

单节段与双节段经椎弓根椎体截骨术重塑 强直性脊柱炎重度胸腰椎后凸畸形患者 腰椎前凸曲线的效果及术式选择

李 耀, 钱邦平, 邱 勇, 王 斌, 孙 旭, 乔 军

(南京大学医学院附属鼓楼医院骨科, 脊柱外科 210008 南京市)

【摘要】目的:分析单节段和双节段经椎弓根椎体截骨术(pedicle subtraction osteotomy, PSO)在强直性脊柱炎(ankylosing spondylitis, AS)重度胸腰椎后凸畸形(后凸 Cobb 角 $\geq 80^\circ$)患者中重塑其腰椎前凸曲线的效果,探讨两种术式的适应证。**方法:**回顾性分析 68 例接受 PSO 手术治疗的 AS 重度胸腰椎后凸畸形患者,其中 44 例接受单节段 PSO 治疗,24 例接受双节段 PSO 治疗,随访时间为 36.50 ± 15.07 个月。所有患者均在术前及末次随访时填写 Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)量表和视觉模拟量表(visual analogue scale, VAS)。测量术前、术后及末次随访时的胸腰椎后凸 Cobb 角(global kyphosis, GK)、矢状面躯干偏移(sagittal vertical axis, SVA)、胸椎后凸角(thoracic kyphosis, TK)、腰椎前凸角(lumbar lordosis, LL)、骨盆倾斜角(pelvic tilt, PT)和骶骨倾斜角(sacral slope, SS)。将 68 例分别接受单节段和双节段 PSO 患者对比分析后,根据患者术后腰椎前凸顶点的位置分为两组,腰椎前凸顶点在 L3 或 L4 组(30 例),腰椎前凸顶点在 L5 或其他腰椎组(38 例),比较两组腰椎曲线的大小及形态。将良好的腰椎前凸曲线重塑定义为术后腰椎前凸顶点位于 L3 或 L4 水平,进一步筛选出 30 例实现良好的腰椎前凸曲线重塑的患者,再将其分为单节段 PSO 组(20 例)和双节段 PSO 组(10 例)组,使用受试者操作特征(receiver-operating characteristic, ROC)曲线确定这两组之间存在显著性差异的术前影像学参数的最佳临界值(cut-off 值)。**结果:**在 68 例重度胸腰椎后凸畸形患者中,接受单节段 PSO 组与双节段 PSO 组患者术后腰椎前凸顶点的分布无显著性差异($P > 0.05$),但是双节段 PSO 组手术时间更长、术中失血更多、固定节段更长($P < 0.05$)。术后腰椎前凸顶点在 L5 或其他腰椎组患者术后的 LL 和 SS 均显著小于 L3 或 L4 组($P < 0.001$),而两组患者术后的 GK、SVA、TK 和 PT 均无显著性差异($P > 0.05$);不同的截骨水平及截骨术式对术后腰椎前凸顶点的分布均无显著影响($P > 0.05$)。在 30 例实现良好的腰椎前凸曲线重塑的患者中,术后除 TK 外的所有脊柱骨盆参数较术前明显改善,ODI、VAS 评分均有明显改善($P < 0.05$),随访过程中也未见明显的矫正丢失;其中,双节段 PSO 组术前的 GK、SVA 和 LL 明显大于单节段 PSO 组($P < 0.05$),其余的术前参数两组比较均无统计学差异($P > 0.05$)。ROC 曲线分析结果表明,GK 的 cut-off 值为 94.50° ,SVA 的 cut-off 值为 19.35cm ,LL 的 cut-off 值为 12.00° 。单节段 PSO 组并发症包括 2 例截骨椎脱位、1 例体位性臂丛神经麻痹和 1 例术中硬脊膜撕裂,双节段 PSO 组并发症包括 2 例体位性臂丛神经麻痹、1 例截骨椎脱位和 1 例随访期间内固定棒断裂。**结论:**单节段和双节段 PSO 均能为 AS 重度胸腰椎后凸畸形的患者实现良好的腰椎前凸曲线重塑,术式的选择取决于患者术前后凸畸形的严重程度。对于 $GK < 94.50^\circ$ 、 $SVA < 19.35\text{cm}$ 及 $LL < 12.00^\circ$ 的患者,首先考虑单节段 PSO 以实现良好的腰椎前凸曲线重塑;相反地,对于脊柱矢状位失衡更严重($GK \geq 94.50^\circ$ 、 $SVA \geq 19.35\text{cm}$ 及 $LL \geq 12.00^\circ$)的患者,双节段 PSO 是重塑良好腰椎前凸曲线的更佳选择。

【关键词】强直性脊柱炎;重度胸腰椎后凸畸形;经椎弓根椎体截骨术;腰椎前凸曲线

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2021.11.04

中图分类号:R593.23, R687.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2021)-11-0983-09

The efficacy and the selection of single-level and two-level pedicle subtraction osteotomy in the remodeling of lumbar lordosis curvature for patients with severe thoracolumbar kyphosis caused by ankylosing spondylitis/LI Yao, QIAN Bangping, QIU Yong, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal

第一作者简介:男(1996-),医学博士,研究方向:脊柱外科

电话:(025)68182022 E-mail:1164144870@qq.com

通讯作者:钱邦平 E-mail:qianbangping@163.com

Cord, 2021, 31(11): 983–991

[Abstract] Objectives: To analyze the remodeling of lumbar lordosis curvature between ankylosing spondylitis (AS) patients with severe thoracolumbar kyphosis (global kyphosis $\geq 80^\circ$) who underwent single- or two-level pedicle subtraction osteotomy (PSO), and to determine the indications of single-level PSO and two-level PSO.

Methods: 68 patients with AS-related severe thoracolumbar kyphosis were retrospectively studied, including 44 patients underwent single-level PSO and 24 patients two-level PSO. The average follow-up time was 36.50 ± 15.07 months. All the patients filled out the Oswestry disability index (ODI) and the visual analogue scale (VAS) before PSO and at the final follow-up. Radiological parameters including global kyphosis (GK), sagittal vertical axis (SVA), thoracic kyphosis (TK), lumbar lordosis (LL), pelvic tilt (PT) and sacral slope (SS) were measured preoperatively, postoperatively and at the final follow-up. After comparison and analysis, the patients were divided into two groups based on the segment of postoperative apex of lumbar lordosis (LL apex): 30 cases in LL apex at L3 or L4 group and 38 cases in LL apex at L5 or other segments group. Satisfying remodeling of lumbar lordosis curvature was defined as the postoperative LL apex located at L3 or L4. 30 patients achieving satisfying remodeling of lumbar lordosis curvature were further screened out and then divided into single-level PSO group (20 cases) and two-level PSO group (10 cases). Receiver-operating characteristic (ROC) curve was used to find the cut-off value of preoperative parameters that were significantly different between the two groups. **Results:** In all 68 patients with severe thoracolumbar kyphosis, there was no significant difference in the relocation of LL apex between those underwent single or two-level PSO. However, longer operative time, more intraoperative blood loss and more levels of instruments were observed in those who underwent two-level PSO ($P < 0.05$). After the patients were grouped based on the postoperative LL apex, the postoperative LL and SS in the L5 or other lumbar spine group were significantly smaller than those in the L3 or L4 group ($P < 0.001$), while no significant difference in postoperative GK, SVA, TK and PT was observed between the two groups. The osteotomy methods and levels were not correlated with the relocation of LL apex. In 30 patients achieving satisfying remodeling of lumbar lordosis curvature, all the spinopelvic parameters except TK were significantly improved postoperatively in both single and two-level PSO groups, and ODI and VAS scores were also significantly improved ($P < 0.05$). Besides, no significant loss of correction was observed during follow-up. In two-level PSO group, the preoperative GK, SVA and LL were significantly larger than those in single-level PSO ($P < 0.05$), but other preoperative parameters were similar to those in single-level PSO. ROC curves showed that the cut-off values of GK, SVA and LL were 94.50° , 19.35cm and 12.00° , respectively. The complications in the single-level PSO group included 2 cases of vertebral subluxation, 1 case of postural brachial palsy, and 1 case of intraoperative dural tear, while those in two-level PSO group included 2 cases of postural brachial palsy, 1 case of vertebral subluxation and 1 case of rod breakage during follow-up. **Conclusions:** Both single-level and two-level PSO could achieve satisfying remodeling of lumbar lordosis curvature for AS patients with severe thoracolumbar kyphosis, and the surgical selection is depended on the severity of preoperative kyphotic deformity. For those with $\text{GK} < 94.50^\circ$, $\text{SVA} < 19.35\text{cm}$, $\text{LL} < 12.00^\circ$, single-level PSO should be firstly considered to achieve satisfying remodeling of lumbar lordosis. Conversely, for AS patients with more severe spinopelvic sagittal malalignment ($\text{GK} \geq 94.50^\circ$, $\text{SVA} \geq 19.35\text{cm}$, $\text{LL} \geq 12.00^\circ$), two-level PSO should be more recommended.

[Key words] Ankylosing spondylitis; Severe thoracolumbar kyphosis; Pedicle subtraction osteotomy; Lumbar lordosis curvature

[Author's address] Division of Spine Surgery, Department of Orthopedic Surgery, Nanjing Drum Tower Hospital, The Affiliated Hospital of Nanjing University Medical School, Nanjing, 210008, China

强直性脊柱炎 (ankylosing spondylitis, AS) 是以脊柱韧带进行性骨化和关节强直为主要特征的慢性炎症性疾病^[1]。晚期 AS 患者常出现脊柱后凸畸形, 从而引起平视困难、平卧困难等一系列严重

降低生活质量的问题^[2,3]。目前, 脊柱截骨矫形术是治疗 AS 相关脊柱畸形的主要手段^[4]。经椎弓根椎体截骨术 (pedicle subtraction osteotomy, PSO) 是一种治疗 AS 相关后凸畸形的经典术式^[3]。既往

研究表明,单节段 PSO 可以提供 $35^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 的矫形效果^[5],而双节段 PSO 的矫形效果可以达到 60° 以上^[6,7]。但是,与单节段 PSO 相比,双节段 PSO 的手术时间更长,术中出血也更多^[7]。对重度胸腰椎后凸畸形 AS 患者(胸腰椎后凸 Cobb 角 $\geq 80^{\circ}$ ^[8])而言,手术的主要目的是重建脊柱的矢状面序列、重塑患者的生理曲线。良好的腰椎前凸是构成良好生理曲线的重要因素,其有助于塑造美观的外形,并降低术后腰痛等并发症的发生率,而前凸顶点的位置是决定腰椎前凸曲线是否良好的最重要因素之一^[9]。Huang 等^[10]的研究表明,单节段 PSO 可以替代双节段 PSO,有效重建部分重度胸腰椎后凸畸形 AS 患者的矢状面序列,但其能否替代双节段 PSO,为 AS 重度胸腰椎后凸畸形患者重塑良好的腰椎曲线,目前尚未见相关研究。因此,本研究旨在比较 AS 重度胸腰椎后凸畸形患者在接受单节段 PSO 或双节段 PSO 术后不同前凸顶点的腰椎曲线,分析单节段 PSO 和双节段 PSO 重建腰椎前凸曲线的不同适应人群,为 PSO 治疗 AS 重度胸腰椎后凸畸形时的术式选择提供进一步的参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

对 2009 年 10 月~2017 年 10 月在我院接受 PSO 手术治疗的 217 例 AS 胸腰椎后凸畸形患者进行回顾性分析。纳入标准:(1)AS 重度胸腰椎后凸畸形患者(胸腰椎后凸 Cobb 角 $\geq 80^{\circ}$);(2)接受单节段 PSO 或双节段 PSO;(3)随访 2 年以上。排除既往接受脊柱手术以及本次手术时接受除 PSO 外的其他截骨术式(如 Smith-Petersen 截骨)的患者。初步筛选出符合条件的患者 68 例,年龄为 35.97 ± 9.81 岁(18~63 岁),随访时间为 36.50 ± 15.07 个月(24~87 个月),其中 44 例接受单节段 PSO 治疗,24 例接受双节段 PSO 治疗。既往文献表明,当腰椎前凸顶点位于 L3 或 L4 时,可见明显的腰椎前凸的曲弧^[9]。因此,根据患者术后腰椎前凸顶点的位置,将所有患者分为两组,一组为腰椎前凸顶点在 L3 或 L4,共 30 例;另一组为腰椎前凸顶点在 L5 或其他腰椎,共 38 例,对两组患者术后的相关数据进行比较分析。将良好的腰椎前凸曲线重塑定义为术后腰椎前凸顶点位于 L3 或 L4 水平,进一步筛选出 30 例实现良好的腰椎

前凸曲线重塑的患者,并将其分为单节段 PSO 和双节段 PSO 两组进行进一步的比较分析。

1.2 手术策略和手术方法

对于预期需要截骨矫形不超过 60° 的患者,采用单节段 PSO 治疗胸腰椎后凸畸形,术中可在标准的闭合楔形截骨(closing wedge osteotomy, CWO)完成后,根据矫形效果判断是否需行闭合-开放楔形截骨(closing-opening wedge osteotomy, COWO),以获得更多的矫形效果^[6,8,10];预期需要截骨矫形大于 60° 的患者则行双节段 PSO 治疗^[6]。截骨点的选择遵循“顶椎化”原则,即在胸腰椎后凸的顶椎处进行截骨,以完成单一节段 PSO 的矫形。在进行双节段 PSO 时,上位截骨椎一般选择在后凸的顶椎区或接近顶椎的椎体,而下位截骨椎体一般与上位截骨椎相隔 2 个椎体。上述截骨点的选择确保最大程度地纠正后凸畸形、恢复矢状面平衡。

患者全麻后俯卧于弓形架上,沿中线暴露,骨膜下剥离、充分暴露脊柱后份结构。在既定节段置入椎弓根螺钉后,在上下邻近关节突间行 V 形截骨,然后行截骨椎全椎板切除,暴露双侧椎弓根,单侧临时棒固定后在两侧行椎体截骨。完成标准的 CWO 后,观察患者的肩和骨盆是否在同一水平线上,同时结合截骨面完全闭合前的侧位片,若未达到满意的矢状面矫形重建,则进一步截骨并采取相应措施使 CWO 变为 COWO。截骨完成后缓慢调节弓形架进行复位矫形,直至截骨处 V 形底边缩短、消失,截骨面靠拢闭合。最后,再用双侧永久性长棒代替临时棒后进行后外侧融合。

至于双节段 PSO,上位截骨椎的截骨步骤与上述单节段 PSO 相同,在上位截骨椎的截骨完成后继续行下位截骨椎的截骨,截骨的方法与第一次截骨相同。同样地,根据术中矫形效果判断是否需将 CWO 变为 COWO。截骨完成后,用一根短棒临时固定远端截骨椎邻近椎体,然后将患者整体平移,使得截骨面位于已经调整为水平状态的弓形架的凹陷处,然后通过下述操作实现截骨面的闭合:(1)肩部垫枕,抬高躯干;(2)下肢垫枕,使下肢处于过伸位;(3)在邻近上下椎体的椎弓根螺钉之间施加压缩力。当截骨面闭合后,用多米诺连接近端已安装的矫形棒和远端的矫形棒,然后对多米诺进行双向抱紧操作,进一步闭合远端截骨面。最后在对侧安装一根长的固定棒,完成矫形。

无论是单节段 PSO 还是双节段 PSO, 手术过程中均密切监测神经电生理信号, 并在每次截骨完成后施行唤醒试验, 确认唤醒试验正常且神经电生理监护无异常信号后行下一步操作。

1.3 观察指标

患者均在术前和末次随访时填写 Oswestry 功能障碍指数 (Oswestry disability index, ODI) 量表^[11]及脊柱疼痛的视觉模拟量表 (visual analogue scale, VAS)^[12]。在术前、术后及末次随访时拍摄的站立位全脊柱侧位 X 线片上测量矢状面影像学参数^[13-15]: (1) 胸腰椎后凸 Cobb 角 (global kyphosis, GK), 即胸腰椎后凸脊柱中最倾斜的上端椎的上终板和下端椎的下终板之间的夹角; (2) 矢状面躯干偏移 (sagittal vertical axis, SVA), 经 C7 椎体中点的铅垂线与 S1 后上缘之间的水平距离; (3) 胸椎后凸角 (thoracic kyphosis, TK), T5 椎体上终板与 T12 椎体下终板之间的夹角; (4) 腰椎前凸角 (lumbar lordosis, LL), T12 椎体上终板与 S1 上终板之间的夹角 (正值表示腰椎后凸, 负值表示腰椎前凸); (5) 骨盆倾斜角 (pelvic tilt, PT), 经 S1 上终板中点和双侧股骨头中心连线中点的直线与铅垂线的夹角; (6) 骶骨倾斜角 (sacral slope, SS), S1 上终板与水平线的夹角。此外, 记录术后站立位全脊柱侧位 X 线片上患者的腰椎前凸顶点的位置。

1.4 统计学方法

计量资料均采用 $\bar{x} \pm s$ 表示, 应用 SPSS 21.0 (SPSS 公司, 美国) 统计软件对所有数据进行统计分析。采用配对样本 t 检验比较术前与术后、术后与末次随访时的影像学参数之间的差异。两组之间的连续变量通过独立样本 t 检验比较分析, 而分类变量通过卡方检验比较分析。使用受试者操作特征 (receiver-operating characteristic, ROC) 曲线确定 30 例实现良好的腰椎前凸曲线重塑的患者中单节段 PSO 组与双节段 PSO 组之间存在显著差异的术前影像学参数的最佳临界值 (cut-off 值)。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料和手术数据

在 68 例患者中, 单节段 PSO 组与双节段 PSO 组患者在年龄、性别和随访时间上无显著性差异 ($P > 0.05$); 但与单节段 PSO 组相比, 双节段

PSO 组手术时间更长、术中失血更多、固定节段更长 ($P < 0.05$, 表 1)。此外, 单节段 PSO 组中实现良好的腰椎前凸曲线重塑的患者共 20 例, 所占比例为 45%; 双节段 PSO 组中实现良好的腰椎前凸曲线重塑的患者共 10 例, 所占比例为 42%, 两组患者术后腰椎前凸顶点的分布无显著性差异 ($P = 0.803$, 表 1)。

2.2 术后腰椎前凸顶点不同患者的影像学参数和手术数据

68 例患者在接受单节段或双节段 PSO 治疗后, 30 例患者的腰椎前凸顶点位于 L3 或 L4, 38 例位于 L5 或其他腰椎。两组患者术后的 GK、SVA、TK 和 PT 均无显著性差异 ($P > 0.05$), 而术后腰椎前凸顶点位于 L5 或其他腰椎组患者术后的 LL 和 SS 均显著小于 L3 或 L4 组 ($P < 0.001$, 表 2)。无论是单节段还是双节段 PSO, 不同的截骨水平对术后腰椎前凸顶点的分布均无显著性影响 ($P > 0.05$, 表 2)。此外, 单节段或双节段 PSO 中不同的截骨术式 (CWO 或 COWO) 对术后腰椎前凸顶点的分布也无显著性影响 ($P > 0.05$, 表 2)。

2.3 实现良好腰椎前凸曲线重塑患者的影像学参数及临床资料

在 20 例通过单节段 PSO (图 1) 和 10 例通过双节段 PSO (图 2) 实现良好腰椎前凸曲线重塑的

表 1 单节段 PSO 组和双节段 PSO 组的人口统计学和手术数据比较

	单节段 PSO 组 (n=44) Single-level PSO	双节段 PSO 组 (n=24) Two-level PSO
年龄 (岁) Age (yrs)	36.48±10.01	35.04±9.56
性别 (男/女) Sex (male/female)	38/6	20/4
手术时间 (min) Operative time	361.89±60.15	533.13±65.90 ^①
失血量 (ml) Loss of blood	2128.98±765.48	2888.33±1538.21 ^①
术后腰椎前凸顶点 Postoperative relocation of LL apex		
L3 或 L4 L3 or L4	20	10
L5 或其他 L5 or others	24	14
固定节段数量 Level of instruments	9.20±1.19	11.42±1.18 ^①
随访时间 (月) Follow-up (mo)	36.43±13.10	36.63±18.47

注: ①与单节段 PSO 组比较 $P < 0.05$

Note: ①Compared with single-level PSO, $P < 0.05$

患者中,术后除 TK 外,包括 GK、SVA、LL、PT 和 SS 在内的脊柱骨盆参数较术前明显改善 ($P<0.05$);与双节段 PSO 组相比,单节段 PSO 组患者术前的 GK、SVA 和 LL 明显较小 ($P<0.05$),而术前的 TK、PT 和 SS 则无明显差异 ($P>0.05$);在术后及末次随访时,两组之间所有的影像学参数均无明显差异 ($P>0.05$);双节段 PSO 组的 GK、SVA 和 LL 的矫正量明显比单节段 PSO 组大 ($P<0.05$,表 3),TK、PT 和 SS 的矫正量则与单节段 PSO 组相似 ($P>0.05$)。末次随访时,两组的所有参数均未见明显矫正丢失。

接受单节段 PSO 或双节段 PSO 治疗后实现

表 2 PSO 术后不同腰椎前凸顶点的 68 例患者的术后影像学参数和截骨相关数据

Table 2 The postoperative radiographic parameters and osteotomy-related data of 68 patients with different apex of lumbar lordosis after PSO

	L3 或 L4 (n=30) L3 or L4	L5 或其他 (n=38) L5 or others
胸腰椎后凸 Cobb 角(°) Global kyphosis (GK)	27.27±12.39	30.45±14.51
矢状面躯干偏移(mm) Sagittal vertical axis(SVA)	59.62±40.46	45.59±37.94
胸椎后凸角(°) Thoracic kyphosis(TK)	55.00±13.19	52.47±12.23
腰椎前凸角(°) Lumbar lordosis(LL)	-51.43±17.23	-37.26±12.36 ^①
骨盆倾斜角(°) Pelvic tilt(PT)	19.73±10.49	21.53±7.91
骶骨倾斜角(°) Sacral slope(SS)	28.30±8.25	20.32±6.46 ^①
单节段 PSO 截骨水平 Osteotomy in single-level PSO		
L1	9	5
L2	9	14
L3	2	5
双节段 PSO 截骨水平 Osteotomy in two-level PSO		
T12+L3	1	0
L1+L4	6	5
L2+L4	1	2
L2+L5	2	7
单节段 PSO Single-level PSO		
CWO	12	12
COWO	8	12
双节段 PSO Two-level PSO		
CWO/CWO	5	10
COWO/CWO	5	4

注:①与L3 或 L4组比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with L3 or L4 group, $P<0.05$

良好腰椎前凸曲线重塑的两组患者中,ODI 和 VAS 评分均有显著改善 ($P<0.05$,表 4)。但是,无论是在术前还是在末次随访时,两组之间的 ODI 评分和 VAS 评分均无显著性差异 ($P>0.05$)。

2.4 术前影像学参数的 cut-off 值

在实现良好腰椎前凸曲线重塑的 30 例患者中,对于单节段和双节段 PSO 两组组间存在显著性差异的术前影像学参数,通过 ROC 曲线分析并计算其在 ROC 曲线下的面积(AUC)来确定 cut-off 值。在单节段 PSO 组和双节段 PSO 组之间术前存在显著性差异的参数中,GK、SVA 和 LL 是 AUC 具有实际意义的三个参数。其中,GK 的 cut-off 值为 94.50° (AUC=0.843),SVA 的 cut-off 值为 19.35cm (AUC=0.795),LL 的 cut-off 值为 12.00° (AUC=0.728)。

2.5 并发症

两组患者中出现的并发症包括体位性臂丛麻痹、术中截骨椎脱位、硬脊膜撕裂以及随访过程中内固定棒断裂。在 20 例通过单节段 PSO 实现良好腰椎前凸曲线重塑的患者中,共计 4 例患者出现 3 种并发症,包括 2 例截骨椎脱位,1 例体位性臂丛神经麻痹和 1 例术中硬脊膜撕裂;在 10 例通过双节段 PSO 实现良好腰椎前凸曲线重塑的患者中,共计 3 例患者出现 4 种并发症,包括 1 例体位性臂丛神经麻痹、1 例截骨椎脱位、1 例体位性臂丛神经麻痹并在术后 3 年时发生内固定棒断裂。两组患者中并发症的发生率未见明显差异(单节段组为 20%,双节段组为 40%, $P=0.657$)。1 例硬脊膜撕裂的患者予以术中缝合;3 例体位性臂丛麻痹的患者在经过康复训练后症状得到改善;3 例截骨椎脱位的患者在随访过程中均观察到截骨椎闭合重塑;所有患者均未出现永久性的神经损害。30 例患者随访过程中融合良好,仅在双节段 PSO 组中有 1 例因内固定棒断裂进行了翻修手术。

3 讨论

PSO 手术被越来越多地应用于 AS 胸腰椎后凸畸形的治疗^[7,10,16,17]。单节段 PSO 和双节段 PSO 在临床应用中各有利弊。既往研究表明,与双节段 PSO 相比,单节段 PSO 手术创伤较小、手术时间较短、术中失血较少、手术费用较低,但其对胸腰椎后凸的矫正量相对较低^[7,16,17]。对 AS 重度胸腰

椎后凸的患者而言,手术主要有两大目的:(1)重建脊柱的矢状面序列;(2)重塑患者的腰椎曲线。Huang 等^[10]对 34 例接受单节段 PSO 和 21 例接受双节段 PSO 的 AS 重度胸腰椎后凸畸形患者进行比较,发现单节段 PSO 可以有效重建部分 AS 胸重度腰椎后凸畸形患者($GK < 94^\circ$, $SVA < 18\text{cm}$, $LL < 18^\circ$)的脊柱矢状面序列。但是,单节段 PSO 能否替代双节段 PSO 实现 AS 重度胸腰椎后凸畸形患者的腰椎前凸曲线的重塑,目前尚未见相关研究。因此,本研究观察单节段和双节段 PSO 术后重塑的腰椎前凸曲线,在接受单节段 PSO 或双节段 PSO 治疗后实现良好腰椎前凸曲线重塑的两组患者中,分析其术前差异,为 PSO 治疗 AS 重度胸腰椎后凸畸形时的术式选择进一步提供参考。

在 AS 重度胸腰椎后凸畸形患者中,腰椎的矢状位失衡比较常见^[18]。因此,腰椎前凸曲线的重塑也是手术的主要目的。腰椎前凸曲线由上弧和

下弧两部分组成,在健康个体中,上弧相对保持恒定,而包括腰椎前凸顶点、前凸椎体数量等在内的下弧是决定整个腰椎前凸的最重要的因素^[9]。在本研究中,当 AS 患者术后前凸顶点位于 L3 或 L4 时,矢状面上腰椎和下腰椎均可见明显的曲弧,X 线片的腰椎整体曲线接近正常的前凸曲线。相反,当腰椎前凸顶点位于 L5 或其他腰椎时,矢状面上腰椎和下腰椎的曲弧明显减小,尤其是下腰椎的曲弧几乎完全丢失,X 线片的下腰椎形态类似一条斜线,腰椎整体曲线明显异于正常前凸曲线。这种腰椎前凸曲线的差异会影响患者术后的外观。此外,海涌等^[19]认为腰椎正常生理前凸为 $60^\circ \pm 12^\circ$ 。本研究中,术后前凸顶点位于 L3 或 L4 的患者的 LL 值在这一正常范围内,而顶点在 L5 或其他腰椎的患者的 LL 值远小于该值,这类患者存在明显的腰椎前凸丢失。既往研究表明,腰椎前凸的丢失与腰痛的发生存在紧密的联系^[19,20]。因此,

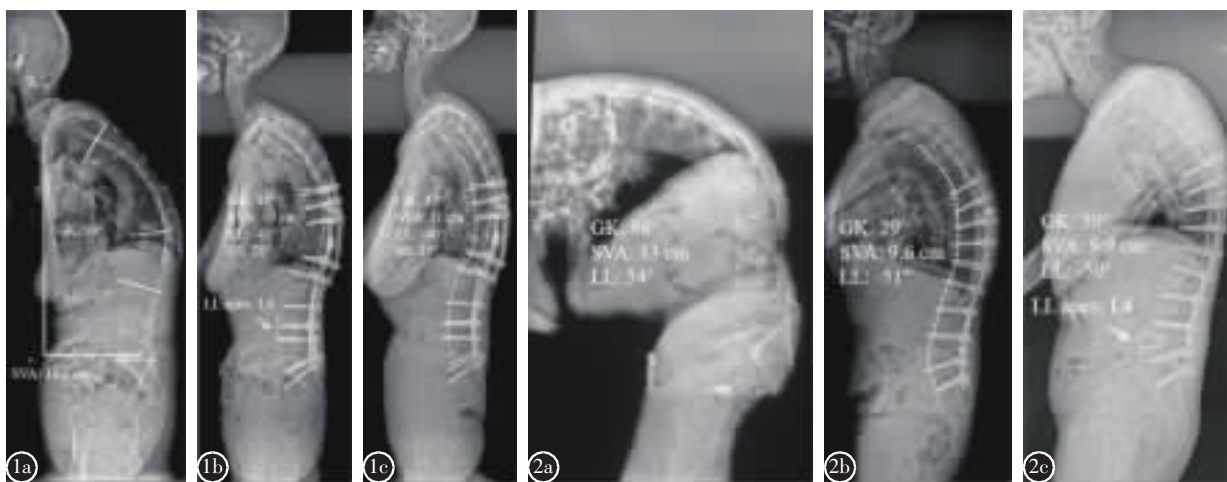


图 1 患者女,55 岁,严重 AS 胸腰椎后凸畸形[胸腰椎后凸 Cobb 角(GK) $>80^\circ$] **a** 术前站立位侧位 X 线片示 GK 为 89° ,矢状面躯干偏移(SVA)为 16.1cm,腰椎前凸角(LL)为 -17° ,骶骨倾斜角(SS)为 17° **b** 在 L2 处行单节段 PSO,术后 GK 和 SVA 矫正至 45° 和 10cm,腰椎前凸顶点位于 L4 水平 **c** 术后 36 个月随访未见明显矫正丢失 **图 2** 患者男,35 岁,严重 AS 胸腰椎后凸畸形 **a** 术前的站立位侧位片示严重的脊柱矢状位失衡, GK 为 $98^\circ (>94.50^\circ)$, SVA 为 33cm ($>19.35\text{cm}$), LL 为 $54^\circ (>12.00^\circ)$ **b** 在 L1 和 L4 椎体处行双节段 PSO,术后腰椎前凸顶点位于 L4 水平,患者的脊柱骨盆矢状面序列得以恢复,腰椎前凸曲线得以重塑 **c** 术后 24 个月随访未见明显矫正丢失

Figure 1 A 55-year-old female AS patients with severe thoracolumbar kyphosis($GK > 80^\circ$) **a** Preoperative global kyphosis (GK), sagittal vertical axis(SVA), lumbar lordosis(LL) and sacral slope(SS) were 89° , 16.1cm, -17° and 17° , respectively **b** Single-level PSO was performed at L2. Postoperative GK and SVA were corrected to 45° and 10cm, and LL apex relocated at L4 **c** Satisfying lordotic curvature of lumbar spine could be observed. No significant loss of correction was observed at 36-month follow-up **Figure 2** A 35-year-old male AS patients with severe thoracolumbar kyphosis **a** More severe spinopelvic sagittal malalignment was observed preoperatively, GK was $98^\circ (>94.50^\circ)$, SVA was 33cm ($>19.35\text{cm}$) and LL was $54^\circ (>12.00^\circ)$ **b** Two-level PSO was performed at L1 and L4. After two-level PSO, LL apex relocated at L4. Spinopelvic sagittal alignment was restored and lordotic curvature of lumbar spine was remodeled **c** No significant loss of correction was observed at 24-month follow-up

表 3 30 例实现良好的腰椎前凸曲线重塑的患者中单节段 PSO 组和双节段 PSO 组的影像学参数比较

Table 3 Comparison of radiographic parameters between single- and two-level PSO groups in 30 patients achieving satisfying remodeling of lumbar lordosis curvature

参数 Parameters	分组 Groups	术前 Preoperation	术后 Postoperation	末次随访 Final follow-up	矫正量 Correction	矫正丢失 Loss of correction
胸腰椎后凸 Cobb角(°) Global kyphosis (GK)	单节段 PSO 组(n=20) Single-level PSO	87.60±7.64	30.25±10.80 ^①	32.20±10.79	57.35±10.44	1.95±3.25
	双节段 PSO 组(n=10) Two-level PSO	99.90±10.24 ^②	21.30±13.75 ^①	25.50±11.92	78.65±12.10 ^②	4.19±10.88
矢状面躯干偏移 (mm) Sagittal vertical axis(SVA)	单节段 PSO 组(n=20) Single-level PSO	169.30±58.47	68.90±37.79 ^①	68.75±34.56	100.40±50.38	-0.15±31.58
	双节段 PSO 组(n=10) Two-level PSO	241.50±69.80 ^②	59.30±41.68 ^①	71.70±68.36	182.37±65.56 ^②	12.53±40.88
胸椎后凸角(°) Thoracic kyphosis (TK)	单节段 PSO 组(n=20) Single-level PSO	58.55±14.11	57.65±11.44	58.55±11.07	5.90±7.16	5.90±7.95
	双节段 PSO 组(n=10) Two-level PSO	64.90±18.28	59.70±15.73	60.90±14.84	5.21±14.31	1.37±3.21
腰椎前凸角(°) Lumbar lordosis (LL)	单节段 PSO 组(n=20) Single-level PSO	-4.45±20.38	-50.10±15.93 ^①	-45.15±13.79	45.65±15.67	4.95±11.24
	双节段 PSO 组(n=10) Two-level PSO	16.40±28.80 ^②	-54.10±20.23 ^①	-50.10±23.08	70.50±18.83 ^②	4.00±11.45
骨盆倾斜角(°) Pelvic tilt (PT)	单节段 PSO 组(n=20) Single-level PSO	39.70±9.61	19.30±11.17 ^①	24.70±12.32	20.40±7.58	5.40±6.30
	双节段 PSO 组(n=10) Two-level PSO	44.70±9.02	20.60±9.48 ^①	24.40±8.38	24.33±4.68	3.96±5.09
骶骨倾斜角(°) Sacral slope (SS)	单节段 PSO 组(n=20) Single-level PSO	10.30±9.58	29.00±7.69 ^①	23.95±8.19	-18.70±7.01	-5.05±6.25
	双节段 PSO 组(n=10) Two-level PSO	3.90±12.28	26.90±9.55 ^①	23.10±8.05	-23.17±8.38	-3.86±6.43

注:①与术前比较 $P<0.05$;②与单节段 PSO 组比较 $P<0.05$ Note: ①Compared with preoperation, $P<0.05$; ②Compared with single-level PSO, $P<0.05$

表 4 30 例实现良好的腰椎前凸曲线重塑的患者中单节段 PSO 组和双节段 PSO 组的临床疗效比较

Table 4 Comparison of clinical outcomes between single- and two-level PSO groups in 30 patients achieving satisfying remodeling of lumbar lordosis curvature

	Oswestry 功能障碍指数(%) Oswestry disability index(ODI)		视觉模拟量表评分 Visual analogue scale(VAS)	
	单节段 PSO 组(n=20) Single-level PSO	双节段 PSO 组(n=10) Two-level PSO	单节段 PSO 组(n=20) Single-level PSO	双节段 PSO 组(n=10) Two-level PSO
术前 Preoperation	30.45±19.78	24.20±21.30	4.50±2.82	4.90±2.85
末次随访 Final follow-up	18.10±19.19 ^①	18.80±20.67 ^①	2.05±1.76 ^①	1.60±1.71 ^①

注:①与术前比较 $P<0.05$ Note: ①Compared with preoperation, $P<0.05$

当术后腰椎前凸顶点在 L5 或其他腰椎时,患者理论上更可能出现腰痛;而当前凸顶点位于 L3 或 L4 时,腰椎前凸曲线的形态、大小均接近正常的生理状态。所以,良好的腰椎前凸曲线重塑(腰椎前凸顶点位于 L3 或 L4 水平)不仅有助于重塑和谐的外观,还能减少随访中腰痛出现的可能,具有一定的临床价值。

理论上,由于双节段 PSO 对 GK、LL 等参数的矫正量较大^[7,16,17],其对腰椎前凸曲线的重塑效

果更好。然而,在本研究的 68 例患者中,单节段 PSO 组和双节段 PSO 组的腰椎曲线重塑率未见明显差异(45%与 42%, $P=0.803$),并且无论是在单节段还是双节段 PSO 中,截骨点的水平与术后腰椎前凸顶点的分布均无显著关联。单节段 PSO 组和双节段 PSO 组中均有部分患者使用了 COWO。既往文献指出 COWO 是一种改良的 PSO 术式,与 CWO 相比,COWO 虽然会增加脱位等并发症发生的风险,但其可以额外提供约 10°的矫

形效果^[8]。本研究结果显示,在行 CWO 或 COWO 术后不同患者的腰椎前凸顶点分布并无显著差异。这些结果表明,在 AS 重度胸腰椎后凸患者中,PSO 的截骨水平和截骨术式对腰椎前凸曲线的重塑并无显著影响,而患者术前的脊柱矢状位失衡严重程度可能是影响腰椎前凸曲线重塑的重要因素。在进一步筛选的 30 例术后实现良好的腰椎前凸曲线重塑的患者中,单节段 PSO 组术前的 GK、SVA 和 LL 显著小于双节段 PSO 组,表明单节段 PSO 组患者术前脊柱矢状位失衡严重程度相对双节段 PSO 组较轻,一定程度上证明患者术前的脊柱矢状位失衡严重程度是影响腰椎前凸曲线的潜在因素。

本研究结果显示,双节段 PSO 组手术时间更长,且患者术中失血更多,但是包括 GK、SVA 和 LL 在内的影像学参数的矫正量更大,这与既往研究的结果^[7,16,17]一致。在 30 例术后实现良好腰椎前凸曲线重塑的患者中,双节段 PSO 组术前更大的 GK、SVA 和 LL 表明该组患者术前的脊柱矢状位失衡程度更加严重。这些结果表明,虽然单节段 PSO 组和双节段 PSO 组的患者在术后都重塑了良好的生理曲线,但其术前脊柱矢状位失衡的严重程度存在显著差异。在这 30 例行单节段或双节段 PSO 术后实现良好腰椎前凸曲线重塑的两组患者中,除 TK 外的所有影像学参数均有明显改善($P<0.05$),随访过程中也未见明显的矫正丢失,并且术后两组间所有影像学参数均无明显差异。尽管双节段 PSO 组中并发症的发生率较单节段 PSO 组更高,但两组中并发症的发生率并无统计学差异($P=0.657$),并且出现的并发症预后较好。此外,在重建良好的腰椎前凸曲线后,单节段 PSO 和双节段 PSO 组中患者的脊柱 VAS 评分、ODI 均明显改善,且组间无明显差异。上述这些结果证明,在部分脊柱矢状位失衡相对较轻的胸腰椎后凸畸形 AS 患者中,仅施行单节段 PSO 即可为患者重塑良好的腰椎前凸曲线,同时取得与双节段 PSO 相似的矢状面重建效果。

本研究 30 例实现良好腰椎前凸曲线重塑的患者中,单节段 PSO 和双节段 PSO 组术前影像学参数的 ROC 曲线分析结果表明,GK、SVA 和 LL 的 cut-off 值具有实际意义。因此,对于 GK<94.50°、VA<19.35cm、LL<12.00°的 AS 重度胸腰椎后凸畸形患者,单节段 PSO 可以替代双节段

PSO,为患者重塑良好的腰椎前凸曲线(图 1)。Huang 等^[10]指出,在 GK<94°,SVA<18cm,LL<18°的 AS 重度胸腰椎后凸畸形患者中,单节段 PSO 可替代双节段 PSO 有效重建脊柱矢状面序列,其结果与本研究的主要差异表现为 LL 的不同。因此,术后腰椎前凸曲线的重塑可能更多地取决于患者术前的腰椎形态。脊柱外科医生在为 AS 重度胸腰椎后凸畸形患者设计手术方案时,应充分评估患者术前的 GK、SVA 和 LL 的大小,选择合适的术式同时实现对脊柱矢状面序列的重建和腰椎前凸曲线的重塑。

本研究存在一些局限性:(1)本研究是一个单中心回顾性研究,在既往制定手术策略时,颈椎和髋关节的强直可能对单节段和双节段 PSO 的选择产生影响,从而对腰椎前凸曲线的重塑产生影响,未来需要进一步排除这些影响;(2)既往量表中疼痛评分仅有包括颈部、背部及髋关节的脊柱 VAS 评分,未来还需特异性的腰痛评分进一步证明两种不同的腰椎前凸曲线和腰痛之间的关联性;(3)在最终分析单节段和双节段 PSO 在重塑腰椎前凸曲线的适应证时,样本量较小,仅根据术前的脊柱骨盆参数来确定 AS 重度胸腰椎后凸畸形的患者中单节段和双节段 PSO 的适应证,且仅限定术前 GK≥80°,尽管限定 GK 后单节段和双节段 PSO 存在足够的可比性,未来还需更大样本量的多中心前瞻性研究限定 SVA 和 LL 等参数后进一步验证本研究的结果。

综上所述,当术后腰椎前凸顶点位于 L3 或 L4 时,腰椎前凸曲线的形态、大小均接近正常的生理状态。单节段和双节段 PSO 均能为 AS 重度胸腰椎后凸畸形患者实现良好的腰椎前凸曲线重塑,但其适应证并不相同。临床上,脊柱外科医生在为 AS 重度胸腰椎后凸畸形患者设计手术方案时,应充分评估其术前脊柱骨盆参数,对于 GK<94.50°、SVA<19.35cm、LL<12.00°的患者,应优先考虑施行单节段 PSO 实现良好的腰椎前凸曲线重塑,避免过度使用双节段 PSO;相反地,对于脊柱矢状位失衡更严重(GK≥94.50°,SVA≥19.35cm,LL≥12.00°)的患者,双节段 PSO 是重塑良好的腰椎前凸曲线的更佳选择。

4 参考文献

1. Braun J, Sieper J. Ankylosing spondylitis[J]. Lancet, 2007,

- 369(9570): 1379–1390.
2. Zhang HQ, Huang J, Guo CF, et al. Two-level pedicle subtraction osteotomy for severe thoracolumbar kyphotic deformity in ankylosing spondylitis[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(1): 234–241.
 3. Zhong WQ, Chen ZQ, Zeng Y, et al. Two-level osteotomy for the corrective surgery of severe kyphosis from ankylosing spondylitis: a retrospective series[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2019, 44(23): 1638–1646.
 4. Liu C, Zheng GQ, Guo Y, et al. Two-level osteotomy for correcting severe ankylosing spondylitis kyphosis: radiologic outcomes of different osteotomy position—selection strategy for different type of patients[J]. *Spine Deform*, 2018, 6(3): 273–281.
 5. Qian BP, Jiang J, Qiu Y, et al. Radiographical predictors for postoperative sagittal imbalance in patients with thoracolumbar kyphosis secondary to ankylosing spondylitis after lumbar pedicle subtraction osteotomy[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2013, 38(26): E1669–E1675.
 6. Chen IH, Chien JT, Yu TC. Transpedicular wedge osteotomy for correction of thoracolumbar kyphosis in ankylosing spondylitis: experience with 78 patients [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2001, 26(16): E354–E360.
 7. Zhao YF, Xu H, Zhang YG, et al. Comparison of two surgeries in treatment of severe kyphotic deformity caused by ankylosing spondylitis: transpedicular biverbrae wedge osteotomy versus one-stage interrupted two-level transpedicular wedge osteotomy[J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2015, 139: 252–257.
 8. Qian BP, Wang XH, Qiu Y, et al. The influence of closing-opening wedge osteotomy on sagittal balance in thoracolumbar kyphosis secondary to ankylosing spondylitis: a comparison with closing wedge osteotomy[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2012, 37(16): 1415–1423.
 9. 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.
 10. Huang JC, Qian BP, Qiu Y, et al. When can one-level pedicle subtraction osteotomy obtain satisfied outcomes for severe thoracolumbar kyphosis with global kyphosis $\geq 80^\circ$ in ankylosing spondylitis: a comparison with two-level pedicle subtraction osteotomy[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2021, 46(6): E374–E383.
 11. Fairbank JC, Couper J, Davies JB, et al. The Oswestry low back pain disability questionnaire[J]. *Physiotherapy*, 1980, 66(8): 271–273.
 12. Hawker GA, Mian S, Kendzerska T, et al. Measures of adult pain: visual analog scale for pain (VAS Pain), numeric rating scale for pain (NRS Pain), McGill pain questionnaire (MPQ), short-form McGill pain questionnaire (SF-MPQ), chronic pain grade scale (CPGS), short form-36 bodily pain scale(SF-36 BPS), and measure of intermittent and constant osteoarthritis pain(ICOAP) [J]. *Arthritis Care Res(Hoboken)*, 2011, 63(Suppl 11): S240–S252.
 13. 乔木, 钱邦平, 邱勇, 等. 顶椎远端截骨治疗强直性脊柱炎胸腰椎后凸畸形[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2019, 29(10): 868–874.
 14. Protopsaltis TS, Diebo BG, Lafage R, et al. Identifying thoracic compensation and predicting reciprocal thoracic kyphosis and proximal junctional kyphosis in adult spinal deformity surgery[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2018, 43(21): 1479–1486.
 15. Yahara Y, Seki S, Makino H, et al. Three-dimensional computed tomography analysis of spinal canal length increase after surgery for adolescent idiopathic scoliosis: a multicenter study[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2019, 101(1): 48–55.
 16. Xu H, Zhang YG, Zhao YF, et al. Radiological and clinical outcomes comparison between single- and two-level pedicle subtraction osteotomies in correcting ankylosing spondylitis kyphosis[J]. *Spine J*, 2015, 15(2): 290–297.
 17. Hua WB, Zhang YK, Gao Y, et al. Analysis of sagittal parameters in patients undergoing one-or two-level closing wedge osteotomy for correcting thoracolumbar kyphosis secondary to ankylosing spondylitis [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2017, 42(14): E848–E854.
 18. Zheng GQ, Song K, Yao ZM, et al. How to calculate the exact angle for two-level osteotomy in ankylosing spondylitis [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2016, 41(17): E1046–E1052.
 19. 海涌, 赵会, 邵楠, 等. 腰椎融合术后下腰痛与腰椎矢状位序列的关系[J]. *中华医学杂志*, 2013, 93(15): 1129–1132.
 20. Chun SW, Lim CY, Kim K, et al. The relationships between low back pain and lumbar lordosis: a systematic review and meta-analysis[J]. *Spine J*, 2017, 17(8): 1180–1191.

(收稿日期:2021-07-14 修回日期:2021-09-26)

(英文编审 谭 啸)

(本文编辑 李伟霞)