developed PJK during the first six months after surgery and the most common type of PJK was type I (8/11). There was no significant difference in gender, age, follow-up, body mass index, fusion segment, bone mineral density, implant density and UIV between two groups (all $P > 0.05$). Compared with the non-PJK group, the PJK group showed higher rate of pre-operative TK $>40^\circ$ and SK improvement $>30^\circ$ (all $P < 0.05$). No significant difference was detected between both groups in pre-operative PJA, LL, MC, PI, SVA, and TK, LL, MC, SK, PI, SVA changes after operation and at the last follow-up (all $P > 0.05$). Logistic regression analysis showed that SK improvement $>30^\circ$ (OR=7.000, 95% CI=1.591-30.800, $P=0.010$) was independent risk factor associated with PJK. The average PJA increased from $7.5^\circ \pm 3.0^\circ$ to $20.8^\circ \pm 4.1^\circ$ at 3 months after surgery. At the final follow-up in PJK group, PJA averaged $22.0^\circ \pm 4.5^\circ$ and no significant progression of PJA was observed. **Conclusions:** The incidence of PJK after SRS-Schwab grade 4 osteotomy in patients with spine kyphoscoliosis/kyphosis was 23.9%, which mainly occurred within 6 months, and over correction of kyphosis is one of the high risk factors.

[Key words] Kyphoscoliosis/Kyphosis; SRS-Schwab grade 4 osteotomy; Proximal junctional kyphosis; Risk factors

[Author's address] Department of Spinal Surgery, Drum Tower Hospital, Medical School of Nanjing University, Nanjing, 210008, China

脊柱 SRS-Schwab 四级截骨术是指经后路切除目标椎体的棘突和椎板等后份结构、椎体上半部分、椎弓根、上终板以及上位椎间盘,最终将剩余的脊柱结构向后加压闭合形成骨与骨闭合的一种截骨技术,其截骨范围介于经椎弓根椎体截骨术(pedicle subtraction osteotomy,PSO)及全椎体截骨术(vertebral column resection,VCR)之间^[1]。文献报道 SRS-Schwab 四级截骨术应用于陈旧性胸腰段骨折伴后凸畸形^[2,3]及先天性脊柱侧后凸畸形^[4]患者可以有效重建脊柱矢状面平衡和获得满意的临床疗效。近端交界性后凸(proximal junctional kyphosis,PJK)作为一种常见的术后并发症近年来逐渐受到关注,其通常因内固定近端交界区的应力改变引起,可导致局部内固定松动、断裂等,严重时甚至需要手术翻修^[5]。既往研究表明,PJK 的发生发展是多因素共同作用的结果^[6],常见的危险因素包括患者年龄^[6]、较大的体重指数^[7]、近端融合椎和融合节段选择不当^[8]、后凸畸形过度矫正^[9]、固定至骶骨^[10]及脊柱骨盆矢状面序列改变^[11]等。目前文献中未见脊柱侧后凸/后凸畸形患者行 SRS-Schwab 四级截骨术后 PJK 的发生率及危险因素相关报道。本研究回顾性分析于我院行 SRS-Schwab 四级截骨术的脊柱侧后凸/后凸畸形患者的临床和影像学资料,目的在于:(1)分析脊柱侧后凸/后凸畸形患者行 SRS-Schwab 四级截骨术后 PJK 的发生率;(2)探讨该类患者中 PJK

的影像学特征和转归模式;(3)分析 PJK 发生的危险因素。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析 2011 年 5 月~2015 年 12 月于我院行 SRS-Schwab 四级截骨手术的脊柱侧后凸/后凸畸形患者。纳入标准:(1)行全椎弓根螺钉结构固定;(2)有术前、术后 3 个月及末次随访时的全脊柱正侧位 X 线片;(3)术后随访 ≥ 24 个月。排除标准:既往有脊柱手术或外伤史。符合上述标准的 46 例患者被纳入本研究,均为圆弧形后凸畸形,其中男性 24 例,女性 22 例,手术时年龄为 $23.1 \pm 19.7(3 \sim 71)$ 岁。术后随访时间为 $36.9 \pm 13.4(24 \sim 63)$ 个月。病因学分类包括先天性脊柱侧后凸畸形 28 例(包括半椎体 19 例、分节不良 9 例)、胸腰椎陈旧性骨折伴后凸畸形 12 例、成人退变性脊柱侧后凸畸形 6 例。截骨部位:T11 2 例、T12 7 例、L1 19 例、L2 15 例、L3 3 例。最上端固定椎(upper instrumented vertebra,UIV)位置:T4 1 例、T6 1 例、T7 2 例、T8 2 例、T9 3 例、T10 11 例、T11 13 例、T12 9 例、L1 3 例、L2 1 例。

1.2 手术方法

全麻后患者取俯卧位,行后正中纵行切口,根据术前制定的内固定范围充分暴露需要融合的节段并置入椎弓根螺钉。切除截骨椎的棘突、椎板等

后份结构及双侧横突/肋骨头,采用单侧临时棒固定,逐步切除椎体上半段及上终板,刮除椎体上方椎间盘,同理切除对侧上半椎体及椎间盘后闭合截骨面,用长棒替换临时棒后将整个内固定区固定。部分术后断棒风险较高患者应用卫星棒技术加强内固定强度。使用自体骨和异体骨混合物进行植骨,放置引流后逐层关闭切口;植骨面闭合不全者则进行间隙内植骨或置入椎间融合器、钛网等。术中注意保护近端棘间韧带、棘上韧带及关节囊等结构。手术全程均在运动诱发电位和体感诱发电位监测下完成。

1.3 影像学测量指标

各影像学参数均通过 Surgimap 软件(版本号:1.1.2.293)在站立位全脊柱正侧位 X 线片上测量。(1)胸椎后凸角(thoracic kyphosis,TK):T5 椎体上终板与 T12 椎体下终板间的夹角;(2)腰椎前凸角(lumbar lordosis,LL):L1 椎体上终板与 S1 上终板间的夹角;(3)矢状面平衡(sagittal vertical axis,SVA):C7 铅垂线与骶骨后上角之间的水平距离,正值代表 C7 铅垂线落在骶骨后上角前方,负值代表 C7 铅垂线落在骶骨后上角后方;(4)局部后凸角(segmental kyphosis,SK):矢状面最大 Cobb 角;(5)冠状面主弯 Cobb 角(main curve,MC):冠状面主弯上、下端椎间的侧凸角度;(6)骨盆入射角(pelvic incidence,PI):股骨头中心和 S1 上终板中点的连线与 S1 上终板垂线间的夹角;(7)近端交界角(proximal junctional angle,PJA):最上端固定椎(upper instrumented vertebra,UIV)的下终板与 UIV+2 的上终板之间的夹角。所有参数均由 2 名脊柱外科医师独立完成后取平均值。

置钉密度定义为[置入椎弓根螺钉数目/(固定节段数×2)]×100%^[12]。采用双能 X 线骨密度检查仪测量患者的 L2~L4 前后位骨密度。PJK 的

生定义为同时满足以下标准:(1)PJA≥10°;(2)与术前测量相比,PJA 增加≥10°^[13]。以 Yagi 等^[14]分类标准为依据将 PJK 分为 3 种类型:(1)Ⅰ型,后方韧带破坏,其作为一种排除性诊断,当 PJK 患者未见近端椎体楔形变或骨折、内固定拔出或失败时定义为Ⅰ型;(2)Ⅱ型,近端交界区椎体发生楔形变或骨折;(3)Ⅲ型,内固定拔出或失败。

1.4 危险因素预测

本研究纳入 PJK 发生的潜在危险因素包括:(1)患者因素,性别、手术时年龄、体重指数;(2)手术因素,融合节段、UIV 位置、置钉密度;(3)影像学指标,PJA、TK、MC、LL、PI、SVA 和 SK 矫正^[15,16]。

1.5 统计学方法

应用 SPSS 20.0 软件(IBM,美国)进行统计分析。根据患者术后是否发生 PJK 将其分为 PJK 组和非 PJK 组,采用独立样本 *t* 检验比较 PJK 组和非 PJK 组之间的差异;采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验比较分析各变量在两组患者之间的分布;使用单因素分析探究发生 PJK 的可能危险因素,将其带入 Logistic 模型进行多因素回归分析,最终确定发生 PJK 的相关危险因素。数据均以平均值±标准差表示, $P<0.05$ 为有统计学差异。

2 结果

2.1 一般情况及 PJK 分型

两组患者的性别、年龄、随访时间、体重指数、融合节段、骨密度及置钉密度见表 1,两组间比较均无统计学差异($P>0.05$)。

11 例(23.9%)患者发生 PJK,其中 5 例(45.5%)患者在术后 3 个月随访时发现 PJK,3 例(27.3%)患者在术后 6 个月随访时发现 PJK,2 例(18.2%)患者在术后 12 个月、1 例(9.1%)在术后 18 个月发现。发生 PJK 患者中,UIV 位置为 T7 1

表 1 PJK 组和非 PJK 组患者一般资料的比较

Table 1 Comparison of general data between PJK and non-PJK group

	性别(男/女,例) Gender (M/F, n)	年龄(岁) Age(years)	随访时间(月) Follow up (months)	体重指数 BMI (kg/m ²)	融合节段 Fusion segment	骨密度 BMD(g/cm ²)	置钉密度 Implant density (%)
PJK 组 PJK group	6/5	24.9±21.7	35.3±13.3	17.6±3.1	6.0±1.5	0.42±0.22	83.7±6.5
非 PJK 组 Non-PJK group	18/17	22.6±19.9	41.9±13.5	17.0±2.5	6.2±3.4	0.39±0.24	81.0±12.1
统计值 Statistics	$\chi^2=0.032$	$t=0.327$	$t=1.420$	$t=0.655$	$t=0.188$	$t=0.368$	$t=0.705$
<i>P</i> 值 <i>P</i> value	0.858	0.745	0.163	0.516	0.852	0.714	0.484

例、T9 1 例、T10 2 例、T11 3 例、T12 4 例, PJK 发生率较高区域为 T10~T12。11 例 PJK 患者中 I 型 8 例 (72.7%)、II 型 1 例 (9.1%)、III 型 2 例 (18.2%)。PJK 组患者术前 PJA 为 $7.5^{\circ} \pm 3.0^{\circ}$, 术后 3 个月时为 $20.8^{\circ} \pm 4.1^{\circ}$, 末次随访时为 $22.0^{\circ} \pm 4.5^{\circ}$ (表 2), 保守治疗至末次随访时后凸未见明显进行性加重(图 1), 且至末次随访时无患者接受翻修手术。

2.2 PJK 和非 PJK 组影像学参数的比较

对比分析两组患者影像学参数发现, PJK 组患者术前 TK 和 SK 均高于非 PJK 组 ($P < 0.05$), 而两组患者术前 PJA、LL、MC、PI 和 SVA 均无统计学差异 ($P > 0.05$); 两组患者术后及末次随访时的 TK、LL、MC、SK、PI 和 SVA 亦均无统计学差异 ($P >$

0.05, 表 3)。

2.3 PJK 发生的危险因素分析

χ^2 检验示 PJK 组术前 TK $> 40^{\circ}$ 和 SK 矫正 $> 30^{\circ}$ 的患者比例均明显高于非 PJK 组 ($P < 0.05$), 而两

表 2 11 例患者的 PJK 分型及 PJA 进展情况 ($^{\circ}$)

Table 2 Classification of PJK of 11 cases and progress of PJA

	I 型 (n=8) Type I	II 型 (n=1) Type II	III 型 (n=2) Type III
术前 Pre-operation	7.5 ± 2.0	8	7.3 ± 1.3
术后 3 个月 3 months follow up	20.4 ± 4.5	26	19.9 ± 2.0
末次随访 Final follow up	22.7 ± 4.2	24	18.1 ± 1.9

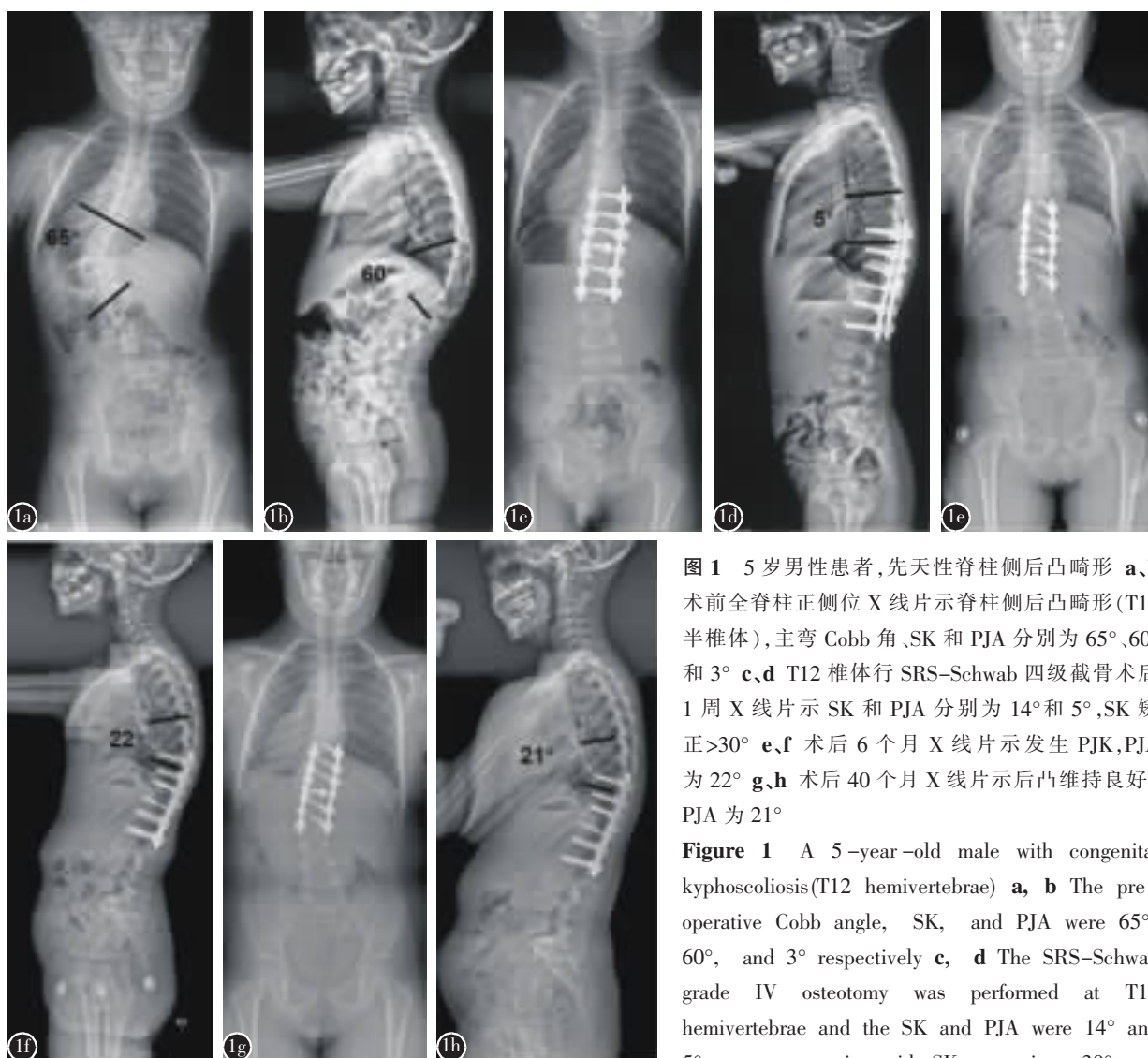


图 1 5 岁男性患者, 先天性脊柱侧后凸畸形 a、b 术前全脊柱正侧位 X 线片示脊柱侧后凸畸形(T12 半椎体), 主弯 Cobb 角、SK 和 PJA 分别为 65° 、 60° 和 3° c、d T12 椎体行 SRS-Schwab 四级截骨术后 1 周 X 线片示 SK 和 PJA 分别为 14° 和 5° , SK 矫正 $> 30^{\circ}$ e、f 术后 6 个月 X 线片示发生 PJK, PJA 为 22° g、h 术后 40 个月 X 线片示后凸维持良好, PJA 为 21°

Figure 1 A 5-year-old male with congenital kyphoscoliosis(T12 hemivertebrae) a, b The pre-operative Cobb angle, SK, and PJA were 65° , 60° , and 3° respectively c, d The SRS-Schwab grade IV osteotomy was performed at T12 hemivertebrae and the SK and PJA were 14° and 5° at post-operation with SK correction $> 30^{\circ}$ e, f

The X-ray showed PJK and the PJA was 22° at 6 months follow up g, h PJA was 21° at 40 months follow up

表 3 PJK 组和非 PJK 组患者术前、术后 3 个月和末次随访时的影像学参数比较

Table 3 Comparison of radiology parameters between PJK group and non-PJK group at pre-operation, 3 months post-operation and at the last follow-up

	PJK 组 PJK group			非 PJK 组 Non-PJK group		
	术前 Pre-operation	术后 3 个月 3 months follow up	末次随访 Final follow up	术前 Pre-operation	术后 3 个月 3 months follow up	末次随访 Final follow up
近端交界角(°)PJA	7.5±3.0	20.8±4.1	22.0±4.5	8.0±3.4	9.2±3.8	9.9±3.0
主弯 Cobb 角(°) Cobb angle(MC)	28.7±16.0	15.2±9.9	16.7±10.1	27.2±22.6	14.8±8.7	15.4±9.2
胸椎后凸角(°)TK	42.4±14.9 ^①	22.3±15.1	24.7±16.9	30.7±13.5	23.1±13.2	25.1±14.7
腰椎前凸角(°)LL	29.0±17.0	31.9±18.1	30.5±19.0	33.2±17.6	33.8±17.9	34.1±18.5
局部后凸角(°)SK	54.5±19.0 ^①	21.5±10.2	22.9±9.7	31.9±21.8	19.8±9.6	20.1±10.1
骨盆入射角(°)PI	40.6±10.4	41.4±11.2	40.9±10.9	40.7±12.7	42.0±13.1	41.8±13.2
矢状面平衡(mm) SVA	12.2±27.9	-3.7±22.5	5.3±25.3	15.9±21.0	2.8±18.9	8.7±20.6

注:①与非 PJK 组比较 $P<0.05$ Note: ①Compared with non-PJK group, $P<0.05$

组患者手术时年龄、术前 PJA、UIV 位置、融合节段和 SVA 改变均无统计学差异 ($P>0.05$) (表 4)。Logistic 回归分析结果表明 SK 矫正 $>30^\circ$ (OR=7.000, 95%CI=1.591-30.800, $P=0.010$) 是 PJK 发生的独立危险因素。

3 讨论

3.1 SRS-Schwab 四级截骨术后 PJK 的发生率

脊柱侧后凸/后凸畸形 SRS-Schwab 四级截骨术后常见的并发症包括感染、假关节形成及内固定失败等,而 PJK 往往容易被忽略。本研究结果显示,在术后平均 36.9 个月的随访过程中,SRS-Schwab 四级截骨术后 PJK 的发生率为 23.9% (11/46)。

PJK 作为一种邻近节段疾病的特定影像学表现,由于病因学、病例数、随访时间、内固定及手术方案等差异,文献报道中 PJK 的发生率各不相同。Yagi 等^[14]对 76 例接受矫形手术的特发性脊柱侧凸患者进行平均 7.3 年的长期随访,发现此组患者术后 PJK 的发生率为 26% (17/76)。Kim 等^[17]对 161 例接受矫形手术的成人脊柱畸形患者进行长达平均 7.8 年的观察,发现 PJK 的发生率约为 39% (62/161)。相较于上述研究,本研究的 PJK 发生率略低,可能的原因是入组患者随访时间相对较短且术中对后方韧带的保护相对较好。另外,入选的部分患者术中应用了截骨区卫星棒技术,其可在截骨区至非固定区间形成负荷过渡区并有效

表 4 PJK 组和非 PJK 组等级计数化资料(例)比较

Table 4 Comparison of grade counting data (cases) between PJK and non-PJK groups

	PJK 组 (n=11) PJK group	非 PJK 组 (n=35) Non-PJK group	χ^2 值 χ^2 value	P 值 P value
年龄 Age (Years)			0.007	0.933
≤10	3	10		
>10	8	25		
术前 PJA Pre-operative PJA			0.792	0.374
≤10°	7	27		
>10°	4	8		
术前 TK Pre-operative TK			3.970	0.046
≤40°	5	27		
>40°	6	8		
SK 矫正 SK correction			7.527	0.006
≤30°	4	28		
>30°	7	7		
UIV 位置 UIV			0.724	0.395
非 T10~12 Non T10-T12	2	11		
T10~12	9	24		
融合节段 Fusion segment			1.359	0.244
≤4	1	9		
>4	10	26		
SVA 改变 SVA changes			0.726	0.394
≤50mm	5	11		
>50mm	6	24		

分散近端交界区应力,从而显著减低 PJK 发生的风险^[18]。Zhu 等^[18]对接受 Ponte 截骨术的 44 例脊柱畸形患者进行平均 2.6 年的观察发现,卫星棒组患者在末次随访时 PJK 发生率显著低于常规手术组(4.5% vs 31.8%),他们认为得益于卫星棒技术高稳定性和应力分散的生物力学优势,该技术可有效预防 PJK 和内固定相关并发症。

3.2 PJK 的危险因素

本组患者中最常见的 PJK 类型是 I 型且多发生在术后早期,72.7%(8/11)的患者 PJK 发生在术后 6 个月内,这可能与术中近端邻近软组织的破坏有关。Cammarata 等^[19]的生物力学实验表明脊柱后路矫形术中切除关节突关节、棘上韧带和棘间韧带等将显著降低后方张力带张力,近端交界区屈曲应力和 PJA 可分别增加 83%和 53%,显著增加了术后早期 PJK 的发生率。Reames 等^[20]对术后发生 PJK 的 32 例脊柱畸形患者进行平均 34 个月的随访后发现,术后中远期 PJK 的发生主要与椎间盘和肌肉退变及近端交界区椎体骨质疏松等有关,且主要见于老年患者,这与本研究结果类似。本组术后发生 PJK 的 11 例患者中,8 例 I 型 PJK 均发生在 6 个月内,余下 3 例患者均发生在术后 12~18 个月且均为胸腰椎陈旧性骨折伴后凸畸形的老年患者。因此,为预防术后 PJK 的发生,术中应特别注意保护融合节段两端棘间韧带、棘上韧带及关节囊等结构^[21]。

本研究结果显示,局部后凸畸形矫正 $>30^\circ$ 是 SRS-Schwab 四级截骨术后发生 PJK 的独立危险因素。赵清华等^[22]对 31 例胸腰椎陈旧性骨折伴后凸畸形行 SRS-Schwab 四级截骨矫形术后发现 SK 由 36.4° 改善至 5.6° ,其矫形效果与本研究结果类似。严重脊柱侧后凸畸形患者矫形术中常强调重建脊柱正常矢状面序列,术中往往加强对内固定近端加压,然而其对交界区的影响是导致 PJK 的重要危险因素之一^[23]。此外,后凸畸形矫正的同时往往会对脊柱的整体矢状面平衡及生物力学环境产生一定影响,融合节段活动度的丢失主要由近端交界区弥补,这将显著增加近端交界区的应力^[19]。Lee 等^[24]的研究亦表明,脊柱矫形术会影响脊柱矢状面平衡,且术后早期近端交界区后凸角度是躯干适应新平衡的重要代偿机制。后方张力带的破坏、近端交界区的应力集中及脊柱矢状面平衡代偿性改变等共同作用是导致 PJK 发

生的重要机制。

综上所述,SRS-Schwab 四级截骨术治疗脊柱侧后凸/后凸畸形术后 PJK 发生可能主要集中在术后 6 个月内,发生率约为 23.9%,后凸畸形过度矫正是其独立危险因素。但本研究纳入的样本量较小,可能对结果产生较大偏倚;另一方面 PJK 的发生发展是一个动态变化过程,2 年随访并不能完全准确反映其在 SRS-Schwab 四级截骨术后的发生率。此外,本研究发生 PJK 的人数较少,未能针对不同分型的 PJK 单独进行危险因素分析。因此,仍需多中心的长期随访研究。

4 参考文献

1. Schwab F, Blondel B, Chay E, et al. The comprehensive anatomical spinal osteotomy classification [J]. *Neurosurgery*, 2014, 74(1): 112-120.
2. Hu W, Wang B, Run H, et al. Pedicle subtraction osteotomy and disc resection with cage placement in post-traumatic thoracolumbar kyphosis, a retrospective study[J]. *J Orthop Surg Res*, 2016, 11(1): 112.
3. Gao R, Wu J, Yuan W, et al. Modified partial pedicle subtraction osteotomy for the correction of post-traumatic thoracolumbar kyphosis[J]. *Spine J*, 2015, 15(9): 2009-2015.
4. Shi B, Zhao Q, Xu L, et al. SRS-Schwab grade 4 osteotomy for congenital thoracolumbar kyphosis: a minimum of 2 years follow-up study[J]. *Spine J*, 2018, 18(11): 2059-2064.
5. Hart RA, McCarthy I, Ames CP, et al. Proximal junctional kyphosis and proximal junctional failure[J]. *Neurosurg Clin N Am*, 2013, 24(2): 213-218.
6. Arlet V, Aebi M. Junctional spinal disorders in operated adult spinal deformities; present understanding and future perspectives[J]. *Eur Spine J*, 2013, 22(Suppl 2): S276-S295.
7. Watanabe K, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Proximal junctional vertebral fracture in adults after spinal deformity surgery using pedicle screw constructs: analysis of morphological features[J]. *Spine*, 2010, 35(2): 138-145.
8. Yang SH, Chen PQ. Proximal kyphosis after short posterior fusion for thoracolumbar scoliosis [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2003, (411): 152-158.
9. Kim HJ, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Patients with proximal junctional kyphosis requiring revision surgery have higher postoperative lumbar lordosis and larger sagittal balance corrections[J]. *Spine*, 2014, 39(9): E576-580.
10. Maruo K, Ha Y, Inoue S, et al. Predictive factors for proximal junctional kyphosis in long fusions to the sacrum in adult spinal deformity[J]. *Spine*, 2013, 38(23): E1469-1476.
11. Lee JH, Kim JU, Jang JS, et al. Analysis of the incidence and risk factors for the progression of proximal junctional kyphosis following surgical treatment for lumbar degenerative

- kyphosis: minimum 2-year follow-up [J]. *Br J Neurosurg*, 2014, 28(2): 252–258.
12. 刘辉, 郑召民, 王建儒, 等. 矫形棒刚度与置钉密度对 Lenke 1 型特发性脊柱侧凸矫正率的影响[J]. *中华骨科杂志*, 2013, 33(12): 1169–1175.
13. 陈其昕, 沈建雄, 海涌, 等. 如何看待成人脊柱畸形术后的近端交界区后凸问题[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2014, 24(8): 680–682.
14. Yagi M, King AB, Boachie-Adjei O. Incidence, risk factors, and natural course of proximal junctional kyphosis: surgical outcomes review of adult idiopathic scoliosis. Minimum 5 years of follow-up[J]. *Spine*, 2012, 37(17): 1479–1489.
15. Chen X, Chen ZH, Qiu Y, et al. Proximal junctional kyphosis after posterior spinal instrumentation and fusion in young children with congenital scoliosis: a preliminary report on its incidence and risk factors[J]. *Spine*, 2017, 42(20): E1197–E1203.
16. 孙旭, 陈曦, 陈忠辉, 等. 低龄先天性脊柱畸形儿童半椎体切除术后近端交界性后凸的临床分析 [J]. *中华外科杂志*, 2017, 55(3): 192–197.
17. Kim YJ, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Proximal junctional kyphosis in adult spinal deformity after segmental posterior spinal instrumentation and fusion: minimum five-year follow-up[J]. *Spine*, 2008, 33(20): 2179–2184.
18. Zhu ZZ, Chen X, Qiu Y, et al. Adding satellite rods to standard two-rod construct with the use of duet screws: an effective technique to improve surgical outcomes and preventing proximal junctional kyphosis in posterior-only correction of Scheuermann kyphosis[J]. *Spine*, 2018, 43(13): E758–E765.
19. Cammarata M, Aubin CÉ, Wang X, et al. Biomechanical risk factors for proximal junctional kyphosis: a detailed numerical analysis of surgical instrumentation variables [J]. *Spine*, 2014, 39(8): E500–507.
20. Reames DL, Kasliwal MK, Smith JS, et al. Time to development, clinical and radiographic characteristics, and management of proximal junctional kyphosis following adult thoracolumbar instrumented fusion for spinal deformity[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2015, 28(2): E106–114.
21. Wang J, Zhao Y, Shen B, et al. Risk factor analysis of proximal junctional kyphosis after posterior fusion in patients with idiopathic scoliosis[J]. *Injury*, 2010, 41(4): 415–420.
22. 赵清华, 朱泽章, 孙旭, 等. 胸腰椎陈旧性骨折伴后凸畸形成人脊柱侧凸委员会 Schwab IV 级截骨矫形的疗效评估 [J]. *中华医学杂志*, 2018, 98(19): 1474–1478.
23. Rhee JM, Bridwell KH, Won DS, et al. Sagittal plane analysis of adolescent idiopathic scoliosis: the effect of anterior versus posterior instrumentation [J]. *Spine*, 2002, 27(21): 2350–2356.
24. Lee GA, Betz RR, Rd CD, et al. Proximal kyphosis after posterior spinal fusion in patients with idiopathic scoliosis[J]. *Spine*, 1999, 24(8): 795–799.
- (收稿日期:2021-03-01 末次修回日期:2021-06-06)
- (英文编审 谭 啸)
- (本文编辑 李伟霞)