

临床论著

固定至骨盆的长节段矫形手术治疗老年重度胸腰椎后凸畸形机械性并发症的危险因素分析

赵 耀, 漆龙涛, 徐贝宇, 李淳德, 于峥嵘, 孙浩林, 王诗军

(北京大学第一医院骨科 100034 北京市)

【摘要】目的:研究采用骶 2 骶髂(sacral-2 alar iliac, S2AI)螺钉固定至骨盆的长节段矫形手术治疗老年重度胸腰椎后凸畸形的机械性并发症的发生情况, 并对其危险因素进行分析。**方法:**回顾性分析 2015 年 1 月~2018 年 12 月因退行性胸腰椎重度后凸畸形于我院行长节段矫形手术且远端采用 S2AI 螺钉技术固定至髂骨的 23 例患者, 其中男 2 例, 女 21 例, 年龄 60~84 岁(68.0 ± 6.5 岁)。手术节段 9.1 ± 2.4 个, 随访 32.2 ± 6.2 个月。记录患者的并发症情况, 并根据末次随访时患者是否发生机械性并发症将患者分为 A 组(无机械性并发症)和 B 组(有机械性并发症)。比较两组患者术前及末次随访腰痛视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)、腰椎 Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)。比较两组患者的一般资料和术前、术后 1 个月及末次随访时的骨盆投射角(pelvic incidence, PI)、骨盆倾斜角(pelvic tilt, PT)、骶骨倾斜角(sacral slope, SS)、腰椎前凸(lumbar lordosis, LL)、骨盆腰椎匹配值(PI-LL)、胸椎后凸(thoracic kyphosis, TK)、胸腰段后凸(thoracolumbar kyphosis, TLK)、T1 骨盆角(T1 pelvic angle, TPA)、矢状垂直轴(sagittal vertical axis, SVA)、冠状面侧凸角(Cobb angle, CA)、冠状面偏移距离(C7 plumb line-center sacral vertical line, C7PL-CSVL)、矢状面全脊柱序列比例(global alignment and proportion, GAP)评分等。采用受试者工作特征(receiver operator characteristic, ROC)曲线分析评价术后 1 个月时矢状位参数对机械性并发症的预测价值, 并运用 Logistic 回归分析判断机械性并发症的危险因素。**结果:**末次随访时, 13 例患者未出现机械性并发症(A 组), 10 例患者出现机械性并发症(B 组); 4 例进行了翻修, 翻修率为 17.4%。两组患者性别、年龄、体质指数、骨密度、手术节段、手术时间、截骨方式、术中出血、随访时间均无统计学差异($P>0.05$)。术前两组患者 VAS 评分和 ODI 无统计学差异($P>0.05$)。末次随访 A 组患者 VAS 评分为 2.2 ± 0.9 分, ODI 为 $(28.6\pm 7.8)\%$, B 组患者 VAS 评分为 3.3 ± 1.2 分, ODI 为 $(49.5\pm 9.6)\%$, 均较术前明显改善, 且两组间有统计学差异($P<0.05$)。A 组术后 1 个月时 LL 为 $39.6\pm 6.7^\circ$, SS 为 $28.8\pm 8.5^\circ$, PI-LL 为 $11.4\pm 11.3^\circ$, GAP 评分为 6.9 ± 2.0 分。B 组术后 1 个月时 LL 为 $24.4\pm 9.9^\circ$, SS 为 $20.2\pm 8.6^\circ$, PI-LL 为 $22.7\pm 12.5^\circ$, GAP 评分为 10.9 ± 2.4 分。两组间有统计学差异($P<0.05$)。末次随访时 A 组 LL 为 $35.2\pm 8.5^\circ$, PI-LL 为 $17.3\pm 9.6^\circ$, B 组 LL 为 $16.3\pm 9.8^\circ$, PI-LL 为 $30.0\pm 12.1^\circ$, 两组间有统计学差异, 且均较术后 1 个月有统计学差异($P<0.05$)。术后 1 个月时的 SS、LL、PI-LL 及 GAP 评分预测机械性并发症的曲线下面积分别为 $0.762(P=0.035)$ 、 $0.896(P=0.001)$ 、 $0.754(P=0.041)$ 和 $0.885(P=0.002)$ 。最佳临界值分别为 24.1° 、 32.8° 、 12.0° 和 9.5 。多因素 Logistic 回归分析显示术后 1 个月的 LL 值 $<32.8^\circ$ 是机械性并发症的独立危险因素(OR: 48.0, 95%CI: 3.7~622.0, $P=0.003$)。**结论:**固定至骨盆的后路长节段矫形手术治疗老年重度后凸畸形术后仍存在较高的机械性并发症发生率, 建议术后应使 $SS>24.1^\circ$ 、 $LL>32.8^\circ$ 、 $PI-LL<12.0^\circ$ 。GAP 评分 ≥ 10 提示术后机械性并发症的发生风险高。

【关键词】 重度胸腰椎后凸畸形; 机械性并发症; S2AI 螺钉固定; GAP 评分

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2021.11.06

中图分类号: R687.3, R682.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2021)-11-0999-09

The risk factors analysis of the mechanical complications of long-segment orthopedic surgery with pelvic fixation for the treatment of severe kyphosis in the elderly/ZHAO Yao, QI Longtao, XU Beiyu, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2021, 31(11): 999-1007

【Abstract】Objectives: To investigate the mechanical complications of long-segment orthopedic surgery with sacral-2 alar iliac (S2AI) screws fixed to the pelvis for the treatment of severe kyphosis in the elderly, and

第一作者简介: 男(1987-), 主治医师, 医学博士, 研究方向: 脊柱退行性疾病

电话: (010)83572642 E-mail: zhaoyaopufh@163.com

通讯作者: 李淳德 E-mail: lichunde@vip.sina.com

analyze the risk factors. **Methods:** Patients with severe degenerative thoracolumbar kyphosis who had been placed with S2AI screws for long segment fusion from January 2015 to December 2018 were retrospectively reviewed. A total of 23 patients were recruited, comprising 2 men and 21 women(average age: 68.0 ± 6.5 years, range: 60–84 years). The surgical segment was 9.1 ± 2.4 , and the follow-up time was 32.2 ± 6.2 months. The complications of the patients were recorded. Based on the occurrence of postoperative mechanical complications, the patients were divided into group A(no mechanical complications) and group B(with mechanical complications). Visual analogue scale(VAS) for back pain and the lumbar Oswestry disability index(ODI) were compared between the two groups preoperatively and at final follow-up. The pelvic incidence(PI), pelvic tilt(PT), sacral slope(SS), lumbar lordosis(LL), pelvic incidence – lumbar lordosis(PI–LL) mismatch, thoracic kyphosis(TK), thoracolumbar kyphosis(TLK), T1 pelvic angle(TPA), sagittal vertical axis(SVA), Cobb angle(CA), C7 plumb line–center sacral vertical line(C7PL–CSVL), global alignment and proportion(GAP) score were compared between the two groups preoperatively, 1 month postoperatively and at final. Receiver operator characteristic(ROC) curve analysis was used to evaluate the predictive value of sagittal parameters at 1 month postoperatively for mechanical complications, and Logistic regression analysis was performed to determine the risk factors of mechanical complications. **Results:** At final follow-up, 13 patients had no mechanical complications (group A), 10 patients had mechanical complications(group B), 4 patients underwent revision, and the revision rate was 17.4%. There were no significant differences in gender, age, body mass index, bone density, fixed segment, operation time, method of osteotomy, intraoperative bleeding, and follow-up period between the two groups($P>0.05$). There were no significant differences in VAS score and ODI between the two groups preoperatively($P>0.05$). At final follow-up, the VAS score was 2.2 ± 0.9 and ODI was $(28.6\pm7.8)\%$ in group A. The VAS score was 3.3 ± 1.2 and ODI was $(49.5\pm9.6)\%$ in group B. Both values of the two groups were significantly improved compared with those preoperatively, and the differences between the two groups were significant($P<0.05$). In group A, $LL=39.6^\circ\pm6.7^\circ$, $SS=28.8^\circ\pm8.5^\circ$, $PI-LL=11.4^\circ\pm11.3^\circ$, and the GAP score was 6.9 ± 2.0 at 1 month postoperatively. In group B, $LL=24.4^\circ\pm9.9^\circ$, $SS=20.2^\circ\pm8.6^\circ$, $PI-LL=22.7^\circ\pm12.5^\circ$, and the GAP score was 10.9 ± 2.4 at 1 month postoperatively. The differences were significant between the two groups ($P<0.05$). At final follow-up, $LL=35.2^\circ\pm8.5^\circ$, $PI-LL=17.3^\circ\pm9.6^\circ$ in group A, and $LL=16.3^\circ\pm9.8^\circ$, $PI-LL=30.0^\circ\pm12.1^\circ$ in group B. The differences were significant between the two groups, and both were significantly different from 1 month postoperatively($P<0.05$). The area under the curve for predicting mechanical complications of SS, LL, PL–LL and GAP scores at 1 month postoperatively were $0.762(P=0.035)$, $0.896(P=0.001)$, $0.754(P=0.041)$ and $0.885(P=0.002)$, respectively, and the best cutoff values were 24.1° , 32.8° , 12.0° and 9.5 respectively. Multivariate logistic regression analysis showed that $LL<32.8^\circ$ at 1 month postoperatively was an independent risk factor for mechanical complications(OR: 48.0, 95%CI: 3.7–622.0, $P=0.003$). **Conclusions:** There was still a high incidence of mechanical complications after the long-segment orthopedic surgery fixed to the pelvis for the treatment of severe kyphosis in the elderly. We recommended postoperative $SS>24.1^\circ$, $LL>32.8^\circ$, $PI-LL<12.0^\circ$. Postoperative GAP score ≥ 10 indicated a high risk of mechanical complications.

【Key words】 Severe kyphosis; Mechanical complication; S2AI screw; GAP score

【Author's address】 Department of Spine Surgery, Peking University First Hospital, Beijing, 100034, China

随着人口老龄化的进展,老年脊柱退行性畸形患者的人数不断增加,研究报道^[1]60岁以上人群脊柱畸形的发生率可达60%。近年来,脊柱外科医生已经逐渐认识到矢状位平衡与患者的健康相关生活质量密切相关^[2,3]。脊柱矢状位重度失衡[矢状垂直轴(sagittal vertical axis,SVA) $>9.5\text{cm}$]的患者可出现腰背部严重疼痛及神经压迫症状,日常活动明显受限,还可能影响心肺功能、消化功能、心理健康^[4]等。然而,脊柱畸形的手术治疗难

度高,风险大,长节段后路矫形手术远端终止于S1时并发症发生率较高^[5],长期随访结果显示假关节形成的概率可达24%^[6]。2007年Kebaish等^[7]提出了骶2骶髂(sacral-2 alar iliac,S2AI)螺钉固定技术。长节段固定的生物力学测试结果显示S2AI螺钉固定能显著降低脊柱腰骶段屈、伸、侧屈、旋转的活动度以及S1螺钉所受的应力^[8]。文献报道其主要适用于需融合至骶骨的长节段(≥ 5 个椎体)脊柱手术,尤其是脊柱矫形手术,如退行

性脊柱侧凸、伴有矢状位失衡的僵硬性侧后凸、医源性平背畸形等^[9]。目前 S2AI 螺钉在临床中的运用逐渐增加,然而国内暂缺乏置入 S2AI 螺钉的长节段矫形手术术后机械性并发症的相关文献。本研究旨在观察采用长节段矫形手术且远端采用 S2AI 螺钉技术固定至髂骨治疗老年重度后凸畸形的机械性并发症情况,并对其相关危险因素进行分析,从而为降低术后机械性并发症发生率提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析 2015 年 1 月~2018 年 12 月因退行性胸腰椎重度后凸畸形($PI-LL>30^\circ$)于我院接受长节段矫形手术且远端采用 S2AI 螺钉技术固定至髂骨的患者共 23 例,其中男性 2 例,女性 21 例,年龄 60~84 岁,平均 68.0 ± 6.5 岁。

纳入标准:(1)患者年龄 ≥ 60 岁;(2) $PI-LL>30^\circ$;(3)重度后凸畸形,行后路矫形长节段固定融合手术,固定节段数 ≥ 5 节;(4)内固定远端采用 S2AI 螺钉固定至骨盆;(5)可伴有侧凸畸形及腰椎间盘突出、腰椎管狭窄、腰椎滑脱、陈旧椎体压缩性骨折等病变。排除标准:(1)未能完成术后 2 年随访或资料不全;(2)既往有脊柱内固定手术病史;(3)合并有感染、肿瘤、代谢性骨病、凝血异常等;(4)因神经压迫引起的姿势性后凸。

术前完善患者腰椎正侧位、脊柱全长 X 线片及腰椎 MRI 检查。术后 1 个月及末次随访完善脊柱全长 X 线片检查。对随访过程中观察到并发症的患者记录并发症的类型,按需进一步完善 CT 及 MRI 等检查。根据术后是否发生机械性并发症,将患者分为 A 组(无机械性并发症组)和 B 组(有机械性并发症组)。本研究获得北京大学第一医院伦理委员会批准[2021-149]。

1.2 手术步骤

患者采用全身麻醉,俯卧位,常规后路分离椎旁肌,切口远端至 S2 棘突水平。S2AI 螺钉进针点选择 S1、S2 骶孔外缘连线的中点。必要时同一侧可置入 2 枚 S2AI 螺钉,将 S1、S2 孔之间的距离平分,两颗螺钉分别位于两块区域的中点。术中 CT 扫描后于导航下置入 S2AI 螺钉。进针方向冠状面外展约 $30^\circ\sim 40^\circ$,矢状面尾偏约 $20^\circ\sim 30^\circ$ 。螺钉突破骶髂关节进入髂骨后探查确认前、后、上、下四

壁的完整性。选择直径 7.5mm、长度 60~80mm 的 S2AI 螺钉。置钉完成后行术中 CT 确认螺钉位置良好。对于骨密度 <-2.5 的患者(9 例),酌情在 S1、L5、后凸顶椎、近端椎置入骨水泥螺钉行椎体强化,及近端椎上位椎体行经皮穿刺椎体强化。有 7 例患者于后凸或侧凸顶椎行 PSO 截骨+多节段 Ponte 截骨,余患者行多节段 Ponte 截骨。合并椎管狭窄、腰椎间盘突出或腰椎滑脱的节段充分减压,酌情选择椎间融合。手术固定节段行椎板间及横突间充分植骨。放置伤口引流管,依次缝合肌肉筋膜、皮下组织和皮肤。术后第二天患者可佩戴支具下地活动,并请理疗科予康复治疗。术后 3~5d 拔除引流管,术后 1 周左右出院。

1.3 观察指标

记录患者并发症的情况。术前及末次随访时记录患者的腰痛 VAS 评分和 ODI。采用 Surgimap 2.0 软件(Medicrea, New York)在术前、术后 1 个月及末次随访站立位脊柱全长正侧位 X 线片上测量影像学参数。

脊柱冠状面参数:(1)冠状面侧凸角(Cobb angle, CA),上端椎上终板与下端椎下终板间的夹角;(2)冠状面偏移距离(C7 plumb line-center sacral vertical line, C7PL-CSVL),C7 铅垂线与骶骨中垂线间的水平距离。

骨盆参数:(1)骨盆投射角(pelvic incidence, PI),髋轴(双股骨头中心连线的中点)与骶骨平台中点的连线和骶骨平台垂线间的夹角;(2)骨盆倾斜角(pelvic tilt, PT),髋轴与骶骨平台中点的连线和水平垂线间的夹角;(3)骶骨倾斜角(sacral slope, SS),骶骨平台与水平线间的夹角。

脊柱矢状面参数:(1)腰椎前凸角(lumbar lordosis, LL),L1 椎体上终板与骶骨平台间的夹角,前凸角度记为正值,后凸角度记为负值;(2)胸椎后凸角(thoracic kyphosis, TK),T4 椎体上终板与 T12 椎体下终板间的夹角;(3)胸腰段后凸角(thoracolumbar kyphosis, TLK),T10 椎体上终板与 L2 椎体下终板间的夹角,前凸角度记为负值,后凸角度记为正值;(4)T1 骨盆角(T1 pelvic angle, TPA),T1 椎体中心与髋轴的连线和髋轴与骶骨平台中点连线间的夹角;(5)SVA, C7 铅垂线与骶骨后上角之间的水平距离,位于骶骨后上角前方记为正值,后方记为负值;(6)骨盆腰椎匹配值($PI-LL$),PI 和 LL 的差值。

矢状面全脊柱序列比例 (global alignment and proportion, GAP) 评分按照 Yilgor 等^[10]提出的 GAP 评分方法进行计算。

1.4 统计学分析

采用 SPSS 22.0 进行数据统计分析, 计算各参数的平均值及标准差。术前术后参数采用配对样本 t 检验。比较两组间参数时, 对符合正态分布的计量资料进行独立样本 t 检验, 对不符合正态分布的计量资料进行独立样本 Mann-Whitney U 检验。对计数资料采取 Fisher 确切概率法。采用受试者工作特征 (receiver operator characteristic, ROC) 曲线分析评价术后 1 个月时的矢状位参数对机械性并发症的预测价值, 并运用 Logistic 回归分析判断机械性并发症的危险因素。 $P < 0.05$ 定义为差异有统计学意义。

2 结果

末次随访时 13 例患者未出现机械性并发症 (A 组, 图 1), 10 例患者出现机械性并发症 (B 组, 图 2), 两组患者性别、年龄、体质指数、骨密度、固定节段、手术时间、截骨等级、术中出血、随访时间等均无统计学差异 ($P > 0.05$, 表 1)。

2.1 并发症情况

1 例患者手术结束后发现左胫骨前肌肌力 0 级, 手术当天予甲强龙冲击治疗, 术后第 1 天手术探查, 见 L4/5 节段黄韧带肥厚, 行 L4/5 节段减压, 术后予积极营养神经治疗及康复锻炼, 术后半年左胫骨前肌肌力恢复至 4 级。2 例患者因近端交界处失败 (proximal junctional failure, PJF) 行翻修手术 (1 例为近端螺帽脱落, 1 例为椎管狭窄致下肢肌力减弱)。1 例因双侧连接杆断裂 (合并远端螺钉松动) 行翻修手术。翻修手术率为 17.4%。还有 1 例断棒、1 例远端螺钉松动、5 例近端交界性后凸 (proximal junctional kyphosis, PJK)、1 例浅表伤口感染患者, 均予保守治疗。

2.2 临床功能评分

两组术前和末次随访时临床功能评分见表 2。术前两组患者 VAS 评分和 ODI 差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。末次随访时两组患者 VAS 评分和 ODI 均较术前明显改善 ($P < 0.05$), 且两组间差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。

2.3 影像学参数

A 组有 9 例合并退行性侧凸, B 组有 8 例合并退行性侧凸, 差异无统计学意义 ($P = 0.581$)。两组合并退行性侧凸患者术前、术后 1 个月和末次随访时的冠状位影像学指标测量结果比较见表

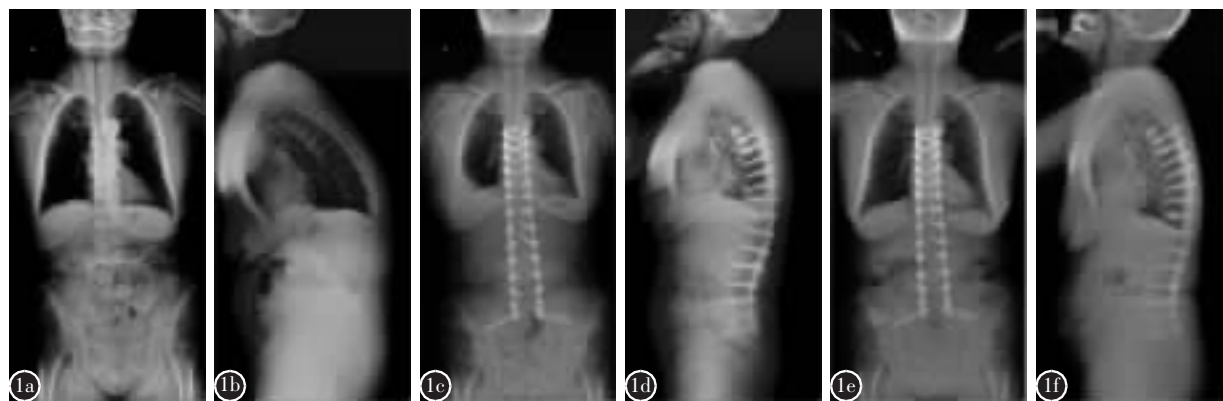


图 1 A 组患者, 女, 78 岁, 肌源性后凸畸形 a、b 术前脊柱全长正侧位 X 线片示 $PI=39.5^\circ$, $PT=34.2^\circ$, $SS=5.3^\circ$, $LL=3.5^\circ$, $PI-LL=35.9^\circ$, $TK=47.1^\circ$, $TLK=50.3^\circ$, $TPA=42.5^\circ$, $SVA=15.9\text{cm}$ c、d 患者固定节段为 T6 至髂骨, 术后 1 个月脊柱全长正侧位 X 线片示 $PI=44.8^\circ$, $PT=27.1^\circ$, $SS=17.6^\circ$, $LL=30.5^\circ$, $PI-LL=14.2^\circ$, $TK=39.1^\circ$, $TLK=16.6^\circ$, $TPA=23.8^\circ$, $SVA=5.6\text{cm}$, GAP 评分 8 分 e、f 术后 32 个月脊柱全长正侧位 X 线片示 $PI=46.6^\circ$, $PT=29.2^\circ$, $SS=17.4^\circ$, $LL=30.5^\circ$, $PI-LL=16.1^\circ$, $TK=41.2^\circ$, $TLK=17.8^\circ$, $TPA=28.4^\circ$, $SVA=7.4\text{cm}$

Figure 1 A 78 years old female, diagnosed with degenerative kyphosis(myogenic), no mechanical complication a, b The full-length X-ray of the spine preoperatively showed $PI=39.5^\circ$, $PT=34.2^\circ$, $SS=5.3^\circ$, $LL=3.5^\circ$, $PI-LL=35.9^\circ$, $TK=47.1^\circ$, $TLK=50.3^\circ$, $TPA=42.5^\circ$, and $SVA=15.9\text{cm}$ c, d (Fusion from T6 to the ilium) The full-length X-ray of the spine at 1 month postoperatively showed $PI=44.8^\circ$, $PT=27.1^\circ$, $SS=17.6^\circ$, $LL=30.5^\circ$, $PI-LL=14.2^\circ$, $TK=39.1^\circ$, $TLK=16.6^\circ$, $TPA=23.8^\circ$, $SVA=5.6\text{cm}$, GAP score=8 e, f At 32 months postoperatively, the full-length X-ray of the spine showed $PI=46.6^\circ$, $PT=29.2^\circ$, $SS=17.4^\circ$, $LL=30.5^\circ$, $PI-LL=16.1^\circ$, $TK=41.2^\circ$, $TLK=17.8^\circ$, $TPA=28.4^\circ$, and $SVA=7.4\text{cm}$

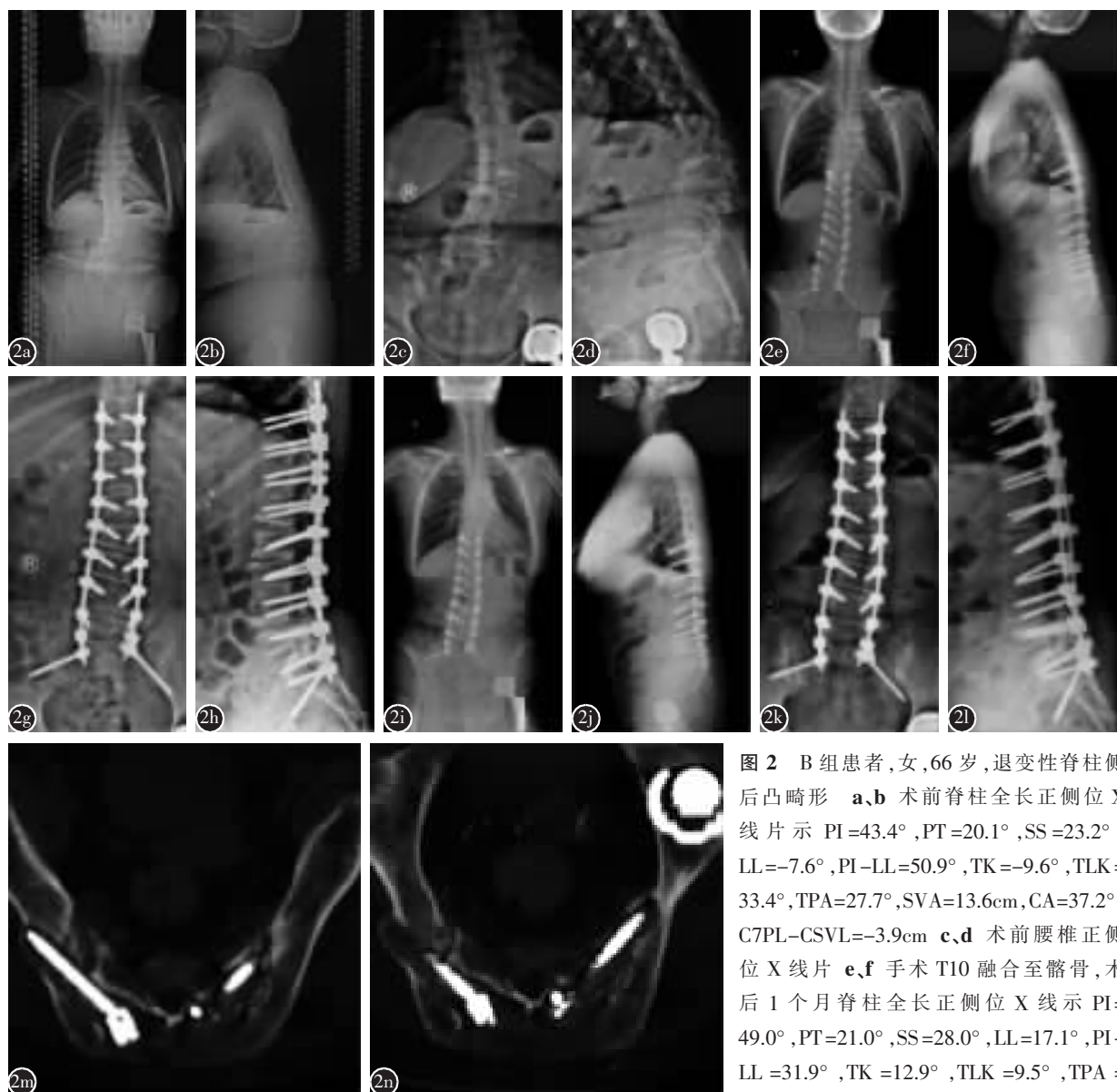


图 2 B 组患者,女,66 岁,退变性脊柱侧后凸畸形 a、b 术前脊柱全长正侧位 X 线片示 $PI=43.4^{\circ}$, $PT=20.1^{\circ}$, $SS=23.2^{\circ}$, $LL=-7.6^{\circ}$, $PI-LL=50.9^{\circ}$, $TK=-9.6^{\circ}$, $TLK=33.4^{\circ}$, $TPA=27.7^{\circ}$, $SVA=13.6\text{cm}$, $CA=37.2^{\circ}$, $C7PL-CSVL=-3.9\text{cm}$ c、d 术前腰椎正侧位 X 线片 e、f 手术 T10 融合至髂骨,术后 1 个月脊柱全长正侧位 X 线片示 $PI=49.0^{\circ}$, $PT=21.0^{\circ}$, $SS=28.0^{\circ}$, $LL=17.1^{\circ}$, $PI-LL=31.9^{\circ}$, $TK=12.9^{\circ}$, $TLK=9.5^{\circ}$, $TPA=28.9^{\circ}$, $SVA=13.2\text{cm}$, $CA=17.5^{\circ}$, $C7PL-CSVL=-3.8\text{cm}$ 矢状位恢复不理想, GAP 评分 12 分 g、h 术后 1 个月腰椎正侧位 X 线片 i、j 术后 24 个月脊柱全长正侧位 X 线片示 $PI=48.2^{\circ}$, $PT=24.7^{\circ}$, $SS=23.4^{\circ}$, $LL=13.3^{\circ}$, $PI-LL=34.8^{\circ}$, $TK=7.2^{\circ}$, $TLK=7.2^{\circ}$, $TPA=26.8^{\circ}$, $SVA=8.7\text{cm}$, $CA=20.0^{\circ}$, $C7PL-CSVL=-2.7\text{cm}$ k、l 术后 24 个月腰椎正侧位 X 线片上可见 S2AI 螺钉周围明显透亮带 m、n 术后 24 个月 CT 检查显示 S2AI 螺钉周围骨密度减低,骨皮质膨胀、变薄,存在远端螺钉松动

矢状位恢复不理想, GAP 评分 12 分 g、h 术后 1 个月腰椎正侧位 X 线片 i、j 术后 24 个月脊柱全长正侧位 X 线片示 $PI=48.2^{\circ}$, $PT=24.7^{\circ}$, $SS=23.4^{\circ}$, $LL=13.3^{\circ}$, $PI-LL=34.8^{\circ}$, $TK=7.2^{\circ}$, $TLK=7.2^{\circ}$, $TPA=26.8^{\circ}$, $SVA=8.7\text{cm}$, $CA=20.0^{\circ}$, $C7PL-CSVL=-2.7\text{cm}$ k、l 术后 24 个月腰椎正侧位 X 线片上可见 S2AI 螺钉周围明显透亮带 m、n 术后 24 个月 CT 检查显示 S2AI 螺钉周围骨密度减低,骨皮质膨胀、变薄,存在远端螺钉松动

Figure 2 A 66 years old female, diagnosed with degenerative kyphoscoliosis deformity with mechanical complication a, b The full-length X-ray of the spine preoperatively showed $PI=43.4^{\circ}$, $PT=20.1^{\circ}$, $SS=23.2^{\circ}$, $LL=-7.6^{\circ}$, $PI-LL=50.9^{\circ}$, $TK=-9.6^{\circ}$, $TLK=33.4^{\circ}$, $TPA=27.7^{\circ}$, $SVA=13.6\text{cm}$, $CA=37.2^{\circ}$, and $C7PL-CSVL=-3.9\text{cm}$ c, d Lumbar anteroposterior and lateral X-ray preoperatively e, f Fusion from T10 to the ilium, the full-length X-ray of the spine at 1 month postoperatively showed $PI=49.0^{\circ}$, $PT=21.0^{\circ}$, $SS=28.0^{\circ}$, $LL=17.1^{\circ}$, $PI-LL=31.9^{\circ}$, $TK=12.9^{\circ}$, $TLK=9.5^{\circ}$, $TPA=28.9^{\circ}$, $SVA=13.2\text{cm}$, $CA=17.5^{\circ}$, and $C7PL-CSVL=-3.8\text{cm}$. The sagittal correction was not satisfactory, GAP score=12 g, h Lumbar anteroposterior and lateral X-ray at 1 month postoperatively i, j At 24 months postoperatively, the full-length X-ray of the spine showed $PI=48.2^{\circ}$, $PT=24.7^{\circ}$, $SS=23.4^{\circ}$, $LL=13.3^{\circ}$, $PI-LL=34.8^{\circ}$, $TK=7.2^{\circ}$, $TLK=7.2^{\circ}$, $TPA=26.8^{\circ}$, $SVA=8.7\text{cm}$, $CA=20.0^{\circ}$, and $C7PL-CSVL=-2.7\text{cm}$ k, l At 24 months postoperatively, the lumbar anteroposterior and lateral X-ray showed obvious radiolucent zone around the S2AI screws m, n At 24 months postoperatively, CT examination showed that the bone around the S2AI screws was absorbed, the cortical bone expanded and thinned, suggesting the loosening of the S2AI screws

3。术后 1 个月及末次随访 CA 和 C7PL-CSVL 均较术前明显改善($P<0.05$),术后 1 个月及末次随访两组间 CA 和 C7PL-CSVL 差异无统计学意义

表 1 两组患者一般资料

Table 1 General data of the two groups			
	A组(n=13) Group A	B组(n=10) Group B	P值 P value
性别(n)Gender			0.165
男 Male	2	0	
女 Female	11	10	
年龄(岁)Age	68.5±6.3	67.5±7.0	0.733
体质指数(kg/m ²) Body mass index	23.9±3.4	26.5±3.7	0.097
骨密度 T 值 Bone mass density T value	-2.18±0.67	-2.21±0.73	0.926
固定节段 Fixed segments	9.6±2.8	8.4±1.7	0.235
手术时间(min) Operation time	336.9±71.8	325.0±78.6	0.709
截骨等级 Osteotomy classification			0.405
二级截骨 Grade II	10	6	
三级截骨 Grade III	3	4	
术中出血(ml) Intraoperative bleeding	815.4±433.7	905.0±477.5	0.643
随访时间(月) Follow-up time	32.9±7.3	31.3±4.5	0.564

表 2 术前和末次随访时临床功能评分

Table 2 The comparison of clinical function scores between preoperation and final follow-up

	术前 Preoperatively		末次随访 Final follow-up	
	A组(n=13) Group A	B组(n=10) Group B	A组(n=13) Group A	B组(n=10) Group B
VAS评分(分) VAS score	7.5±1.9	7.1±1.1	2.2±0.9 ^①	3.3±1.2 ^{①②}
ODI(%)	64.2±7.0	66.5±10.3	28.6±7.8 ^①	49.5±9.6 ^{①②}

注:①与术前比较 $P<0.05$;②与同时点 A 组比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with preoperatively, $P<0.05$; ②Compared with group A at the same time, $P<0.05$

表 3 两组合并退变性侧凸患者的冠状位影像学参数比较

Table 3 The comparison of coronal radiological results of patients combined with degenerative scoliosis

	术前 Preoperatively		术后 1 个月 1 month postoperatively		末次随访 Final follow-up	
	A组(n=9) Group A	B组(n=8) Group B	A组(n=9) Group A	B组(n=8) Group B	A组(n=9) Group A	B组(n=8) Group B
Cobb角(°) Cobb angle	34.9±9.0	21.5±12.2 ^①	18.6±7.7 ^②	13.5±7.8 ^②	18.9±8.2 ^②	13.5±8.9 ^②
冠状面偏移距离(cm) C7PL-CSVL	2.9±3.0	2.4±2.0	1.2±0.7	1.8±1.7	0.8±0.4	1.1±0.5

注:①与同时点 A 组比较 $P<0.05$;②与术前比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with group A at the same time, $P<0.05$; ②Compared with preoperatively, $P<0.05$; C7PL-CSVL, C7 plumb line-center sacral vertical line

($P>0.05$)。

术前、术后 1 个月和末次随访时 A、B 两组的矢状位影像学指标测量结果比较见表 4。术前 A、B 两组 LL 差异有统计学意义($P<0.05$),余矢状位参数差异无统计学意义($P>0.05$)。术后 1 个月时, B 组 PI 增加 $3.7^\circ\pm 3.9^\circ$,与术前相比差异有统计学意义($P<0.05$)。两组 TK 和 TLK 较术前变化无统计学差异($P>0.05$);而 PT、SS、LL、PI-LL、TPA、SVA 均较术前明显改善($P<0.05$)。两组间 SS、LL、PL-LL 及 GAP 评分差异有统计学差异($P<0.05$)。术后末次随访与术后 1 个月时相比, A 组 LL 减小 $4.4^\circ\pm 4.7^\circ$ 、PI-LL 增加 $5.9^\circ\pm 5.6^\circ$ 、TPA 增加 $5.4^\circ\pm 6.1^\circ$ 、SVA 增加 $3.1^\circ\pm 4.7^\circ$ 、B 组 LL 减小 $8.1^\circ\pm 7.3^\circ$ 、PI-LL 增加 $7.4^\circ\pm 10.2^\circ$ 、TPA 增加 $5.8^\circ\pm 7.8^\circ$ 、SVA 增加 $4.5^\circ\pm 5.7^\circ$ cm,均较术后 1 个月差异有统计学意义($P<0.05$)。比较两组间 LL、PI-LL、TPA、SVA 的改变值,差异无统计学意义($P>0.05$)。术后末次随访两组间 SS、LL、PI-LL、SVA 差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.4 ROC 曲线

以术后 1 个月时 SS、LL、PL-LL 及 GAP 评分预测手术机械性并发症绘制 ROC 曲线,结果显示 SS 曲线下面积 0.762($P=0.035$),约登指数 0.469,界值 24.1° ;LL 曲线下面积 0.896($P=0.001$),约登指数 0.723,界值 32.8° ;PI-LL 曲线下面积 0.754($P=0.041$),约登指数 0.415,界值 12.0° ;GAP 评分曲线下面积 0.885($P=0.002$),约登指数 0.723,界值 9.5。

2.5 Logistic 回归分析

将术后 1 个月时两组间有差异的矢状位参数进行单因素 Logistics 二元回归分析,结果见表 5。术前 LL 和术后 1 个月时 LL 为术后机械性并发症的潜在危险因素($P<0.05$)。多因素 Logistic 回归

分析显术后 1 个月时 $LL < 32.8^\circ$ 为术后机械性并发症的独立危险因素 (OR:48.0, 95% CI:3.7 ~ 622.0, $P=0.003$)。

3 讨论

Scheer 等^[11]分析了 138 例年龄 63.3 ± 11.5 岁的重度矢状位失衡 ($PI-LL \geq 30^\circ$) 患者, 手术并发症发生率高达 74.6%, 其中机械性并发症发生率为 30.4%。本研究中有 10 例患者发生机械性并发症, 比例为 43.5%, 最常见的类型为 PJK, 发生率为 21.7%, 翻修率为 17.4%。既往报道 PJK 的危险因素包括: 高龄、后方张力带破坏、前后联合手术、

融合至骶骨/骨盆、上端固定椎的选择、棒的硬度、矫形不足或过度矫形、肌少症等^[12]。Unoki 等^[13]分析了长节段融合手术远端固定至 L5、骶骨及运用 S2AI 螺钉技术固定至骨盆的患者, PJK 的发生率分别为 23.3%、30.4% 和 29.2%, 并无显著性差异, 提示 S2AI 螺钉固定技术并不会增加患者 PJK 的风险。本研究中末次随访时有 2 例患者 (8.7%) 出现 S2AI 螺钉松动症状, 表现为骶髂关节疼痛, 均予保守治疗, 回顾病历, 其骨密度分别为 -2.91 和 -2.84, 考虑与骨质疏松相关。文献报道 S2AI 螺钉的断钉率为 0~1.0%, 1 年以上随访 7.8%~10.4% 的患者 S2AI 螺钉出现影像学可见螺钉周

表 4 两组患者脊柱—骨盆矢状位影像学测量结果比较

Table 4 The comparison of spino-pelvic sagittal radiological results

	术前 Preoperation		术后 1 个月 At 1 month postoperation		末次随访 Final follow-up	
	A组 (n=13) Group A	B组 (n=10) Group B	A组 (n=13) Group A	B组 (n=10) Group B	A组 (n=13) Group A	B组 (n=10) Group B
骨盆投射角 ($^\circ$) Pelvic incidence	49.8 $\pm$ 12.3	43.4 $\pm$ 9.9	51.1 $\pm$ 10.7	47.1 $\pm$ 11.3 ^①	52.5 $\pm$ 10.1	46.4 $\pm$ 11.1 ^①
骨盆倾斜角 ($^\circ$) Pelvic tilt	35.6 $\pm$ 9.3	33.6 $\pm$ 11.6	22.3 $\pm$ 11.1 ^①	26.9 $\pm$ 10.4 ^①	25.1 $\pm$ 11.8 ^①	28.1 $\pm$ 11.9 ^①
骶骨倾斜角 ($^\circ$) Sacral slope	14.2 $\pm$ 9.4	9.8 $\pm$ 8.5	28.8 $\pm$ 8.5 ^①	20.2 $\pm$ 8.6 ^{①②}	27.4 $\pm$ 8.1 ^①	18.3 $\pm$ 6.4 ^{①②}
腰椎前凸 ($^\circ$) Lumbar lordosis	12.8 $\pm$ 11.6	-0.9 $\pm$ 10.2 ^②	39.6 $\pm$ 6.7 ^②	24.4 $\pm$ 9.9 ^{①②}	35.2 $\pm$ 8.5 ^{①③}	16.3 $\pm$ 9.8 ^{①②③}
骨盆腰椎匹配值 ($^\circ$) PI-LL	37.0 $\pm$ 5.4	44.3 $\pm$ 14.3	11.4 $\pm$ 11.3 ^②	22.7 $\pm$ 12.5 ^{①②}	17.3 $\pm$ 9.6 ^{①③}	30.0 $\pm$ 12.1 ^{①②③}
胸椎后凸 ($^\circ$) Thoracic kyphosis	17.9 $\pm$ 15.4	13.6 $\pm$ 19.6	22.5 $\pm$ 11.6	20.6 $\pm$ 8.7	27.9 $\pm$ 10.3 ^{①③}	23.2 $\pm$ 14.7
胸腰段后凸 ($^\circ$) Thoracolumbar kyphosis	18.8 $\pm$ 21.4	18.5 $\pm$ 19.8	13.8 $\pm$ 11.1	17.6 $\pm$ 8.6	16.4 $\pm$ 13.0	19.6 $\pm$ 8.9
T1 骨盆角 ($^\circ$) T1 pelvic angle	33.6 $\pm$ 7.8	36.2 $\pm$ 17.2	18.7 $\pm$ 10.0 ^①	24.5 $\pm$ 10.5 ^①	24.2 $\pm$ 10.5 ^{①③}	30.3 $\pm$ 11.2 ^③
矢状垂直轴 (cm) Sagittal vertical axis	6.8 $\pm$ 5.5	11.3 $\pm$ 5.9	2.7 $\pm$ 3.7 ^①	5.8 $\pm$ 4.7 ^①	5.8 $\pm$ 3.1 ^③	10.3 $\pm$ 3.4 ^{①③}
GAP 评分 (分) GAP score	—	—	6.9 $\pm$ 2.0	10.9 $\pm$ 2.4 ^②	—	—

注: ①与术前比较 $P < 0.05$; ②与同时点 A 组比较 $P < 0.05$; ③与术后 1 个月比较 $P < 0.05$

Note: ①Compared with preoperation, $P < 0.05$; ②Compared with group A at the same time, $P < 0.05$; ③Compared with 1 month postoperation, $P < 0.05$

表 5 机械性并发症组间差异变量的单因素逻辑回归分析

Table 5 Univariate logistic regression analysis of significantly different variables for the factors associated with mechanical complications

	偏回归系数 B	标准误 SE	Wald 统计量	P 值 P value	优势比 OR	95% 可信区间 95% CI
术前腰椎前凸 Preoperative lumbar lordosis	-0.168	0.084	3.963	0.047	0.846	0.717~0.997
术后 1 个月时骶骨倾斜角 Sacral slope at 1 month postoperative	-0.139	0.072	3.763	0.052	0.87	0.756~1.001
术后 1 个月时腰椎前凸 Lumbar lordosis at 1 month postoperative	-0.286	0.135	4.504	0.034	0.751	0.577~0.978
术后 1 个月时骨盆腰椎匹配值 PI-LL at 1 month postoperative	0.086	0.045	3.678	0.055	1.09	0.998~1.191

围透亮带,与本研究相符^[14,15]。

本研究患者年龄 68.0 ± 6.5 岁,属于老年患者。脊柱矢状位平衡受多种因素影响,脊柱的自然退变过程即伴随着矢状位正平衡的增加。年龄是影响矢状位平衡的一项重要因素。对于老年后凸畸形患者,脊柱退变的病程长,椎间盘、关节突、椎旁韧带、肌肉等结构长期适应正平衡状态,术后即刻矫正至“理想”状态可能并不能改善手术疗效,反而增加机械性并发症的发生率。成人脊柱畸形的 SRS-schwab 分型^[18]提出了 3 项矢状位修正参数:PT、PI-LL 和 SVA。Lafage 等^[17]指出对于 75 岁以上的老年人,理想的矢状位参数 $PT=28.5^\circ$, $PI-LL=16.7^\circ$, $SVA=7.8\text{cm}$ 。本研究 A 组患者术后末次随访时 $PT=25.1^\circ \pm 11.8^\circ$, $PI-LL=17.3^\circ \pm 9.6^\circ$, $SVA=5.8 \pm 3.1\text{cm}$,均处于 SRS-schwab 分型矢状位修正参数的“+”组。术后患者均处于适度正平衡状态,而临床 VAS 评分和 ODI 均有显著改善。提示对高龄患者不必过度矫正至 $LL=PI \pm 9^\circ$ 的状态。Zhang 等^[19]对 44 例年龄 65.1 ± 2.8 岁的脊柱畸形患者行长节段矫形手术,建议术后 $PI-LL$ 介于 $10^\circ \sim 20^\circ$ 。

本研究中两组患者术后的 VAS 评分及 ODI 均较术前明显改善,且 A 组患者末次随访 VAS 评分及 ODI 明显小于 B 组,证实发生机械性并发症会显著降低手术效果。本研究 B 组患者术前 $LL=-0.9^\circ \pm 10.2^\circ$,为后凸曲线,而 A 组患者 $LL=12.8^\circ \pm 11.6^\circ$,B 组患者术前矢状位失衡程度更重,手术需要矫形的度数更大。提示重度胸腰椎后凸的患者术后机械性并发症的风险更高,因此术前应详细评估患者矢状位状态,设计合理的手术方案纠正失衡。

术后 1 个月时,A 组矢状位状态明显优于 B 组。ROC 曲线分析提示术后 1 个月 SS、LL、PI-LL 及 GAP 评分对于机械性并发症有一定预测价值,多因素 Logistic 回归分析显示术后 1 个月的 $LL < 32.8^\circ$ 是机械性并发症发生的独立危险因素,均提示机械性并发症的发生与术后矢状位矫正不足显著相关,突显了重建 LL 适度恢复矢状位平衡的重要性。LL 可分为上下两段。下腰椎前凸与 SS 相等,正常下腰椎前凸约占总前凸曲线 2/3,故在术中尤其应注意对于 L4~S1 前凸的恢复。因此我们建议在 L4/5、L5/S1 节段进行椎间隙松解和撑开,放置前凸角度大的椎间融合器以恢复局部前凸角,获得术后良好的 SS 值,纠正骨盆后倾。对于上

腰椎前凸,则可适当通过椎间隙松解、后方多节段 Ponte 截骨等手段重建前凸。对于节段后凸较大的部位则需考虑行 PSO 截骨。

末次随访时两组患者 PI、PT、SS 和 TLK 较术后 1 个月无明显变化,LL 显著减小,PI-LL、TPA 和 SVA 显著增加。患者行长节段固定融合,骨盆处于相对稳定状态,随访过程中矢状位矫正效果的丢失主要由腰椎前凸减小造成。A 组 LL 减小 $4.4^\circ \pm 4.7^\circ$,B 组 LL 减小 $8.1^\circ \pm 7.3^\circ$,两组差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。B 组术后 1 个月 LL 恢复不足,LL 的进一步减小可能是导致机械性并发症发生的原因之一。Nakazawa 等^[20]和 Im 等^[21]的研究结果也显示长节段矫形行骨盆固定若 PI-LL 恢复不足,患者术后矢状位失衡可进行性加重。

GAP 评分主要通过矢状位情况预测术后内固定相关机械性并发症的发生率。该评分系统包含 5 个项目,分别为相对骨盆旋转、相对腰椎前凸、前凸分布系数、相对脊柱骨盆排列和年龄。PI 值的大小对脊柱骨盆形态及矢状位的代偿能力有重要影响。PI 值较小的患者矢状位代偿能力弱,重建腰椎前凸时要求应更严格^[22]。SRS-Schwab 分型建议 $PI-LL < 10^\circ$,但对于 PI 值接近正常下限或上限的患者,适用性差。GAP 评分的优点是采用 PI 值个性化计算个体理想的矢状位参数值,并强调上下腰椎前凸分布系数的意义。本研究中 A 组 GAP 评分为 6.9 ± 2.0 分,B 组为 10.9 ± 2.4 分,机械性并发症与 GAP 评分显著相关,提示 GAP 评分可用于预测机械性并发症的发生。Yilgor 等^[10]报道术后理想的 GAP 评分应 ≤ 4 分,7 分时机械性并发症发生率为 72.7%,11 分及以上则为 100%,与本研究差异较大。这可能与研究对象的年龄、个体差异和畸形程度有关。Ham 等^[23]回顾性研究了 84 例年龄 70.5 ± 7.7 岁的重度矢状位失衡患者,发现 GAP 评分预测机械性并发症的曲线下面积为 0.839,与本研究类似,82%发生机械性并发症的患者 GAP 评分 ≥ 7 分。我们认为对于老年脊柱后凸畸形患者,术后 GAP 评分 ≥ 10 分提示机械性并发症发生风险高,在随访过程中应着重监测。

本研究为回顾性研究,缺乏远端固定至 S1 或髂骨钉的随机对照组。样本量小,可能存在选择偏倚。由于目前对于腰背部肌肉力量判断缺乏统一的标准,本文未纳入腰背部肌肉的因素。患者缺乏下肢全长 X 线片,故无法具体分析髋关节和膝关

节的代偿状态。目前关于老年退行性重度脊柱后凸畸形手术治疗的相关研究报道相对较少。因此仍需长期、大样本、多中心的临床随访研究以提高手术疗效,降低机械性并发症的发生。

4 参考文献

1. 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.
2. Kyrölä K, Repo J, Mecklin JP, et al. Spinopelvic changes based on the simplified SRS–Schwab adult spinal deformity classification: relationships with disability and health-related quality of life in adult patients with prolonged degenerative spinal disorders[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2018, 43(7): 497–502.
3. 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.
4. Watanabe K, Otani K, Tominaga R, et al. Sagittal imbalance and symptoms of depression in adults: locomotive syndrome and health outcomes in the Aizu Cohort Study (LOHAS)[J]. *Eur Spine J*, 2021, 30(9): 2450–2456.
5. Edwards CC, Bridwell KH, Patel A, et al. Long adult deformity fusions to L5 and the sacrum: a matched cohort analysis [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2004, 29(18): 1996–2005.
6. Weistroffer JK, Perra JH, Lonstein JE, et al. Complications in long fusions to the sacrum for adult scoliosis: minimum five-year analysis of fifty patients[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2008, 33(13): 1478–1483.
7. Kebaish KM. Sacropelvic fixation: techniques and complications[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2010, 35(25): 2245–2251.
8. Sutterlin CE, Field A, Ferrara LA, et al. Range of motion, sacral screw and rod strain in long posterior spinal constructs: a biomechanical comparison between S2 alar iliac screws with traditional fixation strategies [J]. *J Spine Surg*, 2016, 2(4): 266–276.
9. Lombardi JM, Shillingford JN, Lenke LG, et al. Sacropelvic fixation: when, why, how[J]. *Neurosurg Clin N Am*, 2018, 29(3): 389–397.
10. Yilgor C, Sogunmez N, Boissiere L, et al. Global alignment and proportion (GAP) score: development and validation of a new method of analyzing spinopelvic alignment to predict mechanical complications after adult spinal deformity surgery [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2017, 99(19): 1661–1672.
11. Scheer JK, Lenke LG, Smith JS, et al. Outcomes of surgical treatment for 138 patients with severe sagittal deformity at a minimum 2-year follow-up: a case series[J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2021, 21(3): 94–103.
12. Hyun SJ, Lee BH, Park JH, et al. Proximal junctional kyphosis and proximal junctional failure following adult spinal deformity surgery[J]. *Korean J Spine*, 2017, 14(4): 126–132.
13. Unoki E, Miyakoshi N, Abe E, et al. Sacropelvic fixation with S2 alar iliac screws may prevent sacroiliac joint pain after multisegment spinal fusion [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2019, 44(17): E1024–1030.
14. Smith EJ, Kyhos J, Dolitsky R, et al. S2 alar iliac fixation in long segment constructs, a two- to five-year follow-up[J]. *Spine Deform*, 2018, 6(1): 72–78.
15. Ishida W, Elder BD, Holmes C, et al. S2–alar–iliac screws are associated with lower rate of symptomatic screw prominence than iliac screws: radiographic analysis of minimal distance from screw head to skin[J]. *World Neurosurg*, 2016, 93: 253–260.
16. Lafage R, Schwab F, Glassman S, et al. Age-adjusted alignment goals have the potential to reduce PJK[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2017, 42(17): 1275–1282.
17. Lafage R, Schwab F, Challier 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.
18. Schwab F, Ungar B, Blondel B, et al. Scoliosis research society–schwab adult spinal deformity classification: a validation study[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2012, 37(12): 1077–1082.
19. 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.
20. Nakazawa T, Inoue G, Imura T, et al. Radiographic and clinical outcomes from the use of S2 alar screws in surgery for adult spinal deformity[J]. *Global Spine J*, 2018, 8(7): 668–675.
21. Im SK, Lee KY, Lim HS, et al. Optimized surgical strategy for adult spinal deformity: quantitative lordosis correction versus lordosis morphology [J]. *J Clin Med*, 2021, 10(9): 1867.
22. Protosaltis TS, Soroceanu A, Tishelman JC, et al. Should sagittal spinal alignment targets for adult spinal deformity correction depend on pelvic incidence and age [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2020, 45(4): 250–257.
23. Ham DW, Kim HJ, Choi JH, et al. Validity of the global alignment proportion (GAP) score in predicting mechanical complications after adult spinal deformity surgery in elderly patients[J]. *Eur Spine J*, 2021, 30(5): 1190–1198.

(收稿日期:2021-07-19 修回日期:2021-10-16)

(英文编审 谭 啸)

(本文编辑 姜雅浩)