

后路 S1 截骨复位融合术治疗青少年 L5 重度滑脱患者的远期疗效

蒋彬,王冰,吕国华,戴瑜亮,李亚伟,李磊,彭科,张宇鹏

(中南大学湘雅二医院脊柱外科 410011 长沙市)

【摘要】目的:评估后路 S1 截骨复位融合术治疗青少年 L5 重度滑脱患者的远期疗效及影像学参数变化。**方法:**回顾性分析 2008 年 1 月~2015 年 1 月于我院行后路 S1 截骨复位融合术治疗的青少年 L5 重度滑脱患者 21 例,其中男性 13 例,女性 8 例;年龄 14.4 ± 5.2 岁(9~21 岁),体质指数(body mass index,BMI) $23.4\pm 6.5\text{kg/m}^2$,随访时间 73.7 ± 11.3 个月(60~96 个月),术前滑脱 Meyerding 分度Ⅲ度 13 例,Ⅳ度 5 例,Ⅴ度 3 例。记录所有患者术前、术后 6 个月及终末随访时的滑移率、矢状面轴向垂直距离(sagittal vertical axis,SVA)、胸椎后凸角(thoracic kyphosis,TK)、腰椎前凸角(lumbar lordosis,LL)、骨盆投射角(pelvic incidence,PI)、骨盆倾斜角(pelvic tilt,PT)、骶骨倾斜角(sacral slope,SS)、腰骶后凸角(lumbosacral angle,LSA)及腰痛视觉模拟评分(lumbar visual analogue scale,lumbar-VAS)、腿痛视觉模拟评分(leg visual analogue scale,leg-VAS)、Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index,ODI)、日本骨科协会(Japanese Orthopaedic Association,JOA)评分,并采用 JOA 评分评价临床治疗改善率,改善率 $\geq 50\%$ 者评定为优良。采用脊柱侧凸研究学会 22 项问卷表(scoliosis research society questionnaire-22,SRS-22),评估各组术前、术后 6 个月及终末随访时疼痛、自我形象、活动度、精神、治疗满意度评分。应用卡方检验、Fisher 精确检验、独立样本 t 检验统计分析青少年重度腰椎滑脱经后路 S1 截骨复位融合术后的远期疗效。**结果:**末次随访 JOA 评分总优良率为 80.95%,融合率 95.23%,滑脱复位率($71.22\pm 6.7\%$),内固定断裂并假关节形成 1 例,予翻修手术。滑脱复位术后 6 个月较术前 PT($24.7^\circ\pm 7.6^\circ$ vs $34.3^\circ\pm 10.7^\circ$)、SS($48.2^\circ\pm 6.7^\circ$ vs $38.4^\circ\pm 16.4^\circ$)、LL($-42.3^\circ\pm 9.4^\circ$ vs $-63.4^\circ\pm 12.4^\circ$)、LSA($-7.3^\circ\pm 5.4^\circ$ vs $18.3^\circ\pm 6.4^\circ$)、TK($18.6^\circ\pm 12.7^\circ$ vs $9.4^\circ\pm 22.6^\circ$)、SVA($1.4\pm 2.7\text{cm}$ vs $3.1\pm 2.7\text{cm}$)均显著改善($P<0.05$),PI($73.2^\circ\pm 10.8^\circ$ vs $73.6^\circ\pm 11.3^\circ$)较术前无明显变化($P>0.05$)。终末随访较术后 6 个月 PI($81.6^\circ\pm 13.7^\circ$ vs $73.2^\circ\pm 10.8^\circ$)、PT($28.3^\circ\pm 8.6^\circ$ vs $24.7^\circ\pm 7.6^\circ$)、SS($52.2^\circ\pm 13.3^\circ$ vs $48.2^\circ\pm 6.7^\circ$)、LL($-56.4^\circ\pm 15.3^\circ$ vs $-42.3^\circ\pm 9.4^\circ$)改变有统计学意义($P<0.05$),LSA($-7.1^\circ\pm 5.8^\circ$ vs $-7.3^\circ\pm 5.4^\circ$)、TK($15.4^\circ\pm 12.4^\circ$ vs $18.6^\circ\pm 12.7^\circ$)、SVA($1.2\pm 3.1\text{cm}$ vs $1.4\pm 2.7\text{cm}$)较术后 6 个月无统计学意义($P>0.05$)。术后 6 个月腰痛 VAS(1.8 ± 1.4 分 vs 6.8 ± 2.1 分)、腿痛 VAS(1.5 ± 1.1 分 vs 5.4 ± 1.3 分)、JOA 评分(22.5 ± 5.7 分 vs 8.5 ± 3.4 分)、ODI[($15.2\pm 5.5\%$ vs $(42.6\pm 7.5)\%$)]、SRS-22 疼痛(4.2 ± 0.8 分 vs 2.8 ± 0.8 分)、自我形象(4.6 ± 0.5 分 vs 3.1 ± 0.6 分)、活动度(4.3 ± 0.6 分 vs 3.4 ± 0.6 分)、精神(4.2 ± 0.6 分 vs 3.3 ± 0.7 分)、总评分(4.3 ± 0.5 分 vs 3.2 ± 0.4 分)较术前均显著改善有统计学意义($P<0.05$)。终末随访时,腰痛 VAS(3.6 ± 1.2 分 vs 1.8 ± 1.4 分)、SRS-22 疼痛评分(3.7 ± 0.6 分 vs 4.2 ± 0.8 分)较术后 6 个月增加并有统计学意义($P<0.05$),余各项无明显变化($P>0.05$)。**结论:**青少年 L5 重度滑脱患者行后路 S1 截骨复位融合术可有效改善临床症状及影像学矢状面序列。

【关键词】青少年重度腰椎滑脱;S1 截骨复位融合术;远期疗效

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2020.08.03

中图分类号:R687.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2020)-08-0687-07

Long-term outcome of posterior S1 osteotomy and reduction surgery on adolescent high-grade spondylolisthesis/JIANG Bin, WANG Bing, LÜ Guohua, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2020, 30(8): 687-693

【Abstract】Objectives: To analyze the long-term outcome and radiographic parameter changes of posterior S1

基金项目:国家自然科学基金面上项目(81871748);国家自然科学基金青年项目(81601868)

第一作者简介:男(1982-),博士研究生在读,研究方向:脊柱外科

电话:(0731)85295125 E-mail:jiangbinspine@csu.edu.cn

通讯作者:王冰 E-mail:bingwang20021972@aliyun.com

osteotomy and reduction surgery on adolescent high-grade L5 spondylolisthesis. **Methods:** 21 cases of adolescent high-grade L5 spondylolisthesis who received posterior S1 osteotomy and reduction surgery between January 2008 and January 2015 in our medical center were retrospectively analyzed. There were a total of 13 males and 8 females with an average age of 14.4 ± 5.2 years old and average BMI of $23.4 \pm 6.5 \text{ kg/m}^2$. The average follow up period was 73.7 ± 11.3 months. The Meyerding classification status were as follows: 13 cases of grade III, 5 cases of grade IV, and 3 cases of grade V. General epidemiological data including lumbar-VAS, leg-VAS, ODI, JOA score, SRS-22 score and radiologic parameters of slippage rate, SVA, TK, LL, PI, PT, SS, and LSA at preoperation, 6 months postoperatively and final follow-up were collected. Chi square test and independent sample T-test were used for statistical analysis of imaging parameters and SRS-22 questionnaire scores. **Results:** At final follow-up, the superior rate of JOA was 80.95%, the fusion rate was 95.23%. Amelioration of lumbar spondylolisthesis was 71.22%. One case developed screw breakage and received revision surgery. Comparing between parameters at 6 months follow-up and before surgery: PT ($24.7^\circ \pm 7.6^\circ$ vs $34.3^\circ \pm 10.7^\circ$), SS ($48.2^\circ \pm 6.7^\circ$ vs $38.4^\circ \pm 16.4^\circ$), LL ($-42.3^\circ \pm 9.4^\circ$ vs $-63.4^\circ \pm 12.4^\circ$), LSA ($-7.3^\circ \pm 5.4^\circ$ vs $18.3^\circ \pm 6.4^\circ$), TK ($18.6^\circ \pm 12.7^\circ$ vs $9.4^\circ \pm 22.6^\circ$) and SVA ($1.4 \pm 2.7^\circ$ vs $3.1 \pm 2.7^\circ$) improved significantly ($P < 0.05$); while PI ($73.2^\circ \pm 10.8^\circ$ vs $73.6^\circ \pm 11.3^\circ$, $P > 0.05$) presented no significant change. Comparing between parameters at final follow-up and at 6 months follow-up: PI ($81.6^\circ \pm 13.7^\circ$ vs $73.2^\circ \pm 10.8^\circ$), PT ($28.3^\circ \pm 8.6^\circ$ vs $24.7^\circ \pm 7.6^\circ$), SS ($52.2^\circ \pm 13.3^\circ$ vs $48.2^\circ \pm 6.7^\circ$) and LL ($-56.4^\circ \pm 15.3^\circ$ vs $-42.3^\circ \pm 9.4^\circ$) improved significantly ($P < 0.05$); while LSA ($-7.1^\circ \pm 5.8^\circ$ vs $-7.3^\circ \pm 5.4^\circ$), TK ($15.4^\circ \pm 12.4^\circ$ vs $18.6^\circ \pm 12.7^\circ$) and SVA ($1.2 \pm 3.1^\circ$ vs $1.4 \pm 2.7^\circ$) presented no significant change. Lumbar-VAS (1.8 ± 1.4 vs 6.8 ± 2.1), leg-VAS (1.5 ± 1.1 vs 5.4 ± 1.3), JOA (22.5 ± 5.7 vs 8.5 ± 3.4), ODI ($15.2 \pm 5.5\%$ vs $42.6 \pm 7.5\%$), SRS-22 pain score (4.2 ± 0.8 vs 2.8 ± 0.8), self-image score (4.6 ± 0.5 vs 3.1 ± 0.6), activity score (4.3 ± 0.6 vs 3.4 ± 0.6), mental score (4.2 ± 0.6 vs 3.3 ± 0.7) and total score (4.3 ± 0.5 vs 3.2 ± 0.4) at the 6 months follow-up showed various dimensions changes compared with that preoperatively ($P < 0.05$). Lumbar-VAS (3.6 ± 1.2 vs 1.8 ± 1.4) and SRS-22 pain score (3.7 ± 0.6 vs 4.2 ± 0.8) deteriorated at final follow-up ($P < 0.05$). **Conclusions:** Posterior S1 osteotomy and reduction surgery on adolescent high-grade spondylolisthesis could achieve satisfying clinical symptoms and sagittal alignment improvement at more than five years follow-up.

[Key words] Adolescent lumbar spondylolisthesis; High-grade; S1 osteotomy; Long-term outcome

[Author's address] Department of Spine Surgery, the Second Xiangya Hospital of Central South University, Changsha, 410011, China

青少年腰椎滑脱指腰椎后方关节突、峡部、椎板发育异常、外力或机械应力影响,抵抗前向应力减弱导致的椎体水平滑移现象^[1]。滑脱进展的主要因素与后方结构发育异常程度及患者自身生长潜力有关。处于骨骼快速生长期的青少年,后方结构骨性连接越弱,滑脱进展越迅速^[2]。椎体滑移进展为Ⅱ度以上者易形成腰骶段后凸,并进一步继发间盘塌陷破坏、瘢痕增生及椎管狭窄等病理改变导致神经压迫,临床表现为躯干失代偿、活动性腰痛甚至根性疼痛、马尾功能障碍等症状,应及时手术干预^[3]。既往临床采用原位融合术或传统手术复位固定融合术等治疗重度腰椎滑脱,虽取得一定短期疗效,但远期并发症发生率较高^[4-6]。Min 等^[7]结合以往手术经验首次采用后路 S1 穹顶切除联合后路固定术治疗腰椎重度滑脱,并对中期随访疗效予以肯定。本研究尝试通过回顾性分析 2008 年 1 月~2015 年 1 月于我院行后路 S1

截骨复位融合术的青少年 L5 重度腰椎滑脱者,评估其长期临床疗效。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析 2008 年 1 月~2015 年 1 月于我院行后路 S1 截骨复位融合术的青少年 L5 重度滑脱患者中有至少 5 年完整随访资料者 21 例。男性 13 例,女性 8 例;年龄 14.4 ± 5.2 岁(9~21 岁),体质指数 (body mass index, BMI) $23.4 \pm 6.5 \text{ kg/m}^2$,随访时间 73.7 ± 11.3 个月(60~96 个月)。L5 节段滑脱 Meyerding 分度Ⅲ度 13 例,Ⅳ度 5 例,Ⅴ度 3 例。术前所有患者均伴活动性腰痛,其中 16 例伴下肢根性症状。所有患者术前、术后 6 个月及终末随访均行全脊柱侧位 X 线检查。

病例纳入标准:(1)L5 滑脱, Meyerding 分度为Ⅲ~Ⅴ度;(2)5 年以上临床及影像学随访资料;

(3)应用后路 S1 截骨复位内固定融合术。排除标准:(1)多节段腰椎滑脱;(2)既往腰椎手术史;(3)合并原发性或继发性骨代谢疾病;(4)合并下肢关节疾病;(5)随访无法完成调查问卷。

1.2 手术步骤

患者全麻后取俯卧位,屈膝屈髋,常规消毒铺单。以 L5 棘突为中心行后路正中纵向切口,逐层暴露。显露滑脱椎体及上、下位椎体棘突,向两侧逐渐剥开椎旁肌、肌腱至横突,显露椎板及关节突。椎板呈坡位、提拉棘突有浮动者为滑脱病椎。于 L4~L5 双侧关节突外缘与横突中点连线交点、S1 上关节突下方为进钉点置钉,C 型臂 X 线机透视内固定位置良好。完全切除 L5 椎板,去除峡部骨痂及增生肉芽,暴露双侧 L5 神经根,必要时切除部分骶骨翼以彻底松解 L5 神经根。于 L5 神经根下方谨慎地切除 L5/S1 纤维环隆起部分,暴露并切除 L5/S1 椎间盘。由双侧向前内侧行 S1 截骨术,逐步咬除 S1 穹顶,根据个体化腰椎重建需求楔形切除部分 S1 椎体及残余椎间盘碎片。部分病例需经 L5/S1 间隙行 L5 椎体下终板部分截骨重塑楔形 L5 椎体。C 型臂 X 线机再次透视侧位确认截骨范围充分,预弯固定棒,首先固定于 S1,再依次固定 L4 和 L5,将 L5 复位至 S1 截骨表面并压缩闭合。复位距离视 L5 神经根张力伸展情况而定,不追求完全解剖复位。确认腰骶段后凸矫正及 L5 神经根松弛。术中全程行电生理监测运动诱发电位(motor evoked potentials,MEP)及体感诱发电位(somatosensory evoked potentials,SSEPs),术中 MRP 出现异常(波幅下降 $\geq 50\%$)应及时松开内固定、探查脊髓及神经根受压情况,无异常后逐层关闭伤口并放置引流管。

1.3 评价指标

记录所有患者术前年龄、性别、BMI、术前滑脱 Meyerding 分度、滑移率及手术前后各次随访矢状面影像学参数及、腰痛视觉模拟评分(lumbar visual analogue scale,lumbar-VAS)、腿痛视觉模拟评分(leg visual analogue scale,leg-VAS)、Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index,ODI)、日本骨科协会(Japanese Orthopaedic Association,JOA)评分,并采用 JOA 评分评价临床治疗改善率,JOA 评分改善率=(治疗后 JOA 评分-治疗前 JOA 评分)/(29-治疗前 JOA 评分) $\times 100\%$,JOA 评分改善率 $\geq 50\%$ 者评定为优良。采

用脊柱侧凸研究学会 22 项问卷表(scoliosis research society questionnaire-22,SRS-22),评估各组术前、术后 6 个月及终末随访疼痛、自我形象、活动度、精神、治疗满意度评分。共 22 题,每题 1~5 分,1 分最差,5 分最佳。各维度得分为对应平均得分,总分为所有问题平均得分。影像学测量参数包括:矢状面轴向垂直距离(sagittal vertical axis,SVA),S1 后缘切线与 S1 上缘交点定为 S1 后上缘,测量 C7 铅垂线与 S1 后上缘之间的水平距离,C7 铅垂线位于 S1 后上缘前方为正值,位于 S1 后上缘后方为负值;胸椎后凸角(thoracic kyphosis,TK),T5 上终板与 T12 下终板形成的 Cobb 角;腰椎前凸角(lumbar lordosis,LL),矢状面 L1 上终板与 L5 上终板形成的夹角;骨盆投射角(pelvic incidence,PI),沿 S1 前后缘行两条切线与 S1 上缘交点连线确认为 S1 上终板,经 S1 上终板作垂线与 S1 上终板中点与双侧股骨头中心点连线中点形成的夹角;骨盆倾斜角(pelvic tilt,PT),S1 上终板至股骨头中心连线与垂线的夹角;骶骨倾斜角(sacral slope,SS),S1 上终板与水平线夹角;腰骶后凸角(lumbosacral angle,LSA),L5 上终板与 S1 上终板形成的 Cobb 角,前凸为负值,后凸为正值。

1.4 统计学方法

所有数据采用 SPSS 22.0 软件进行统计分析。计量资料以均数 $\pm$ 标准差表示。将两组的相关参数进行单因素变量分析,其中二分类变量采用卡方检验,如频数小于 5 则采用 Fisher 精确检验,连续变量采用独立样本 t 检验, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

本研究 21 例患者术前平均滑脱率($80.6\pm 11.2\%$),术后平均滑脱率($23.2\pm 3.1\%$),滑脱复位率($71.2\pm 6.7\%$),其中未获得解剖复位者 14 例(66.7%),获得解剖复位者(33.3%)。终末随访时滑脱复位率无明显丢失。术后所有患者活动性腰痛症状均显著改善,术后残留根性症状者 5 例(23.8%),予保守治疗后恢复满意,远期随访无神经功能障碍。末次随访 JOA 评分总优良率为 80.95%,融合率 95.23%,内固定断裂并假关节形成 1 例,予翻修手术。

影像学参数变化见表 1。术前矢状面参数呈

典型重度滑脱特征,伴腰骶段后凸,矢状面平衡前移,典型病例见图 1。术后 6 个月 PT、SS、LL、LSA、TK、SVA 较术前均显著改善 ($P<0.05$),PI 较术前无明显变化 ($P>0.05$)。终末随访 PI、PT、SS、LL 均较术后 6 个月增大有统计学意义 ($P<0.05$),其余无统计学意义 ($P>0.05$)。

VAS、JOA、ODI 评分及 SRS-22 生活质量评分见表 2、3。术后 6 个月腰痛 VAS、腿痛 VAS、JOA 评分、ODI、SRS-22 疼痛、自我形象、活动度、精神、总评分较术前均显著改善有统计学意义 ($P<0.05$)。终末随访时,腰痛 VAS、SRS-22 疼痛评分较术后 6 个月改变有统计学意义 ($P<0.05$),其余各项无明显变化 ($P>0.05$)。

3 讨论

原位融合术曾作为治疗腰椎重度滑脱的金标准,该术式操作简单、围手术期并发症少,但远期随访发现融合率低、假关节发生率高、无法矫正矢状面失衡,存在滑脱进展及二次手术风险^[8-10];传统手术复位可提高融合率,改善矢状面平衡,但神经根牵拉损伤发生率高^[11,12]。本研究中 21 例青少年患者均采用一期后路 S1 截骨复位融合术,远期随访 JOA 总优良率 80.95%,融合率 95.23%,内固定并发症发生率仅 4.77%,假关节 1 例,无神经并发症,影像学参数及各项生活质量评分均显著改善,既弥补原位融合术无法矫正矢状面失衡、融合率低的缺点,又可有效避免常规手术复位所致神经并发症,是治疗青少年重度腰椎滑脱的理想术式。

重度腰椎滑脱患者的疼痛症状主要与继发椎管狭窄所致下肢根性疼痛、腰椎稳定性下降所致活动性疼痛及腰骶部畸形所致腰背部伸肌群疲劳紧张性疼痛有关。后路 S1 截骨复位融合术经后入路直视下切除滑脱峡部瘢痕及骨赘,从侧方对椎

间孔外 L5 神经根全程充分减压;其次,截骨缩短腰骶部脊柱长度以减少复位后神经根张力。术后腰痛 VAS、腿痛 VAS、JOA、ODI 评分及 SRS-22 疼痛评分均显著改善,提示后路 S1 截骨复位减压效果满意,术后未发现 L5 神经根麻痹现象。

提升融合率可提高腰椎稳定性,缓解活动性疼痛,减少再滑脱风险。既往研究报道重度腰椎滑脱术后融合率为 55%~93.7%^[3,7]。本组患者终末随访融合率为 95.23%,显著高于既往报道重度腰椎滑脱术后融合率。原因可能与椎体复位率高、L5/S1 截骨面加压闭合操作及随访时间较长有关。本组采用 S1 穹顶切除联合 S1 楔形截骨可有效增加 L5 椎体复位空间,但复位程度以保持 L5 神经根松弛为准则,不强求解剖复位,滑移率由术前的 (80.6±11.2)%降低至 (23.2±3.1)%,有效地增加了 L5/S1 截骨面接触面积。其次,传统椎间植骨融合术需撑开 L5/S1 间隙,存在神经根牵拉损伤风险,我们选择直接行 L5/S1 截骨面加压闭合操作,结果提示该术式较以往椎间植骨融合术、后外侧植骨融合术及前路环形 360°融合术能获得更高的远期融合率,并有效避免再次前路融合术潜在的手术相关并发症^[7,13-15]。

术后矢状面序列恢复有助于缓解腰骶部伸肌群疲劳紧张性疼痛,而 LSA 矫正是其关键。Thomas 等^[16]认为 LSA 改善有助于术后恢复 SVA 平衡并改善 TK 及 LL 曲度。本组研究结果与 Thomas 等研究结果类似,尽管对 L5/S1 截骨面采用闭合压缩融合操作,但通过组合 S1 穹顶切除及 S1 椎体楔形截骨技术,LSA 仍可获得平均 25.0°矫正角度。腰骶段后凸矫正后有助于全身矢状面序列恢复,LL 代偿性减小、LSA 由后凸转变为前凸,躯干平衡后移;而提高复位率有助于将 L5 剪切力转为轴向压力促使骨盆前旋,纠正骨盆失平衡,术后 SS 增加、PT 减小。矢状面序列恢复后,胸

表 1 青少年重度滑脱患者术前及术后影像学资料

(°, $\bar{x} \pm s$)

Table 1 Preoperative and postoperative radiographic data of the patients

	骨盆入射角 Pelvic incidence	骨盆倾斜角 Pelvic tilt	骶骨倾斜角 Sacral slope	腰椎前凸角 Lumbar lordosis	腰椎后凸角 Lumbosacral angle	胸椎后凸角 Thoracic kyphosis	矢状面平衡 Sagittal vertical axis
术前 Preoperative	73.6±11.3	34.3±10.7	38.4±16.4	-63.4±12.4	18.3±6.4	9.4±22.6	3.1±2.7
术后 6 个月 6 months post-op	73.2±10.8	24.7±7.6 ^①	48.2±6.7 ^①	-42.3±9.4 ^①	-7.3±5.4 ^①	18.6±12.7 ^①	1.4±2.7 ^①
终末随访 Final follow-up	81.6±13.7 ^②	28.3±8.6 ^②	52.2±13.3 ^②	-56.4±15.3 ^②	-7.1±5.8	15.4±12.4	1.2±3.1

注:①与术前比 $P<0.05$;②与术后 6 个月比 $P<0.05$

Note: ①Compared with preoperation, $P<0.05$; ②Compared with 6 months postoperatively, $P<0.05$

椎代偿机制消失,TK 增加。远期随访期间,终末随访时腰痛 VAS、SRS-22 疼痛评分增加。结合临床及术后影像学矢状面参数变化,笔者认为该疼痛

评分改变可能与青少年患者 PI 随生长发育持续增加,导致患者需长期维持躯干平衡,腰骶部伸肌群疲劳紧张有关。Mac-Thiong 等^[17]研究发现,正常

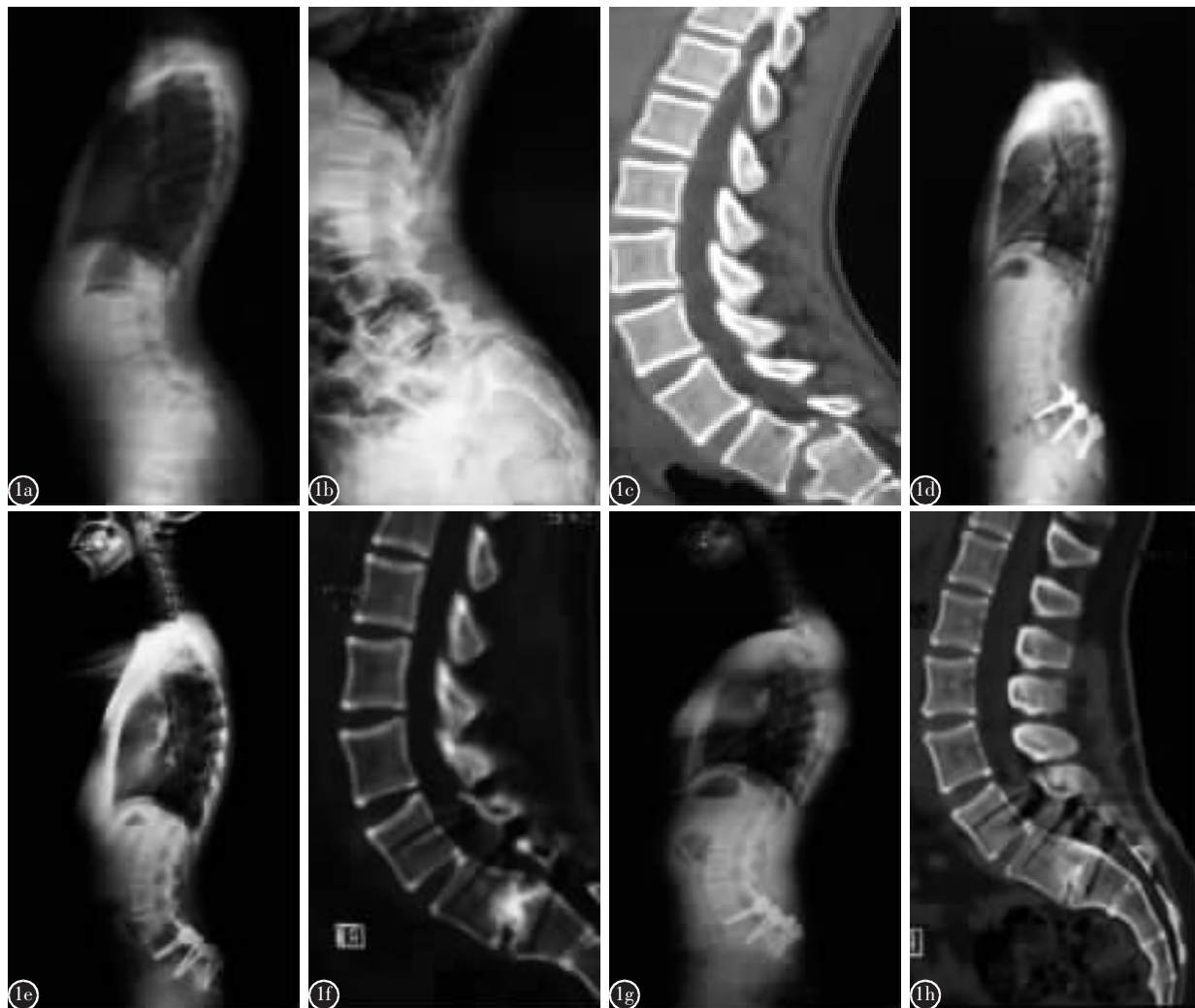


图 1 12 岁女性患儿,L5 椎体滑脱症 **a** 术前全脊柱侧位 X 线片示 PI 73.6°,PT 29.7°,SS 43.9°,LL 61.0°,LSA 20.0°,TK 2.5°,SVA 3.3mm **b** 术前矢状位腰椎 X 线片示 Meyerding 分度Ⅲ度滑脱 **c** 术前矢状位腰椎 CT 示 S1 穹顶样改变 **d** 术后 6 个月矢状位全脊柱 X 线片示滑脱率及矢状面序列均明显改善,滑脱率 18%,PI 74.4°,PT 26.9°,SS 47.5°,LL 64.8°,LSA -10.7°,TK 22.6°,SVA 2.2mm **e** 术后 2 年全脊柱侧位 X 线片示 PI 发育增大并伴随 SS、LL 显著增大调节矢状面平衡,PI 96.1°,PT 30.4°,SS 65.7°,LL 72.7°,LSA -10.5°,TK 20.1°,SVA 50.5mm **f** 术后 2 年矢状位 CT 示 L5/S1 椎间融合良好 **g** 术后 6 年矢状位全脊柱 X 线片示 PI 继续增大,骨盆后倾;PI 100.8°,PT 39.0°,SS 61.8°,LL 75.9°,LSA -10.5°,TK 20.3°,SVA 0.4mm **h** 术后 6 年矢状位 CT 示 L5/S1 椎间进一步融合

Figure 1 Female, 12 years old, L5 spondylolisthesis **a** Preoperative sagittal standing full spine X ray showed slippage rate 63%, PI 73.6°, PT 29.7°, SS 43.9°, LL 61.0°, LSA 20.0°, TK2.5° and SVA 3.3mm **b** Preoperative sagittal lumbar X-ray showed Meyerding classification: III **c** Preoperative sagittal lumbar CT: sacral dome with high-grade spondylolisthesis **d** 6 months postoperatively, sagittal alignment slippage rate improved to 18%, all sagittal parameters were improved significantly with PI to 74.4°, PT 26.9°, SS 47.5°, LL 64.8°, LSA -10.7°, TK 22.6° and SVA 2.2mm **e** 2 years postoperatively, X-ray showed PI development with SS and LL increased, PI 96.1°, PT 30.4°, SS 65.7°, LL 72.7°, LSA -10.5°, TK 20.1° and SVA 50.5mm **f** Two years postoperatively, CT showed partial fusion of the intervertebral space **g** Six years postoperatively, X-ray showed intervertebral body fusion was strong, PI continued development with PT increased, PI 100.8°, PT 39.0°, SS 61.8°, LL 75.9°, LSA -10.5°, TK 20.3° and SVA 0.4mm **h** Six years postoperatively, CT showed further fusion of the L5/S1 intervertebral space

儿童及青少年 PI 值随年龄成长过程不断增大,4~10 岁以下儿童 PI 值每年自然增长率约为 0.54° ,而 10~18 岁青少年 PI 值每年自然增长率约为 0.74° 。Hanson 等^[18]研究认为 PI 值与滑脱程度具有显著相关性。本组研究结果青少年重度滑脱患者术前 PI 均值为 $73.6^\circ \pm 11.3^\circ$,显著高于 Mac-Thiong 等报道正常青少年的 PI 值 $48.4^\circ \pm 11.2^\circ$,且平均 73.7 ± 11.3 个月(60~96 个月)的随访期间 PI 值平均增加 $8.0^\circ \pm 2.4^\circ$,因此有理由认为,青少年滑脱患者 PI 值随生长发育持续增加,且平均自然增加率高于正常青少年。远期随访 SS、PT 及 LL 相应增加均为适应 PI 发育的代偿机制^[19]。随访期间躯干矢状面平衡维持不变与青少年脊柱自身代偿能力较强有关,但整体矢状面序列均发生改变,导致部分患者腰骶部疼痛。

表 2 术前及术后随访 SRS-22 评分 (分, $\bar{x} \pm s$)
Table 2 Preoperative and postoperative SRS-22 scores

	术前 Pre-op	术后 6 个月 6 months post-op	终末随访 Final follow-up
疼痛 Pain	2.8 ± 0.8	4.2 ± 0.8^{①}	3.7 ± 0.6^{②}
自我形象 Appearance	3.1 ± 0.6	4.6 ± 0.5^{①}	4.3 ± 1.1
活动度 Activity	3.4 ± 0.6	4.3 ± 0.6^{①}	4.1 ± 0.6
精神 Mental	3.3 ± 0.7	4.2 ± 0.6^{①}	4.1 ± 0.7
治疗满意度 Satisfaction	—	4.4 ± 0.5	4.2 ± 0.8
总分 Total	3.2 ± 0.4	4.3 ± 0.5^{①}	4.0 ± 0.8

注:①与术前相比 $P < 0.05$;②与术后 6 个月比 $P < 0.05$

Note: ①Compared with preoperation, $P < 0.05$; ②Compared with 6 months postoperatively, $P < 0.05$

表 3 术前及术后随访 JOA、ODI 及 VAS 评分
Table 3 Pre- and postoperative JOA, ODI and VAS scores

	术前 Pre-op	术后 6 个月 6 months-post	终末随访 Final follow-up
JOA(分)	8.5 ± 3.4	22.5 ± 5.7^{①}	20.7 ± 6.6
ODI(%)	42.6 ± 7.5	15.2 ± 5.5^{①}	18.0 ± 4.4
腰痛 VAS(分) Lumbar VAS	6.8 ± 2.1	1.8 ± 1.4^{①}	3.6 ± 1.2^{②}
腿痛 VAS(分) Leg VAS	5.4 ± 1.3	1.5 ± 1.1^{①}	0.6 ± 0.5

注:①与术前比 $P < 0.05$;②与术后 6 个月比 $P < 0.05$

Note: ①Compared with preoperation, $P < 0.05$; ②Compared with 6 months postoperatively, $P < 0.05$

既往报道各种手术方式治疗重度腰椎滑脱,术后均伴有不同程度的神经并发症^[20-22]。Gaines 等^[21]报道 30 例行 L5 椎体切除、L4~S1 融合术治疗腰椎滑脱患者,其中 23 例伴有一过性下肢肌力下降。Moreau 等^[22]报道行 S1 穹顶切除的 L5 腰椎重度滑脱患者中,34%术后出现新增神经根功能损害。因此,部分学者建议避免对滑移椎体过度复位^[23]。本组患者复位时以神经根松弛为准则,且缩短腰骶段脊柱有助于降低神经根张力,术后残留根性症状者仅 5 例,笔者考虑残留根性症状与减压后 L5 神经根充血水肿有关,而非神经根牵拉麻痹,因此短期保守治疗后显著好转。假关节是重度腰椎滑脱另一常见并发症,以行原位融合术者多见。本组患者采用稳固的椎弓根螺钉三柱固定,有效地提高了术后融合率,远期随访观察到假关节 1 例,该例患者同时伴 S1 螺钉断裂。S1 螺钉断裂可能与腰骶交界应力集中有关^[24]。而腰骶段畸形矫正不足可能是应力集中的主要原因之一^[25]。此外,术后腰骶部前凸重建角度可能存在因内固定无法与发育后的 PI 相匹配,引起生物力学机制异常^[26,27]。S1 骨-螺钉界面应力逐渐增加,可能是 S1 螺钉断裂并形成假关节的另一重要原因。

总体而言,一期后路 S1 截骨复位融合术治疗青少年重度腰椎滑脱远期随访疗效肯定,有效缓解滑脱患者疼痛、提高滑脱复位率及融合率、并有助于恢复矢状面序列,降低手术相关并发症。远期随访过程中,PI 值随青少年成长逐渐增大,矢状面序列可发生“再适应调节”,调节机制失代偿可导致矢状面序列异常,逐渐发生姿态异常疼痛或内固定断裂等不良临床后果。本研究属于回顾性病例序列研究,样本量较小,病例分布可能存在一定偏倚,随访时间并不完全一致,使我们无法正确得出青少年重度滑脱患者与年龄相关的 PI 值具体成长趋势。未来仍需多中心、随机大样本的前瞻性研究、采取科学的统计方法,进一步综合探讨分析以提高远期疗效,减少并发症。

4 参考文献

1. Crawford CH, Ledonio CG, Bess RS, et al. Current evidence regarding the etiology, prevalence, natural history, and prognosis of pediatric lumbar spondylolysis: a report from the scoliosis research society evidence-based medicine committee [J]. Spine Deform, 2015, 3(1): 12-29.
2. Beck AW, Simpson AK. High-Grade lumbar spondylolisthesis

- [J]. *Neurosurg Clin N Am*, 2019, 30(3): 291–298.
3. Crawford CH, Larson AN, Gates M, et al. Current evidence regarding the treatment of pediatric lumbar spondylolisthesis: a report from the scoliosis research society evidence based medicine committee[J]. *Spine Deform*, 2017, 5(5): 284–302.
 4. Rindler RS, Miller BA, Eshraghi SR, et al. Efficacy of transsacral instrumentation for high-grade spondylolisthesis at L5–S1: a systematic review of the literature[J]. *World Neurosurg*, 2016, 95(623): e11–623.
 5. Longo UG, Loppini M, Romeo G, et al. Evidence-based surgical management of spondylolisthesis: reduction or arthrodesis in situ[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2014, 96(1): 53–58.
 6. Cheung EV, Herman MJ, Cavalier R, et al. Spondylolysis and spondylolisthesis in children and adolescents: II. Surgical management[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2006, 14(8): 488–498.
 7. Min K, Liebscher T, Rothenfluh D. Sacral resection and single-stage posterior reduction in the treatment of high-grade high dysplastic spondylolisthesis in adolescents and young adults[J]. *Eur Spine J*, 2012, 21(Suppl 6): S785–S791.
 8. Martiniani M, Lamartina C, Specchia N. "In situ" fusion or reduction in high-grade high dysplastic developmental spondylolisthesis (HDSS)[J]. *Eur Spine J*, 2012, 21(Suppl 1): S134–S140.
 9. Sudarshan PK, Suthar HR, Varma VK, et al. Long-Term experience with reduction technique in high-grade spondylolisthesis in the young[J]. *Int J Spine Surg*, 2018, 12(3): 399–407.
 10. Poussa M, Remes V, Lamberg T, et al. Treatment of severe spondylolisthesis in adolescence with reduction or fusion in situ: long-term clinical, radiologic, and functional outcome[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2006, 31(5): 583–592.
 11. Petraco DM, Spivak JM, Cappadona JG, et al. An anatomic evaluation of L5 nerve stretch in spondylolisthesis reduction[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1996, 21(10): 1133–1139.
 12. Kim NH, Lee JW. Anterior interbody fusion versus posterolateral fusion with transpedicular fixation for isthmic spondylolisthesis in adults. A comparison of clinical results [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1999, 24(8): 812–817.
 13. Rumalla K, Yarbrough CK, Pugely AJ, et al. Spinal fusion for pediatric spondylolisthesis: national trends, complications, and short-term outcomes[J]. *Neurosurgery*, 2018, 82(5): 701–709.
 14. Moreau S, Lonjon G, Guigui P, et al. Reduction and fusion in high-grade L5–S1 spondylolisthesis by a single posterior approach. Results in 50 patients[J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2016, 102(2): 233–237.
 15. 王正光, 王冰, 吕国华. 经后路 S1 截骨短节段固定联合 360° 环形融合治疗青少年重度峡部发育不良性滑脱[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2016, 26(3): 211–217.
 16. Thomas D, Bachy M, Courvoisier A, et al. Progressive restoration of spinal sagittal balance after surgical correction of lumbosacral spondylolisthesis before skeletal maturity[J]. *J Neurosurg Spine*, 2015, 22(3): 294–300.
 17. Mac-Thiong JM, Berthonnaud E, Dimar JR, et al. Sagittal alignment of the spine and pelvis during growth [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2004, 29(15): 1642–1647.
 18. Hanson DS, Bridwell KH, Rhee JM, et al. Correlation of pelvic incidence with low- and high-grade isthmic spondylolisthesis[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2002, 27(18): 2026–2029.
 19. Labelle H, Roussouly P, Berthonnaud, éric, et al. Spondylolisthesis, Pelvic Incidence, and Spinopelvic Balance [J]. *Spine*, 2004, 29(18): 2049–2054.
 20. Ferrero E, Ilharreborde B, Mas V, et al. Radiological and functional outcomes of high-grade spondylolisthesis treated by intrasacral fixation, dome resection and circumferential fusion: a retrospective series of 20 consecutive cases with a minimum of 2 years follow-up[J]. *Eur Spine J*, 2018, 27(8): 1940–1948.
 21. Gaines RW. L5 vertebrectomy for the surgical treatment of spondyloptosis: thirty cases in 25 years[J]. *Spine*, 2005, 30(6 Suppl): 66–70.
 22. Moreau S, Lonjon G, Guigui P, et al. Reduction and fusion in high-grade L5–S1 spondylolisthesis by a single posterior approach. Results in 50 patients[J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2016, 102(2): 233–237.
 23. Petraco DM, Spivak JM, Cappadona JG, et al. An anatomic evaluation of L5 nerve stretch in spondylolisthesis reduction [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1996, 21(10): 1133–1139.
 24. McLachlin SD, Saleh KA, Gurr KR, et al. Comparative assessment of sacral screw loosening augmented with PMMA versus a calcium triglyceride bone cement[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2010, 36(11): 699–704.
 25. 蒋彬, 王冰, 吕国华, 等. 腰骶段塌陷型结核后凸畸形后路截骨矫形术后内固定并发症的原因分析[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2019, 29(12): 1057–1064.
 26. Berthonnaud E, Dimnet J, 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.
 27. Akamaru T, Kawahara N, Tim Yoon S, et al. Adjacent segment motion after a simulated lumbar fusion in different sagittal alignments: a biomechanical analysis[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2003, 28(14): 1560–1566.
- (收稿日期:2020-05-27 修回日期:2020-06-19)
(英文编审 庄乾宇/谭 啸)
(本文编辑 姜雅浩)