

## 临床论著

## 成人退行性脊柱侧凸后路长节段腰椎体间融合术后发生近端交界性后凸的危险因素

张希诺, 海涌, 关立, 孙祥耀, 刘玉增, 刘铁, 王云生, 韩超凡

(首都医科大学附属北京朝阳医院骨科 100020 北京市)

**【摘要】目的:**分析成人退行性脊柱侧凸(ADS)经长节段后路腰椎体间融合术(PLIF)后近端交界性后凸(PJK)的发生率和相关危险因素。**方法:**回顾性分析 2013 年 6 月~2016 年 1 月在我院行长节段 PLIF 治疗的 144 例 ADS 患者,术后 43 例发生 PJK(PJK 组),无 PJK 组 101 例。收集两组患者基本资料和临床功能评分,包括年龄、性别、随访时间、体重指数(BMI),术前合并贫血、糖尿病、高血压病和心脏病情况,吸烟情况,既往手术史,住院时间,术前与末次随访时的 Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)、JOA 评分、VAS 评分和末次随访时的腰椎僵硬性残疾指数(lumbar stiffness disability index, LSDI)评分;与手术相关的参数,包括术中出血量、手术用时、融合节段、减压节段、骶骨融合、后方韧带复合体(PLC)损伤、截骨术、螺钉松动、断棒、脑脊液漏、假关节形成、再手术、术前与末次随访 Cobb 角、术前骨盆入射角(PI)-腰椎前凸角(LL)、末次随访时的 PI-LL、术前与末次随访时的矢状面垂直轴(SVA)。对比两组术后即刻影像学参数,包括骨盆倾斜角(PT)、PI-骶骨倾斜角(SS)、LL、PI-LL、胸椎后凸角(TK)、LL-TK、实际腰椎前凸角(RLL)、实际胸椎后凸角(RTK)、实际腰椎前凸角与实际胸椎后凸角匹配值(RLL-RTK)、上端椎坡度(UIVs)、上端椎倾斜角(UIVi)、SVA、UIV 与 C7 垂线距离(UIVa)与 UIV 上终板前缘与椎体后缘垂线距离(UIVb)的比值(UIVa/b)。组间连续变量比较采用 One-Way ANOVA 检验,然后再用 SNK 法进行多重检验;分类变量采用  $\chi^2$  检验,而非连续数据的统计学显著性通过 Pearson 卡方检验进行比较。以可疑危险因素为自变量,以是否出现 PJK 作为因变量对其进行单因素分析,然后将有统计学意义的自变量代入 Logistics 模型进行多因素回归分析,最终确定 PJK 相关危险因素。Pearson 相关检验( $r$ )用于评估骨盆与脊柱参数的相关性。**结果:**患者一般资料中,性别、BMI、糖尿病、吸烟、末次随访 ODI 和 LSDI 评分两组间差异有统计学意义( $P<0.05$ )。在手术相关参数中,术中出血量、融合节段数、减压节段数、骶骨融合、PLC 损伤、再手术率、术前 PI-LL、末次随访 PI-LL 和末次随访 SVA 两组比较有统计学差异( $P<0.05$ )。术后即刻影像学参数中,PT、SS、LL、PI-LL、LL-TK、RLL、RLL-RTK、UIVs、UIVi 和 UIVa/b 两组比较有统计学差异( $P<0.05$ )。将组间比较结果有统计学差异的参数进行单因素分析后有意义的参数包括性别、BMI、糖尿病、吸烟、LL-TK、UIVs、UIVa/b、PI-LL、骶骨融合和 PLC 损伤。再经多因素 Logistics 回归分析,结果显示 ADS 术后发生 PJK 的独立危险因素包括 BMI(OR 1.6,  $P=0.000$ )、吸烟(OR 3.1,  $P=0.016$ )、UIVs(OR 2.0,  $P=0.015$ )和 PI-LL(OR 1.2,  $P=0.015$ )。在脊柱骨盆参数 Pearson 相关系数分析中发现, SVA 与 UIVa/b、UIVs 和 UIVi 之间存在较高的相关性( $r=-0.93, P<0.001$ )、( $r=-0.66, P<0.001$ )和( $r=-0.68, P<0.001$ ); UIVa/b 与 UIVs 及 UIVi 之间存在较高的相关性( $r=-0.63, P<0.001$ )和( $r=-0.68, P<0.001$ )。**结论:**接受长节段 PLIF 的 ADS 患者术后发生 PJK 的独立危险因素为 BMI、吸烟、UIVs 和 PI-LL。UIVa/b 可以反映 SVA 情况和 UIV 倾斜情况,可作为发生 PJK 的预测因子。

**【关键词】**成人退行性脊柱侧凸;后路腰椎体间融合术;近端交界性后凸;危险因素

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2019.06.06

中图分类号:R682.3, R687.3 文献标识码 A 文章编号:1004-406X(2019)-06-0514-10

**Risk factors for proximal kyphosis after long segmental posterior lumbar interbody fusion of adult degenerative scoliosis/ZHANG Xinuo, HAI Yong, Guan Li, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2019, 29(6): 514-523**

**【Abstract】 Objectives:** To analyze the incidence of PJK and related risk factors after posterior lumbar

第一作者简介:男(1986-),医学博士,研究方向:脊柱畸形

电话:(010)85231471 E-mail:coolmanchina@163.com

通讯作者:海涌 E-mail:spinesurgeon@163.com

interbody fusion(PLIF) in adult degenerative scoliosis. **Methods:** A retrospective analysis was performed on 144 patients with adult degenerative lumbar scoliosis treated with long segmental PLIF from June 2013 to January 2016. There were PJK group with 43 cases and non-PJK group with 101 cases. Collected patient basic data and clinical function scores included age, gender, follow-up time, BMI, preoperative anemia, diabetes, hypertension history, smoking status, heart disease complications, previous surgical history, hospital stay, preoperative Oswestry disability index(ODI), last follow-up ODI, preoperative JOA score, last follow-up JOA score, preoperative VAS score, last follow-up VAS score and last follow-up lumbar stiffness disability index(LSDI) score. Surgery related parameters included intraoperative bleeding, surgical time, fusion segments, decompression segments, fusion to sacrum, posterior ligament complex(PLC), osteotomy, screw loosening, broken rod, cerebrospinal fluid leakage, pseudarthrosis, reoperation, preoperative Cobb angle, last follow-up Cobb angle, preoperative pelvic incidence minus lumbar lordosis mismatch(PI-LL), last follow-up PI-LL, preoperative sagittal vertical axis (SVA) and last follow-up SVA. The immediate imaging parameters of the two groups included pelvic tilt(PT), PI, sacral slope(SS), LL, PI-LL, thoracic kyphosis(TK), lumbar lordosis minus thoracic kyphosis mismatch(LL-TK), real lumbar lordosis(RLL), real thoracic kyphosis(RTK), real lumbar lordosis minus real thoracic kyphosis mismatch(RLL-RTK), upper instrumented vertebra slope(UIVs), UIV tilt angle(UIVi), SVA and C7 perpendicular distance to UIV upper end plate anterior point divided by posterior distance to UIV upper end plate anterior point (UIVa/b). The Pearson correlation test ( $r$ ) was used to assess different correlations among PI, PT, SS, LL, TK, LL-TK, RLL-RTK, SVA, UIVs, UIVi and UIVa/b immediately after surgery. **Results:** There were significant differences in gender, BMI, diabetes, smoking, ODI and LSDI score between the two groups( $P<0.05$ ). In the operation-related parameters, intraoperative blood lost, fusion segments decompression segments, S1 fusion, PLC, reoperation, preoperative PI-LL, last follow-up PI-LL and last follow-up SVA were statistically different. PT, PI-LL and UIVa/b values immediately after surgery were significantly higher in the non-PJK group( $P<0.05$ ); but SS, LL, LL-TK, RLL, RLL-RTK, UIVs and UIVi immediately after surgery were significantly higher in PJK group ( $P<0.05$ ). The multivariate Logistic regression model showed perioperative independent risk factors for PJK after long-segment PLIF in adult spinal deformity surgery including: BMI(OR 1.6,  $P=0.000$ ), smoking(OR 3.1,  $P=0.016$ ), and UIV slope(OR=2.0,  $P=0.015$ ) and PI-LL (OR=1.2,  $P=0.015$ ). There was a high correlation between SVA and UIVa/b, UIV slope and UIV tilt ( $r=-0.93$ ;  $P<0.001$ ), ( $r=-0.66$ ;  $P<0.001$ ) and ( $r=-0.68$ ;  $P<0.001$ ). There was a high correlation between UIVa/b and UIV slope and UIV tilt( $r=-0.63$ ;  $P<0.001$ ) and( $r=-0.68$ ;  $P<0.001$ ). **Conclusions:** In this study, the independent risk factors for PJK after posterior lumbar interbody fusion with adult degenerative scoliosis were analyzed by multivariate logistic regression, smoking, UIV slope and PI-LL. UIVa/b can reflect the SVA situation and UIV tilt, which can be used as a predictor of PJK.

**【Key words】** Adult degenerative scoliosis; Posterior lumbar interbody fusion; Proximal junctional kyphosis; Risk factor

**【Author's address】** Department of Orthopedics, Beijing Chao-Yang Hospital, Capital Medical University, 100020, China

随着人口老龄化,成人退行性脊柱侧凸(adult degenerative scoliosis, ADS)越来越多地困扰着人们,给患者带来了生活和经济负担。国外研究报道 ADS 的发生率在 1.4%~32%<sup>[1]</sup>。Schwab 的一项研究发现,随着年龄的增长,在 60 岁以上的无症状个体中 ADS 的发生率高达 68%。而这是由于椎间盘伴随着年龄的增长而退化,最终由于失去了维持脊椎正常序列的能力导致侧凸进一步加重<sup>[2]</sup>。通常,成人脊柱畸形会导致生活质量较差,特别是当存在冠状和矢状失平衡时<sup>[3]</sup>。ADS 有较高的翻

修率(术后 10 年时高达 20%)和逐步增加的死亡率<sup>[4]</sup>。1994 年 Lowe 和 Kasten<sup>[5]</sup>首次将近端交界性后凸(proximal junctional kyphosis, PJK)作为休门氏病(Scheuermann)后凸畸形手术并发症来描述。目前,最常用的定义在 2005 年由 Glattes 等<sup>[6]</sup>描述, PJK 角被定义为上端固定椎体的下终板和与上 2 个相邻椎体的上终板之间的角度;当 PJK 角度大于 10°并且比其术前值至少大 10°时则被认为存在 PJK<sup>[7]</sup>。尽管骨盆与脊柱参数中的每一个正常范围的绝对值可在很大的范围内变化,但这些

参数彼此相关以维持相对健康的脊柱序列<sup>[8]</sup>。目前的文献尚无将固定节段以上躯干矢状位平衡作为 PJK 发病因素来研究。本研究回顾性分析我院 2013 年 6 月~2016 年 1 月行后路腰椎长节段融合内固定治疗的 ADS 患者。重点针对术后 PJK 并发症进行相关危险因素分析,旨在了解术后 PJK 并发症的发生率,筛选术后 PJK 并发症的相关危险因素。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

病例纳入标准:(1)诊断为成人脊柱畸形;(2)年龄>45 岁;(3)影像学检查冠状腰椎 Cobb 角 $\geq 10^\circ$ ;(4)后路腰椎融合内固定 (posterior lumbar interbody fusion, PLIF)>3 个运动节段,下端融合至 L5 或 S1;(5)术后随访时间 $\geq 2$  年;(6)有完整的术前和术后影像学资料;(7)有生活质量与功能评估结果。排除标准:(1)腰椎有既往手术史;(2)其他类型的脊柱侧凸(如青少年特发性脊柱侧凸,强直性脊柱炎和脊柱结核);(3)有严重脊髓损伤史;(4)脊柱肿瘤;(5)骨质疏松患者。

根据上述纳入、排除标准,共入选 ADS 患者 144 例,分为术后 PJK 组和无 PJK 组。PJK 通常定义为术后近端交界区矢状面 Cobb 角 $>10^\circ$ 或较术前增加  $10^\circ$ 。

### 1.2 观察指标

**1.2.1 患者及手术基本情况** 患者年龄、性别、随访时间、体重指数 (body mass index, BMI), 术前合并贫血、糖尿病、高血压病和心脏病情况以及吸烟情况,手术融合固定椎体节段数、椎板减压节段数、手术时间(切开皮肤至切口缝合结束)、术中出血量、术中和术后输血情况、截骨、骶骨融合情况、后方韧带复合体 (posterior ligamentous complex, PLC) 损伤和术后住院时间。

**1.2.2 影像学测量指标** 在术后即刻的脊柱全长正侧位 X 线片上测量上端椎 (upper instrumented vertebra, UIV) 相关参数 (图 1): PJK 角度、矢状面垂直轴 (sagittal vertical axis, SVA)、UIV 坡度 (UIV slope, UIVs) 和 IUIV 倾斜度 (UIV inclination, UIVi)、UIV 与 C7 垂线距离 (UIVa)、UIV 上终板前缘与椎体后缘垂线距离 (UIVb)、融合腰椎倾斜角 (fused lumbar tilt, FLT)、胸椎后凸角 (TK)、实际胸椎后凸角 (RTK)<sup>[9]</sup>、腰椎前凸角 (LL)、实际

腰椎前凸角 (RLL)<sup>[9]</sup>、胸椎后凸角与腰椎前凸角之差 (LL-TK)、实际胸椎后凸角与实际腰椎前凸角之差 (RLL-RTK)、骶骨倾斜角 (sacral slope, SS)、骨盆倾斜角 (pelvic tilt, PT) 和骨盆入射角 (pelvic incidence, PI)。运用力臂比值计算 UIVa 与 UIVb 的比值 (UIVa/b) 间接评估矢状位上端椎邻近节段应力大小。

测量术前及末次随访时的脊柱骨盆参数 (图 1): (1) 冠状位脊柱侧凸节段 Cobb 角; (2) PI 与 LL 之差 (pelvic incidence minus lumbar lordosis mismatch, PI-LL); (3) SVA。

**1.2.3 内固定相关并发症情况** 收集患者末次随访的脊柱全长正侧位 X 线平片相关影像学信息与临床医疗记录。观察指标: (1) PJK; (2) 椎弓根螺钉松动; (3) 断棒; (4) 假关节形成; (5) 内固定相关再手术; (6) 脑脊液漏。

**1.2.4 临床疗效评估** 收集患者术前以及末次随访时的 Oswestry 功能障碍指数 (Oswestry disability index, ODI)、日本骨科协会 (Japanese Orthopaedic Association, JOA) 评分、疼痛视觉模拟评分 (visual analogue scale, VAS) 和腰椎僵硬性残疾指数 (lumbar stiffness disability index, LSDI) 评分。

### 1.3 统计学分析

所有数据由 SPSS 17.0 统计软件包进行统计分析。连续变量资料为平均值 $\pm$ 标准差 (SD), 而非连续数据以数字或比例表示。组间比较, 连续变量采用 One-Way ANOVA 检验, 然后再用 SNK 法进行多重检验, 分类变量采用  $\chi^2$  检验 (如果频数小于 5 则使用 Fisher 精确检验); 非连续数据通过 Pearson 卡方检验进行比较。将上述所有组间比较有统计学差异的参数作为可疑危险因素为自变量, 以是否出现 PJK 作为因变量对其进行单因素分析, 然后再将有统计学意义的自变量代入 Logistics 模型进行多因素回归分析, 最终确定 PJK 发生的相关危险因素。Pearson 相关检验 ( $r$ ) 用于评估骨盆与脊柱参数的相关性, 如果  $r>0.5$ , 则被认为是临床上较大的静态显著相关性, 如果  $0.3 \leq r \leq 0.5$  则为中等, 如果  $r<0.3$  则为较小的相关性。  $P<0.05$  为有统计学差异。

## 2 结果

纳入研究患者共 144 例, 其中男 76 例

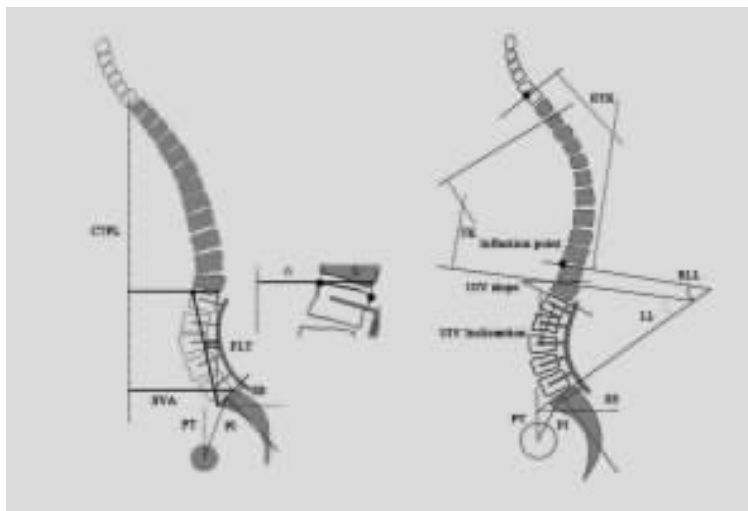


图 1 矢状位脊柱全长参数测量: C7PL, C7 椎体中心的铅垂线; FLT (fusion lumbar tilt), 融合腰椎倾斜角; SVA, 矢状面垂直轴; UIVa (UIV 与 C7 垂线距离), 测量 UIV 上终板前缘点到 C7 垂线的距离; UIVb (UIV 与同一椎体后缘点距离), 测量 UIV 上终板前缘点到同一椎体后缘点之间水平距离; TK, 胸椎后凸角, 采用 Cobb 法测量头侧 T2 椎体上终板到尾侧 T12 椎体下终板的 Cobb 角; RTK, 实际胸椎后凸角, 测量头侧 C7 椎体上终板到胸腰交接区倾斜最大椎体上终板的 Cobb 角; LL, 腰椎前凸角, 腰椎矢状面脊柱序列是采用 Cobb 法测量头侧 T12 椎体上终板到尾侧 S1 椎体终板的 Cobb 角; RLL, 实际腰椎前凸角,

测量头侧胸腰交接区倾斜最大椎体上终板到尾侧 S1 椎体终板的 Cobb 角

**Figure 1** Whole spine lateral radiographs parameter measurement: C7PL, the vertical line of the cervical 7 vertebral body center; FLT, fusion lumbar tilt angle; SVA, sagittal vertical axis; UIVa (UIV and C7 perpendicular distance), measurement of distance from the leading edge point of the end plate of the UIV to the C7 perpendicular line; UIVb (the distance between the UIV and the trailing edge point), measure the horizontal distance between the leading edge point of the end plate of the UIV and the trailing edge point. Thoracic kyphosis (TK), thoracic kyphosis is measured as the Cobb angle formed by the endplate of the T2 vertebral body and the endplate of the T12 vertebral body of the caudal side; the actual thoracic horn (RTK), measuring head the Cobb angle of the maximal vertebral endplate was inclined from the endplate of the lateral C7 vertebral body to the thoracolumbar junction. Lumbar lordosis (LL), the sagittal line of the lumbar spine is the Cobb angle formed by the endplate of the head T12 vertebral body and the caudal S1 vertebral endplate. Actual lumbar lordosis angle (RLL), the Cobb angle of the maxillary vertebral body endplate to the caudal S1 vertebral endplate was measured at the head-to-thoracic junction

(52.8%), 女 56 例 (56.6%), 手术年龄  $61.0 \pm 5.1$  岁 (48~72 岁), 随访时间  $37.6 \pm 8.4$  个月 (23~66 个月), BMI 为  $25.1 \pm 5.0 \text{ kg/m}^2$  ( $13 \sim 43 \text{ kg/m}^2$ )。椎体融合内固定  $4.8 \pm 0.7$  个节段 (4~6 个节段), 下端融合椎选择在骶骨的患者 62 例 (43.1%), 椎板减压  $2.22 \pm 0.81$  个节段 (1~4 个节段), 实施截骨术 44 例 (30.6%)。术中出血量为  $944.7 \pm 684.3 \text{ ml}$  (300~4400ml), 手术时间  $241.8 \pm 55.6 \text{ min}$  (145~410min), 住院天数  $15.2 \pm 2.8 \text{ d}$  (11~26d)。术后发生 PJK (PJK 组) 43 例 (图 2), 无 PJK 组 101 例。

两组患者的术前一般资料和临床功能评分情况见表 1。随访时间、性别、BMI、合并糖尿病和吸烟两组间有统计学差异, 但两组患者的年龄与贫血、高血压病、心脏病合并情况及既往手术史、住院时间均无统计学差异。术前 ODI、JOA 评分、VAS 评分和末次随访时的 JOA 评分、VAS 评分两组比较均无统计学差异, 但 PJK 组末次随访时的 ODI 和 LSDI 评分明显高于无 PJK 组。

两组患者手术相关参数比较结果见表 2。两

组患者手术用时、截骨数、螺钉松动、断棒、脑脊液漏、假关节形成、术前 Cobb 角、末次随访 Cobb 角和术前 SVA 差异无统计学意义, 但两组患者的术中出血量、融合节段数、减压节段数、骶骨融合、PLC 损伤、再手术率、术前 PI-LL、末次随访时的 PI-LL 和末次随访时的 SVA 差异均有统计学意义。

两组术后即刻的影像学参数比较结果见表 3。术后即刻, PJK 组的 PT 和 PI-LL 明显低于无 PJK 组, 但 PJK 组的 SS、LL、LL-TK、RLL-RTK、UIV 坡度、UIV 倾斜度和 RLL 均明显高于无 PJK 组; PJK 组的 PI、TK、RTK 和 SVA 与无 PJK 组比较无统计学差异。

单因素分析结果见表 4。PJK 危险因素包括: 性别、BMI、糖尿病、吸烟、LL-TK、UIV 坡度、UIVa/b、PI-LL、S1 融合及 PLC 损伤。

多因素 Logistics 回归分析结果见表 5。术后导致 PJK 的独立危险因素包括: BMI (OR 1.6,  $P=0.000$ )、吸烟 (OR 3.1,  $P=0.016$ )、UIV 坡度 (OR

2.0,  $P=0.015$ ) 和 PI-LL (OR 1.2,  $P=0.015$ )。

脊柱与骨盆参数之间的相关性分析结果见表 6。SS 与 PI 之间的相关性高 ( $r=0.96, P<0.001$ ), 表示 PI 大小仍然由 S1 的上终板坡度来决定。TK 和 LL 之间也有很高的相关性 ( $r=0.72, P<0.001$ ), 表明术后 LL 的大小影响 TK。TK-LL 与 RTK-RLL 之间存在较高的相关性 ( $r=0.99, P<0.001$ ), 说明根据胸腰节段拐点测量的 RTK-RLL 与定义的 TK-LL 有较高的相似度, 一般情况 TK-LL 可代替 RTK-RLL。TK-LL 和 SVA、UIVa/b、UIV 坡度及 UIV 倾斜度之间存在较高的相关性 (分别为:  $r=-0.85, P<0.001$ ;  $r=-0.78, P<0.001$ ;  $r=0.62, P<0.001$ ;  $r=0.66, P<0.001$ )。SVA 与 UIVa/b、UIV 坡度及 UIV 倾斜度之间有较高的相关性 ( $r=-0.93, P<0.001$ ;  $r=-0.66, P<0.001$ ;  $r=-0.68, P<0.001$ ); UIVa/b 与 UIV 坡度、UIV 倾斜度之间存在较高的相关性 ( $r=-0.63, P<0.001$ ;  $r=0.68, P<0.001$ ); UIV 坡度与 UIV 倾斜度之间存在显著相关性 ( $r=0.84, P<0.01$ )。

### 3 讨论

文献报道成人脊柱畸形术后影像学诊断的 PJK 发生率介于 6%~41%<sup>[10-13]</sup>。Hostin 等<sup>[10]</sup>在 PJK 多中心研究中发现 1218 例患者的发生率为 6%, 这是在所有的文献报道中发病率最低的研究, 但

其 PJK 诊断标准为 Cobb 角变化  $>15^\circ$ 。相反, Kim 等<sup>[11]</sup>在他们的一项长期队列研究中发现 PJK 的发生率为 39%。在 Sebaaly 等<sup>[13]</sup>的文章中 PJK 的发生率达到了 20%~25%, 并认为年龄增加以及 BMI 增加是患者相关的风险因素。此外, 与椎体融合至胸腰椎交界处相比, 延长融合内固定节段增加了 PJK 的发生率, 并且仅当融合的上端椎选择延伸到胸椎时, 下端椎再选择融合到骶骨是 PJK 发生的风险因素<sup>[14]</sup>。大多数 PJK 在术后前 2 个月内可以通过放射学检测到<sup>[7]</sup>, 2/3 的 PJK 是在术后第 3 个月开始出现的, 80% 的 PJK 在术后 6 个月时出现<sup>[11]</sup>。O'Shaughnessy 等<sup>[15]</sup>发现脊柱矫形术后早期在胸椎尤其是上胸椎 PJK 的发生率较低, 分别为 18.4% 和 10%。Kim 等<sup>[16]</sup>认为 PJK 在手术后 8 周内出现; 而 Yagi 等<sup>[17]</sup>报道 66% 的 PJK 在术后 3 个月内出现; Wang 等<sup>[18]</sup>指出 80% 的 PJK 可以在术后 18 个月内被诊断出来。本研究纳入研究患者共 144 例, PJK 发生率为 29.9%。

PJK 是一种进展性疾病, 术后 2 年是 PJK 的高发时间节点<sup>[9]</sup>。关于 PJK 发生的可能的风险因素也存在争议。尽管与其他因素的关联似乎不那么强烈, 但有些风险因素是可以确定的。首先, 高龄与 PJK 的风险增加有关。事实上, Sebaaly 等<sup>[14]</sup>发现 50 岁以上的患者 PJK 的风险增加。更重要的是, Lafage 等<sup>[20]</sup>最近的一项研究发现, PJK 从 40

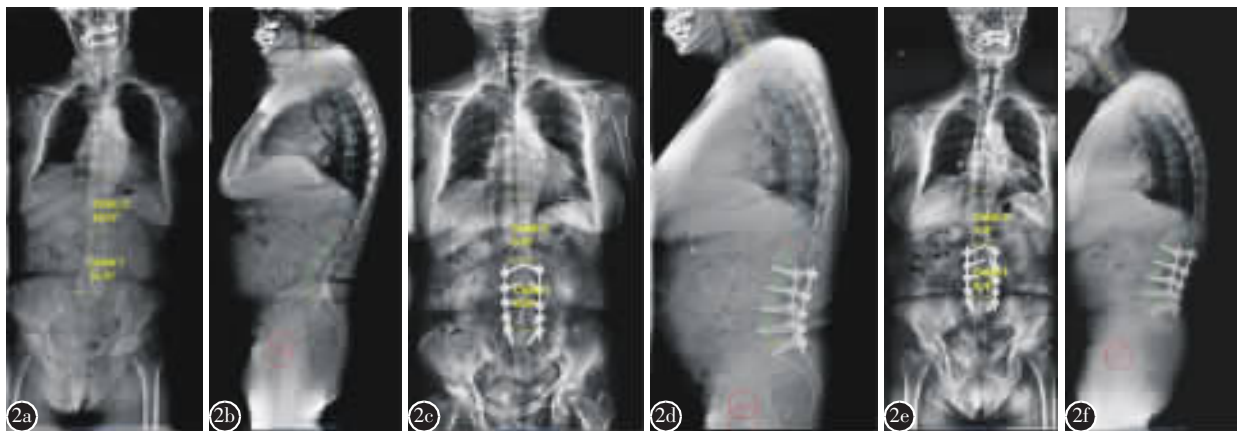


图 2 患者女, 77 岁 a 术前冠状位 X 线片示退行性脊柱侧凸 Cobb 角  $14.5^\circ$  b 术前矢状位 PI-LL  $6^\circ$  c L2-S1 后路腰椎融合内固定术后 2 周冠状位侧凸 Cobb 角  $9.9^\circ$  d 术后 2 周矢状位 PI-LL  $9.8^\circ$  e 术后 2 年冠状位侧凸 Cobb 角  $8.4^\circ$  f 术后 2 年矢状位 PI-LL  $20.2^\circ$ , 有 PJK 发生

Figure 2 Patient female, 77 years old a Preoperative coronal X-ray showed degenerative scoliosis Cobb angle  $14.5^\circ$  b Preoperative sagittal PI-LL  $6^\circ$  c fixed segment L2 to S1, 2 weeks postoperatively coronary coronal Cobb angle  $9.9^\circ$  d 2 weeks postoperative sagittal PI-LL  $9.8^\circ$  e 2 years postoperative coronal Cobb angle  $8.4^\circ$  f 2-year sagittal PI after surgery -LL  $20.2^\circ$ , PJK occurred

表 1 患者一般资料和临床功能评分

**Table 1** Patient data and clinical function scores

变量 Variables	无 PJK 组(n=101) Non-PJK group	PJK组(n=43) PJK group
年龄 Age(y/o)	61.0±5.29	61.0±4.55
性别 Gender(male %)	60(59.4%)	16(37.2%) <sup>①</sup>
体重指数 BMI(kg/m <sup>2</sup> )	23.7±3.3	28.5±6.6 <sup>①</sup>
贫血 Anemia(n)	16(11.1%)	12(11.9%)
高血压 Hypertension(n)	29(28.7%)	12(27.9%)
糖尿病 Diabetes(n)	18(17.8%)	15(34.9%) <sup>①</sup>
吸烟 Smoking(n)	22(21.8%)	18(41.9%) <sup>①</sup>
心脏病 Heart disease(n)	17(16.8%)	9(20.9%)
手术史 Surgery history(n)	19(18.8%)	12(27.9%)
住院时间 LOS(d)	15.3±2.7	15.0±3.0
随访时间 Follow-up(m)	36.67±8.19	39.72±8.60
术前 ODI(%) Preoperative ODI	62.4±2.6	64.0±2.5
末次随访 ODI(%) ODI at last follow-up	25.1±8.8	28.5±6.6 <sup>①</sup>
术前 JOA 评分 Preoperative JOA	5.4±1.3	5.8±1.1
末次随访 JOA 评分 JOA at last follow-up	2.8±1.5	3.0±1.4
术前 VAS 评分 Preoperative VAS	6.7±1.3	7.2±1.3
末次随访 VAS 评分 VAS at last follow-up	2.9±1.0	3.2±1.1
末次随访 LSDI 评分 LSDI at last follow-up	2.0±1.3	2.2±1.7 <sup>①</sup>

注: BMI, 身高体重指数; ①与无 PJK 组比较  $P < 0.05$

Note: BMI, Body Mass Index; ①Compared with non-PJK group  $P < 0.05$

岁前的 <15% 增加到 65 岁后的 >55%。此外, 高龄还被认为是 PJK 翻修手术的危险因素<sup>[11]</sup>。其次, 高 BMI 被认为是 PJK 的危险因素。Sebaaly 等<sup>[13]</sup>发现 PJK 是一种常见的影像学改变, 发生率为 25%, 并且年龄增加以及 BMI 增加是患者相关的危险因素。这可以通过体重增加引起身体重心前移而增加近端未融合脊柱的应力负荷来解释<sup>[7, 19]</sup>。Hostin 等<sup>[10]</sup>发现女性的 PJK 发生率增加, 但 Sebaaly 等<sup>[13]</sup>在一项队列中未发现这样的联系。本研究发现 BMI 是 ADS 在 PLIF 后发生 PJK 的独立危险因素 (OR 1.6,  $P = 0.000$ )。

O'Shaughnessy 等<sup>[15]</sup>发现融合节段上端椎选择至上胸段与下胸段相比 PJK 的发生率降低 (分别为 10% 和 18%,  $P < 0.05$ )。Park 等<sup>[21]</sup>最近的一项研究得出了相同的结论。另一方面, Ha 等<sup>[22]</sup>发现长节段融合的上端椎选择在上胸椎与下胸椎在

表 2 患者手术相关参数的比较

**Table 2** Comparison of surgical related parameters of patients

变量 Variables	无 PJK 组(n=101) Non-PJK group	PJK组(n=43) PJK group
术中出血 (ml) Intraoperative blood loss	892.0±615.4	1068.4±818.7 <sup>①</sup>
手术用时 (min) Operative time	242.5±58.7	240.0±47.9
输血 (例) Blood transfusion(n)	28(27.7%)	13(30.2%)
融合节段数 (个) Levels of fusion	4.6±0.6	4.8±0.8 <sup>①</sup>
减压节段数 (个) Level of decompression	2.1±0.7	2.3±0.8 <sup>①</sup>
骶骨融合 (例) Fused to the sacrum	37(36.6%)	25(58.1%) <sup>①</sup>
后方韧带复合体损伤 (例) PLC injury	8(7.9%)	27(62.8%) <sup>①</sup>
截骨术 (例) Osteotomy	12(11.9%)	6(14.0%)
螺钉松动 (例) Internal fixation loosening	12(11.9%)	6(14.0%)
断棒 (例) Rod fracture	3(3.0%)	5(11.6%)
脑脊液漏 (例) Cerebrospinal fluid leak	2(2.0%)	1(2.3%)
假关节形成 (例) Pseudarthrosis	12(11.9%)	7(16.3%)
再手术 (例) Reoperation	11(10.9%)	13(30.2%) <sup>①</sup>
术前 Cobb 角 (°) Preoperative Cobb angle	20.3±2.8	20.6±2.8
末次随访 Cobb 角 (°) Last follow-up Cobb angle	4.5±2.1	4.6±1.9
术前 PI-LL (°) Preoperative PI-LL	33.5±4.3	35.5±5.1 <sup>①</sup>
末次随访 PI-LL (°) Last follow-up PI-LL	11.1±3.5	17.4±11.8 <sup>①</sup>
术前 SVA (mm) Preoperative SVA	54.3±15.3	56.0±13.5
末次随访 SVA (mm) Last follow-up SVA	30.9±18.1	69.4±43.7 <sup>①</sup>

注: Cobb 角, 腰弯角; PI-LL, 骨盆入射角-腰椎前凸角; SVA, 矢状面垂直轴; ①与无 PJK 组比较  $P < 0.05$

Note: Cobb angle; PI-LL, pelvic incidence minus lumbar lordosis; SVA, sagittal vertical axis; ①Compared with non-PJK group  $P < 0.05$

PJK 的发生率方面未发现任何差异。Sebaaly 等<sup>[13]</sup>发现与上端融合至胸腰段相比, 融合至上胸椎的术后 PJK 的发生率会增加。Sebaaly 等<sup>[14]</sup>研究最重要的发现之一是, 从骶骨延伸到上胸部的结构是最容易发生 PJK 的结构。尽管学者对 PJK 危险因素分析结果存在争议, 但大家都认可上胸椎融合失败是椎体后方韧带复合体薄弱所致, 而在胸腰交界处融合失败是骨性连接失败所致<sup>[23]</sup>。在现有

表 3 术后即刻影像学参数比较

Table 3 Comparison of imaging parameters immediately after surgery

变量 Variables	无 PJK 组 (n=101) Non-PJK group	PJK 组 (n=43) PJK group	P
PT(°)	21.0±4.9	16.2±8.8	0.000
SS(°)	33.5±8.1	49.8±15.6	0.001
PI(°)	54.5±10.5	66.2±11.7	0.530
LL(°)	44.7±10.8	63.7±18.8	0.006
PI-LL(°)	9.8±4.0	2.5±11.5	0.000
TK(°)	35.9±9.4	46.3±9.6	0.873
LL-TK(°)	8.8±2.8	17.3±16.0	0.000
RLL(°)	47.5±14.2	68.1±5.9	0.043
RTK(°)	42.0±16.0	55.9±12.7	0.790
RLL-RTK(°)	2.2±3.6	5.5±12.7	0.004
UIVs(°)	11.2±3.5	13.9±7.0	0.000
UIVi(°)	13.8±3.7	16.7±5.6	0.005
SVA(mm)	35.6±11.3	60.8±7.7	0.638
UIVa/b	0.903±0.405	0.795±1.845	0.000

注:PI,骨盆入射角;SS,骶骨坡度角;PT,骨盆倾斜角;LL,腰椎前凸角;PI-LL,骨盆入射角-腰椎前凸角;TK,胸椎后凸角;LL-TK,腰椎前凸-胸椎后凸角;RLL,实际测量腰椎前凸角;RTK,实际测量胸椎后凸角;RLL-RTK,实际测量腰椎前凸-实际测量胸椎后凸角;UIVs,上端椎坡度;UIVi,上端椎倾斜度;SVA,矢状面垂直轴

Note: PI, pelvic incidence; SS, sacral slope; PT, pelvic tilt; LL, lumbar lordosis; PI-LL, pelvic incidence minus lumbar lordosis; TK, thoracic kyphosis; LL-TK, lumbar lordosis minus thoracic kyphosis mismatch; RLL: really lumbar lordosis; RTK, really thoracic kyphosis; RLL-RTK, really lumbar lordosis minus really thoracic kyphosis mismatch; UIVs, upper instrumentation vertebrae slope; UIVi, upper instrumentation vertebrae inclination; SVA, sagittal vertical axis

文献中发现融合到远端腰椎或骶骨是 PJK 的危险因素<sup>[19]</sup>。在这种情况下 PJK 的发生率增加可以通过术后脊柱结构的刚度改变来解释。尽管如此,这些研究并未比较远端融合的不同水平。Sebaaly 等<sup>[14]</sup>发现 PJK 发生率和远端融合(L4,L5,S1+髌骨)节段没有差异。在本研究中下端椎选择融合到 S1 是 PJK 的危险因素之一,但并不是独立危险因素。Hassanzadeh 等<sup>[24]</sup>发现,当使用近端椎板钩时术后无 PJK 发生,而使用椎弓根螺钉术后 PJK 发生率为 29%。一项生物力学分析证明腰椎融合术后 PJK 发生率的降低与近端使用椎板钩有关<sup>[25]</sup>。由于本研究纳入人群主要是腰椎长节段融合内固定患者,椎板钩的使用率较低,无法得出具体结论。

Lafage 等<sup>[26]</sup>曾报道 PJK 组和无 PJK 组 UIV 坡度无统计学差异,但 PJK 组 UIV 倾斜率明显小于无 PJK 组,也就是说 PJK 组 UIV 倾斜更偏向后方。最终,PJK 组患者的上端椎开始出现楔形变从而达到与无 PJK 组相似的 UIV 坡度<sup>[27]</sup>。为了分析 PJK 的影像学危险因素,本研究的 UIV 倾斜度和 UIV 坡度均是术后即刻测量的影像学参数,不同于 Lafage 等的 PJK 并发症影像学参数测量。PJK 组的 UIV 坡度显著大于无 PJK 组,并且术后即刻出现较大 UIV 坡度预示着术后患者并发 PJK 的风险是没有 UIV 坡度患者的 2.0 倍。同时 UIV 坡度大成为 PJK 的危险因素之一是因为当 UIV 坡度增加到一定范围后上端椎的上终板前缘高于后缘,又由于上终板前缘作为前缘支点到 C7 垂线

表 4 PJK 的单因素分析结果

Table 4 Univariate analysis of risk factors

	B	SE	Wald	df	P 值 P value	OR	95%CI for OR
性别 Gender	0.904	0.375	5.813	1	0.016	2.470	1.184~5.150
BMI	0.168	0.036	22.307	1	0.000	1.183	1.103~1.268
糖尿病 Diabetes	0.904	0.412	4.811	1	0.028	2.470	1.101~5.542
吸烟 Smoking	0.950	0.392	5.872	1	0.015	2.585	1.199~5.575
LL-TK	0.100	0.022	19.838	1	0.000	1.105	1.057~1.154
UIVs	0.126	0.043	8.412	1	0.004	1.134	1.042~1.235
UIVa/b	1.008	0.451	4.994	1	0.025	2.740	1.132~6.631
PI-LL	0.166	0.060	7.771	1	0.005	1.181	1.051~1.327
骶骨融合 Fused to the sacrum	2.762	1.191	5.375	1	0.020	15.833	1.533~163.548
PLC 损伤 PLC injury	2.351	0.922	6.511	1	0.011	10.500	1.725~63.913

注:B,回归系数估计值;SE,标准差;Wald,Wald 检验统计量;df,自由度;OR,比值比;CI,置信区间;P 值 0.05 代表统计显著的阈值

Note: B, regression coefficient estimate; SE, standard deviation; Wald, Wald test statistic; DF, degree of freedom; OR, odds ratio; CI, confidence interval; P value 0.05 represents a statistically significant threshold

表 5 术后 PJK 危险因素的多元 Logistics 回归分析结果

Table 5 Multivariate Logistic Regression Model

	B	SE	Wald	df	P 值 P value	OR	95%CI for OR
BMI	0.441	0.102	18.583	1	0.000	1.555	1.272~1.900
吸烟 Smoking	1.147	0.475	5.838	1	0.016	3.148	1.242~7.980
UIV 坡度 UIV slope	0.700	0.287	5.958	1	0.015	2.014	1.148~3.533
PI-LL	0.155	0.064	5.927	1	0.015	1.168	1.031~1.324

注: B, 回归系数估计值; SE, 标准差; Wald, Wald 检验统计量; df, 自由度; OR, 比值比; CI, 置信区间; P 值 0.05 代表统计显著的阈值。

Note: B, regression coefficient estimate; SE, standard deviation; Wald, Wald test statistic; DF, degree of freedom; OR, ratio ratio; CI, confidence interval; P value 0.05 represents a statistically significant threshold

表 6 骨盆和脊柱参数的 Pearson 相关系数

Table 6 Correlation between pelvic and spinal parameters

	PI	PT	SS	LL	TK	LL-TK	RLL-RTK	SVA	UIVa/b	UIVs	UIVi
PI	1.00	0.41	0.96	0.43	0.56	0.20	-0.03	0.42	0.35	0.21	0.25
PT		1.00	1.41	-0.33	0.21	0.19	-0.10	-0.27	-0.08	-0.11	-0.52
SS			1.00	0.47	0.55	0.16	0.00	0.15	0.01	0.01	-0.03
LL				1.00	0.72	-0.26	0.47	0.25	-0.28	0.27	0.28
TK					1.00	-0.17	-0.17	0.28	0.30	-0.12	-0.13
LL-TK						1.00	0.99	-0.85	-0.78	0.62	0.66
RLL-RTK							1.00	-0.90	-0.80	0.62	0.64
SVA								1.00	-0.93	-0.66	-0.68
UIVa/b									1.00	-0.63	-0.68
UIVs										1.00	0.84
UIVi											1.00

注: PI, 骨盆入射角; PT, 骨盆倾斜角; SS, 骶骨坡度角; LL, 腰椎前凸角; TK, 胸椎后凸角; LL-TK, 腰椎前凸-胸椎后凸角; RLL-RTK, 实际测量腰椎前凸-实际测量胸椎后凸角; SVA, 矢状面垂直轴; UIVa/b, 上端椎上终板前缘点到颈 7 垂线距离/前缘点到后远点垂直距离; UIVs, 上端椎坡度; UIVi, 上端椎倾斜度

Note: PI: pelvic incidence; PT: pelvic tilt; SS: sacral slope; LL: lumbar lordosis; TK: thoracic kyphosis; LL-TK: lumbar lordosis minus thoracic kyphosis mismatch; RLL-RTK: really lumbar lordosis minus really thoracic kyphosis mismatch; SVA: sagittal vertical axis; UIVa/b: the distance from the leading edge of the upper end of the upper vertebra to the vertical distance of the cervical 7/the distance from the leading edge to the far point; UIVs: upper instrumentation vertebrae slope; UIVi: upper instrumentation vertebrae inclination

距离和到同一椎体后缘垂线距离受到的脊柱纵向载荷应力较大出现上端椎的楔形变, 使得上端椎进一步向后倾斜, 最终 UIV 倾斜度角度加大。

Kim 等<sup>[16]</sup>认为下端椎融合到 S1 会提高 PJK 的发生率。然而, Lee 等<sup>[27]</sup>研究认为上端椎在 L2 以下的腰椎融合内固定与 PJK 的发生关系密切。Lee 等<sup>[27]</sup>提出由于胸腰椎交界区的解剖学特点导致上端椎选择在此可能会出现 3 种危险: 第一, 胸腰交界处是一个过渡性区域, 从胸椎后凸到腰椎前凸有一个转换力的薄弱点; 第二, 与腰椎相比, 胸椎的小关节突关节面向冠状面方向排列; 第三, 胸腰交界处正是处在限制胸椎过度活动的胸廓结束的地方。因为这些差异, 上端椎选择在胸腰交界处的融合内固定可以增加近端交界处的负荷

并导致 PJK。根据 Lee 等<sup>[27]</sup>研究长节段椎体融合内固定手术后, 近端交界处的机械应力力矩可定义为从 C7 铅垂线到椎体轴线的距离。PI 高的患者通常伴有 SS 和腰椎前凸增加<sup>[28,29]</sup>。增加的 LL 与脊柱活动单元的机械应力过大有关。本研究沿用此理论, 将 UIVa/b 作为评估全身矢状位平衡状况。通过相关分析发现, UIVa/b 与 LL-TK、RLL-RTK 和 SVA 之间有显著的相关性。UIVa/b 同时可以反映 SVA 情况和 UIV 倾斜情况, 可以作为发生 PJK 的预测因子。

Senteler 等<sup>[30]</sup>发现 PI-LL 较高的患者与邻近节段退变的风险有高相关性。较高的 PI-LL 与 L3、L4 和 L5 运动节段中剪切力和压缩力的增加相关。Sun 等<sup>[31]</sup>和 Zhang 等<sup>[32]</sup>报道了亚裔人群最佳



的 PI-LL 匹配值在  $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 。他们的研究表明,  $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$  的 PI-LL 可能是最佳的矢状位序列以减少 PJK 发生; PI-LL 与螺钉松动发生率或再手术率的相关性较低; 并且他们认为内固定物松动并不是严重的并发症, 因为没有引起相关的临床症状。本研究通过多因素 Logistics 回归模型得出 PI-LL 作为 ADS 后路腰椎长节段融合内固定术后发生 PJK 的独立危险因素 (OR 1.03,  $P=0.015$ )。

在一些研究中, 吸烟被认为是后路腰椎融合内固定术后邻近节段退变的危险因素<sup>[33]</sup>, 年龄较大与融合术后邻近节段退变的风险增加有关。吸烟是引发骨质疏松比较常见的一种诱因。骨质疏松症是一种多因素所致的慢性疾病。本研究多因素 Logistics 回归模型得出吸烟作为 ADS 腰椎体间融合内固定术后发生 PJK 的独立危险因素 (OR 3.1,  $P=0.016$ )。

综上所述, ADS 后路腰椎体间融合内固定术后 PJK 的独立危险因素为 BMI (OR 1.6,  $P=0.000$ )、吸烟 (OR 3.1,  $P=0.016$ )、UIV 坡度 (OR 2.0,  $P=0.015$ ) 和 PI-LL (OR 1.03,  $P=0.015$ )。同时我们通过相关分析发现 UIVa/b 与 LL-TK、RLL-RTK 和 SVA 之间有显著的相关性。UIVa/b 可以反映 SVA 情况和 UIV 倾斜情况, 可以作为发生 PJK 的预测因子。

#### 4 参考文献

- 张希诺, 海涌, 孙祥耀, 等. 成人退变性脊柱侧凸长节段内固定术后内科相关并发症的危险因素分析[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2018, 28(7): 593-599.
- Schwab F, Dubey A, Gamez L, et al. Adult scoliosis: prevalence, SF-36, and nutritional parameters in an elderly volunteer population[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2005, 30(9): 1082-1085.
- Glassman SD, Bridwell K, Dimar JR, et al. The impact of positive sagittal balance in adult spinal deformity [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2005, 30(18): 2024-2029.
- Wolff S, Kheirredine W, Riouallon G. Surgical dural tears: prevalence and updated management protocol based on 1359 lumbar vertebra interventions[J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2012, 98(8): 879-886.
- Lowe TG, Kasten MD. An analysis of sagittal curves and balance after Cotrel-Dubousset instrumentation for kyphosis secondary to Scheuermann's disease: a review of 32 patients [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1994, 19(15): 1680-1685.
- Glattes RC, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Proximal junctional kyphosis in adult spinal deformity following long instrumented posterior spinal fusion [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2005, 30(14): 1643-1649.
- Bridwell KH, Lenke LG, Cho SK, et al. Proximal junctional kyphosis in primary adult deformity surgery: evaluation of 20 degrees as a critical angle[J]. *Neurosurgery*, 2013, 72(6): 899-906.
- Vialle R, Levassor N, Rillardon L, et al. Radiographic analysis of the sagittal alignment and balance of the spine in asymptomatic subjects[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2005, 87(2): 260-267.
- Barrey C, Jund J, Perrin G, et al. Spinopelvic alignment of patients with degenerative spondylolisthesis [J]. *Neurosurgery*, 2007, 61(5): 981-986.
- Hostin R, McCarthy I, O'Brien M, et al. Incidence, mode, and location of acute proximal junctional failures after surgical treatment of adult spinal deformity [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2013, 38(12): 1008-1015.
- 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(Phila Pa 1976)*, 2014, 39(9): E576-E580.
- 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(Phila Pa 1976)*, 2013, 38(23): E1469-E1476.
- Sebaaly A, Riouallon G, Obeid I, et al. Proximal junctional kyphosis in adult scoliosis: comparison of four radiological predictor models[J]. *Eur Spine J*, 2018, 27(3): 613-621.
- Sebaaly A, El Rachkidi R, Grobost P, et al. L5 incidence: an important parameter for spinopelvic balance evaluation in high-grade spondylolisthesis[J]. *Spine J*, 2018, 18(8): 1417-1423.
- O'Shaughnessy BA, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Does a long-fusion "T3-sacrum" portend a worse outcome than a short-fusion "T10-sacrum" in primary surgery for adult scoliosis[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2012, 37(10): 884-890.
- 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 (Phila Pa 1976)*, 2008, 33(20): 2179-2184.
- Yagi M, Akilah KB, Boachie-Adjei O. Incidence, risk factors and classification of proximal junctional kyphosis: surgical outcomes review of adult idiopathic scoliosis [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2011, 36(1): E60-E68.
- 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.
- 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 (Phila Pa 1976)*, 2012, 37(17): 1479-1489.
20. Lafage R, Schwab F, Chailier V, et al. Defining spino-pelvic alignment thresholds: should operative goals in adult spinal deformity surgery account for age[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2016, 41(1): 62-68.
21. Park SJ, Lee CS, Chung SS, et al. Different risk factors of proximal junctional kyphosis and proximal junctional failure following long instrumented fusion to the sacrum for adult spinal deformity: survivorship analysis of 160 patients [J]. *Neurosurgery*, 2017, 80(2): 279-286.
22. Ha Y, Maruo K, Racine L, et al. Proximal junctional kyphosis and clinical outcomes in adult spinal deformity surgery with fusion from the thoracic spine to the sacrum: a comparison of proximal and distal upper instrumented vertebrae [J]. *J Neurosurg Spine*, 2013, 19(3): 360-369.
23. Fu X, Sun XL, Harris JA, et al. Long fusion correction of degenerative adult spinal deformity and the selection of the upper or lower thoracic region as the site of proximal instrumentation: a systematic review and meta-analysis [J]. *BMJ Open*, 2016, 6(11): e12103.
24. Hassanzadeh H, Gupta S, Jain A, et al. Type of anchor at the proximal fusion level has a significant effect on the incidence of proximal junctional kyphosis and outcome in adults after long posterior spinal fusion[J]. *Spine Deformity*, 2013, 1(4): 299-305.
25. Anderson AL, McIff TE, Asher MA, et al. The effect of posterior thoracic spine anatomical structures on motion segment flexion stiffness[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2009, 34(5): 441-446.
26. Lafage R, Line BG, Gupta S, et al. Orientation of the upper-most instrumented segment influences proximal junctional disease following adult spinal deformity surgery [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2017, 42(20): 1570-1577.
27. 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.
28. Berthonnaud E, Dimnet JS, Roussouly P, et al. Analysis of the sagittal balance of the spine and pelvis using shape and orientation parameters[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2005, 18(1): 40-47.
29. Roussouly P, Gollogly S, Berthonnaud E, et al. Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2005, 30(3): 346-353.
30. Senteler M, Weisse B, Snedeker JG, et al. Pelvic incidence-lumbar lordosis mismatch results in increased segmental joint loads in the unfused and fused lumbar spine [J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(7): 1384-1393.
31. Sun XY, Zhang XN, Hai Y. Optimum pelvic incidence minus lumbar lordosis value after operation for patients with adult degenerative scoliosis[J]. *Spine J*, 2017, 17(7): 983-989.
32. Zhang HC, Zhang ZF, Wang ZH, et al. Optimal pelvic incidence minus lumbar lordosis mismatch after long posterior instrumentation and fusion for adult degenerative scoliosis[J]. *Orthop Surg*, 2017, 9(3): 304-310.
33. Lee DY, Lee S, Maeng DH. Two-level anterior lumbar interbody fusion with percutaneous pedicle screw fixation: a minimum 3-year follow-up study [J]. *Neurol Med Chir (Tokyo)*, 2010, 50(8): 645-650.
- (收稿日期:2018-11-18 末次修回日期:2019-05-02)  
(英文编审 孙浩林/贾丹彤)  
(本文编辑 李伟霞)