

临床论著

经椎弓根不对称截骨术矫正强直性脊柱炎
胸腰椎侧后凸畸形的疗效分析

宋晨宇, 钱邦平, 俞 杨, 邱 勇, 乔 木

(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:分析经椎弓根不对称截骨术(asymmetrical pedicle subtraction osteotomy, APSO)对强直性脊柱炎(ankylosing spondylitis, AS)胸腰椎侧后凸畸形患者的临床疗效,并比较其与传统经椎弓根椎体截骨术(pedicle subtraction osteotomy, PSO)对矢状面平衡重建的疗效。方法:回顾性分析 2016 年 1 月~2019 年 6 月在我院行脊柱截骨术且随访超过 1 年的 55 例 AS 胸腰椎畸形患者。仅有矢状面畸形的 AS 患者采用 PSO, 双平面畸形患者采用 APSO。在术前、术后和末次随访时的站立全脊柱正侧位 X 线片上测量冠状面 Cobb 角、冠状面平衡距离(coronal balance distance, CBD)、全脊柱后凸角(global kyphosis, GK)、矢状面偏移(sagittal vertical axis, SVA)、骨盆倾斜角(pelvic tilt, PT)、骶骨倾斜角(sacral slope, SS)、腰椎前凸角(lumbar lordosis, LL)、截骨角(osteotomized vertebral angle, OVA)、融合节段角(angle of fused segments, AFS);在术前和末次随访时由患者填写疼痛视觉模拟(visual analogue scale, VAS)评分量表和 Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)量表。结果:55 例患者中 20 例接受 APSO, 35 例接受 PSO。两组患者年龄、性别比、融合节和截骨位置均无统计学差异($P>0.05$)。随访 27.3±8.1 个月(12~48 个月), APSO 组术前、术后和末次随访时的冠状面 Cobb 角分别为 18.9°±7.8°、7.3°±3.6°和 9.5°±4.4°, CBD 分别为 64.7±24.8mm、26.7±13.4mm 和 27.4±15.3mm, 术后和末次随访时较术前显著性改善($P<0.05$), 末次随访时与术后比较无显著性差异($P>0.05$)。两组间术前、术后和末次随访时的 SVA、GK、PT、LL、SS 均无显著性差异($P>0.05$);两组术后和末次随访时的 SVA、GK、PT 与同组术前比较均显著性减小($P<0.05$), LL、SS 显著性增大($P<0.05$);两组 SVA、GK、PT、LL、SS 矫正量均相似($P>0.05$)。末次随访时两组的 VAS 评分和 ODI 较术前均显著性改善($P<0.05$);两组同时点比较无统计学差异($P>0.05$)。APSO 组和 PSO 组末次随访时 OVA 和 AFS 均无明显改变($P>0.05$), APSO 组 OVA 显著大于 PSO 组($P<0.05$)。APSO 组 1 例截骨椎脱位, 1 例术中硬脊膜撕裂, 1 例体位性臂丛神经麻痹; PSO 组 2 例截骨椎脱位, 1 例体位性臂丛神经麻痹;两组并发症发生率无显著性差异($P=0.462$)。结论:APSO 在矢状面畸形矫正效果上与 PSO 一致;APSO 能够同时恢复 AS 胸腰椎侧后凸畸形患者的冠状位平衡。

【关键词】胸腰椎侧后凸畸形;强直性脊柱炎;经椎弓根截骨术;经椎弓根不对称截骨术;对比分析

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2023.03.07

中图分类号:R682.3, R687.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2023)-03-0236-08

Analysis of surgical outcomes of asymmetrical pedicle subtraction osteotomy for thoracolumbar kyphoscoliosis caused by ankylosing spondylitis/SONG Chenyu, QIAN Bangping, YU Yang, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2023, 33(3): 236-243

【Abstract】Objectives: To analyze the clinical outcomes of asymmetrical pedicle subtraction osteotomy (APSO) in ankylosing spondylitis (AS) patients with thoracolumbar kyphoscoliotic deformity and to compare its effect of reconstructing sagittal balance with pedicle subtraction osteotomy (PSO). Methods: 55 patients with AS-related thoracolumbar deformity underwent spinal osteotomy in our hospital between January 2016 and June 2019 and were followed up for more than one year were analyzed retrospectively. PSO was performed in AS patients with sagittal deformity only, and APSO was performed in patients with biplanar deformity. Radiological parameters including Cobb angle in the coronal plane, coronal balance distance (CBD), global kyphosis (GK), sagittal vertical axis (SVA), pelvic tilt (PT), sacral slope (SS), lumbar lordosis (LL), osteotomized vertebral angle (OVA) and

第一作者简介:男(1998-),研究生在读,研究方向:脊柱外科

电话:(025)68182022 E-mail:songchenyu2017@163.com

通讯作者:钱邦平 E-mail:qianbangping@163.com;俞杨 E-mail:yuyspine@163.com

angle of fused segments(AFS) were measured on the standing full-spine anteroposterior X-rays preoperatively, postoperatively, and at the final follow-up. Oswestry disability index(ODI) and visual analogue scale(VAS) were filled in by the patients preoperatively and at the final follow-up. **Results:** Of the 55 patients, 20 received APSO and 35 received PSO. The average follow-up period was 27.3 ± 8.1 months(range, 12–48 months). In APSO group, the Cobb angle was $18.9^\circ \pm 7.8^\circ$, $7.3^\circ \pm 3.6^\circ$, and $9.5^\circ \pm 4.4^\circ$, and CBD was 64.7 ± 24.8 mm, 26.7 ± 13.4 mm, and 27.4 ± 15.3 mm respectively at preoperation, postoperation, and the final follow-up, which were improved significantly at postoperation and final follow-up than those before operation ($P < 0.05$), while no significant differences were observed between postoperation and final follow-up($P > 0.05$). The preoperative, right postoperative, and final follow-up SVA, GK, PT, LL, and SS were not significantly different between groups ($P > 0.05$); the SVA, GK, and PT at postoperation and final follow-up of each group were reduced significantly than those before operation, respectively($P < 0.05$), and LL and SS were increased significantly($P < 0.05$); and the corrections of SVA, GK, PT, LL, and SS in the two groups were similar($P > 0.05$). In addition, the ODI and VAS score were also significantly improved at final follow-up than before operation($P < 0.05$); and there was no significant difference between groups at same follow-up time point($P > 0.05$). Concerning the OVA and AFS, no statistically significant differences were noted at the last follow-up respectively in APSO and PSO groups ($P > 0.05$). But the OVA in APSO group was larger than that in PSO group significantly ($P < 0.05$). The complications in the APSO group included 1 case of vertebral subluxation, 1 case of intraoperative dural tear, and 1 case of positional brachial palsy, while those in the PSO group included 2 cases of vertebral subluxation and 1 case of positional brachial palsy. There was no significant difference in the incidence of complications between the two groups($P = 0.462$). **Conclusions:** APSO and PSO have similar therapeutic effect on sagittal deformity correction; APSO can reconstruct biplanar balance in AS patients with thoracolumbar kyphosis and scoliosis.

[Key words] Thoracolumbar kyphoscoliotic deformity; Ankylosing spondylitis; Pedicle subtraction osteotomy; Asymmetrical pedicle subtraction osteotomy; Comparative analysis

[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)是一种以脊柱进行性强直为主要特征的慢性全身性免疫性疾病,主要累及青壮年^[1]。晚期 AS 患者会出现严重的矢状面失平衡,引起平视功能障碍、腰背部疼痛、内脏受压等一系列临床症状,严重影响患者生活质量^[2-5]。大部分 AS 胸腰椎畸形患者仅表现为矢状面失平衡,但也有部分患者同时合并胸腰椎侧凸导致冠状面失平衡^[6,7]。晚期 AS 脊柱畸形患者往往需要三柱截骨手术进行矫正,经椎弓根椎体截骨术(pedicle subtraction osteotomy, PSO)是治疗矢状面后凸畸形的经典术式^[8,9];但对于同时伴有胸腰椎侧凸的 AS 患者,传统 PSO 对于冠状面畸形的矫正能力有限,从而显著降低了临床疗效^[10]。既往研究报道,经椎弓根不对称椎体截骨术(asymmetrical pedicle subtraction osteotomy, APSO)可矫正成人退变性僵硬性脊柱侧后凸患者的双平面畸形^[11,12]。与传统 PSO 相比,APSO 的截骨量更大,住院时间更长^[13]。在成人脊柱畸形(adult spinal deformity, ASD)中,多将冠状面平衡

距离(coronal balance distance, CBD) ≥ 3 cm 作为冠状面失平衡的标准^[14];将 CBD ≥ 4 cm 作为冠状面重度失平衡的标准^[15,16]。对于 AS 重度冠状面失平衡患者(CBD ≥ 4 cm),APSO 能否重建其双平面平衡未见相关报道。本研究采用病例队列研究的方式,评估 20 例 AS 胸腰椎侧后凸畸形患者的术前、术后影像学资料和生活质量评分的改善情况,以评估 APSO 的矫形疗效。为证明 APSO 的安全性及其维持矢状面矫形效果的能力,同时纳入对称性 PSO 作为对照组,比较其与传统 PSO 重建矢状面平衡的疗效。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析 2016 年 1 月~2019 年 6 月在我院行脊柱截骨术的 55 例 AS 胸腰椎畸形患者。纳入标准:(1) 年龄 ≥ 18 岁的 AS 胸腰椎畸形患者;(2) 接受单节段 PSO 或 APSO;(3) 影像学 and 临床资料完整;(4) 随访 1 年以上,APSO 组病例均满

足 $CBD \geq 4\text{cm}$ 。排除既往有脊柱骨折史和脊柱手术史的患者。仅有矢状面畸形的 AS 患者采用 PSO, 双平面畸形患者采用 APSO。

1.2 手术方法

1.2.1 APSO 患者全麻后俯卧于弓形架上,沿后正中中线切口,充分显露拟融合节段脊柱后份结构。在既定置钉节段置入椎弓根螺钉后,在截骨邻近关节突间行“V”形截骨,再对截骨椎行全椎板切除,显露双侧椎弓根;单侧棒临时固定,经椎弓根制备一个隧道,经隧道切除椎体内松质骨。截骨区凸侧的截骨量多于凹侧,截骨完成后,在冠状面形成前侧窄、后侧宽,凹侧窄、凸侧宽的楔形截骨间隙,楔形截骨面朝向凸侧(图 1a)。用骨刀对双侧椎体侧壁进行截骨至椎体前壁,最后用反向刮匙将椎体后壁推入截骨间隙,刮除椎间孔内后凸骨质。截骨完成后缓慢调节弓形架行复位矫形,术者轻压截骨节段上下棘突帮助截骨面闭合,截骨面初步靠拢闭合后,助手固定骨盆,术者将躯干上半身移向冠状面凸侧,在凸侧行抱紧操作,放置预弯固定棒,完成内固定融合(图 1b)。手术全程在神经电生理监测下完成。

1.2.2 PSO 在显露及置钉上与 APSO 相同。在进行截骨操作时,截骨椎左右两侧去除松质骨相等,截骨完成后形成前侧窄、后侧宽、左右对称的截骨间隙。截骨完成后缓慢调节弓形架,闭合截骨面,安装矫形棒,完成矫形。

1.3 观察指标

使用 Surgimap 软件 (Version:1.1.2.293) 在术

前、术后和末次随访时的站立位全脊柱正侧位 X 线片上测量以下影像学数据^[17-19]:(1)冠状面 Cobb 角,胸腰椎侧凸中最倾斜的上端椎上终板和下端椎下终板之间的夹角;(2)CBD,经 C7 椎体中点铅垂线与 S1 中点铅垂线之间的垂直距离;(3)全脊柱后凸角(global kyphosis,GK),胸腰椎后凸中最倾斜的上端椎上终板和下端椎下终板之间的夹角;(4)矢状面偏移(sagittal vertical axis,SVA):经 C7 椎体中点铅垂线与 S1 后上缘的垂直距离;(5)腰椎前凸角(lumbar lordosis,LL),L1 上终板和 S1 上终板之间的夹角(前凸为负值,后凸为正值);(6)骶骨倾斜角(sacral slope,SS),S1 上终板和水平线之间的夹角;(7)骨盆倾斜角(pelvic tilt,PT),两股骨头连线中点与 S1 中点的连线和铅垂线之间的夹角;(8)截骨角(osteotomized vertebral angle,OVA):截骨椎上下终板之间的夹角;(9)融合节段角(angle of fused segments,AFS),最上端固定椎上终板和最下端固定椎下终板之间的夹角。在术前和末次随访时由患者填写疼痛视觉模拟 (visual analogue scale,VAS) 评分量表和 Oswestry 功能障碍指数 (Oswestry disability index,ODI)量表。

1.4 统计分析

数据均使用 SPSS 26.0 软件统计分析。计量资料均使用 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用配对样本 t 检验比较连续性变量术前和术后的差异。分类变量通过 χ^2 检验分析。 $P < 0.05$ 为有统计学差异。

2 结果

55 例患者中 20 例接受 APSO,35 例接受 PSO,随访 27.3 ± 8.1 个月(12~48 个月)。两组患者的一般资料见表 1。两组患者性别、年龄、融合节段无统计学差异($P > 0.05$),随访时间存在统计学差异($P < 0.05$)。

两组患者矫形术前、术后和末次随访的影像学数据及功能评定见表 2 和图 2、3。APSO 组术后和末次随访时的冠状面 Cobb 角和 CBD 均显著性改善,与术前比较均有统计学差异($P < 0.05$),末次随时与术后比较无显著性差异($P > 0.05$)。APSO 组和 PSO 组术后和末次随访时的矢状面参数均获得显著性改善,SVA、GK、PT 显著减小 ($P < 0.05$),LL、SS 显著增大($P < 0.05$),两组同时点比较均无显著性差异($P > 0.05$)。APSO 组术后和末次随访时

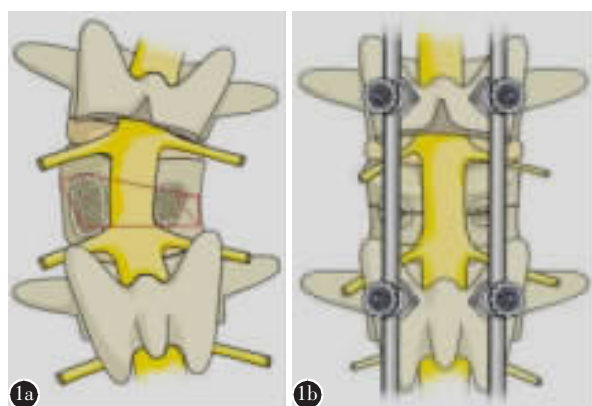


图 1 a 经椎弓根不对称截骨示意图(截骨间隙如红线所示) b 截骨间隙闭合示意图

Figure a Illustration of APSO: the osteotomy gap was indicated by the red line b Illustration of closing the osteotomy gap

的 OVA 显著性大于 PSO 组 ($P<0.05$), AFS 无显著性差异 ($P>0.05$), 两组末次随访时 OVA 和 AFS 与术后比较均无明显性改变 ($P>0.05$)。两组患者末次随访时, VAS 评分和 ODI 与术前比较均显著性改善 ($P<0.05$), 两组同时点比较均无显著性差异 ($P>0.05$)。两组 SVA、GK、PT、LL、SS 矫正量相似 ($P>0.05$, 表 3)。

APSO 组 3 例患者出现 3 种并发症, 其中 1 例截骨椎脱位, 1 例术中硬脊膜撕裂, 1 例体位性

臂丛神经麻痹; PSO 组 3 例患者出现 2 种并发症, 包括 2 例截骨椎脱位, 1 例体位性臂丛神经麻痹。APSO 组术中并发症发生率为 15%, PSO 组为 8.6%, 两组比较无显著性差异 ($P=0.462$)。2 例体位性臂丛神经麻痹患者术后予以康复锻炼, 症状得到缓解; 1 例硬脊膜撕裂患者术中予以缝合, 术后未出现脑脊液漏; 3 例截骨椎脱位患者在随访时截骨椎均已闭合重塑。术中无大血管损伤, 术后无死亡、切口感染等并发症。

表 1 APSO 组和 PSO 组一般资料对比

Table 1 Comparison of clinical data between APSO and PSO group

	APSO 组 (n=20) APSO group	PSO 组 (n=35) PSO group
年龄 (岁) Age(y)	37.5±9.0	37.4±10.9
随访时间 (月) Follow-up period(m)	23.5±8.7	29.5±6.9 ^①
性别 (女/男) Sex(F/M)	0/20	5/30
融合节段 Fusion levels	8.9±1.0	9.4±1.5
截骨位置 Osteotomy level		
C7	0	1
T12	0	1
L1	6	11
L2	12	18
L3	2	4

注: ①与 APSO 组比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with APSO group, $P<0.05$

3 讨论

晚期 AS 患者会合并严重胸腰椎畸形, 表现为胸椎后凸增大和腰椎前凸丢失, 导致患者平视功能障碍、腰背部疼痛, 进一步影响生活质量^[1-5]。尽管 AS 患者大多数为单纯矢状面失平衡, 但仍有部分患者会合并冠状面失平衡, 从而表现为 AS 胸腰椎侧后凸畸形。在成人脊柱畸形中, 冠状面失平衡的矫正已经引起脊柱外科医生的重视。Toyone 等^[18]采用 APSO 矫正 11 例退变性僵硬性腰椎侧后凸畸形, 术后冠状面 Cobb 角由 40°矫正至 12°, CBD 由 3cm 矫正至 1cm, 矢状面形态也得到有效矫正。双平面平衡的有效重建不仅可以减少应力性疼痛, 还有助于截骨面的闭合, 增加局部稳定性, 降低相关力学并发症的发生率。因此, 对于 AS 胸腰椎侧后凸畸形患者需通过手术重建其双平面平衡。钱邦平等^[20]采用 APSO 矫正 16 例 AS 胸腰椎侧后凸畸形, 获得满意矫形疗效。本研

表 2 APSO 组和 PSO 组的影像学参数与临床评分

Table 2 Radiographic parameters and clinical outcomes of APSO and PSO groups

	APSO 组 (n=20) APSO group			PSO 组 (n=35) PSO group		
	术前 Preoperative	术后 Postoperative	末次随访 Final follow-up	术前 Preoperative	术后 Postoperative	末次随访 Final follow-up
矢状面平衡 (mm) SVA	164.4±75.8	61.2±45.7 ^①	59.1±50.3	140.3±58.4	47.8±45.7 ^①	49.0±47.1
全脊柱后凸角 (°) GK	68.8±19.2	54.4±13.3 ^①	57.6±11.9	73.3±14.0	57.4±13.0 ^①	58.5±11.4
腰椎前凸角 (°) LL	8.2±14.7	-42.6±10.2 ^①	-40.3±9.0	9.7±24.8	-43.3±11.8 ^①	-41.6±11.5
骨盆倾斜角 (°) PT	40.6±8.3	22.8±7.9 ^①	28.7±9.0	37.4±11.5	21.3±8.7 ^①	25.1±9.9
骶骨倾斜角 (°) SS	4.3±10.0	21.1±6.6 ^①	17.5±7.2	9.9±10.0	22.9±6.9 ^①	20.8±6.5
冠状面平衡 (mm) CBD	64.7±24.8	26.7±13.4 ^①	27.4±15.3	—	—	—
Cobb 角 (°) Cobb angle	18.9±7.8	7.3±3.6 ^①	9.5±4.4	—	—	—
截骨角 (°) OVA	—	33.2±7.0	33.2±6.7	—	23.7±8.9	23.6±9.1
融合节段角 (°) AFS	—	10.2±9.3	10.9±8.4	—	15.1±10.0	14.3±9.9
Oswestry 功能障碍指数 ODI	20.3±14.1	—	10.6±9.9 ^①	15.1±9.6	—	7.6±6.6 ^①
疼痛视觉模拟评分 VAS	4.3±3.0	—	2.3±2.2 ^①	5.4±2.4	—	1.9±1.8 ^①

注: ①与术前比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with preoperation, $P<0.05$

究加入对称性 PSO 作为对照组,进一步证明了 APSO 对 AS 胸腰椎侧后凸畸形双平面重建的能力及其安全性,即未降低矢状面矫形效力的同时可矫正冠状面畸形、且未增加并发症的发生率,是

对钱邦平等研究结论的深入验证。

单节段和双节段 PSO 均可有效矫正矢状面失平衡的 AS 胸腰椎后凸畸形。Xu 等^[21]分析 37 例 AS 胸腰椎后凸畸形单节段 PSO 术后矢状面参

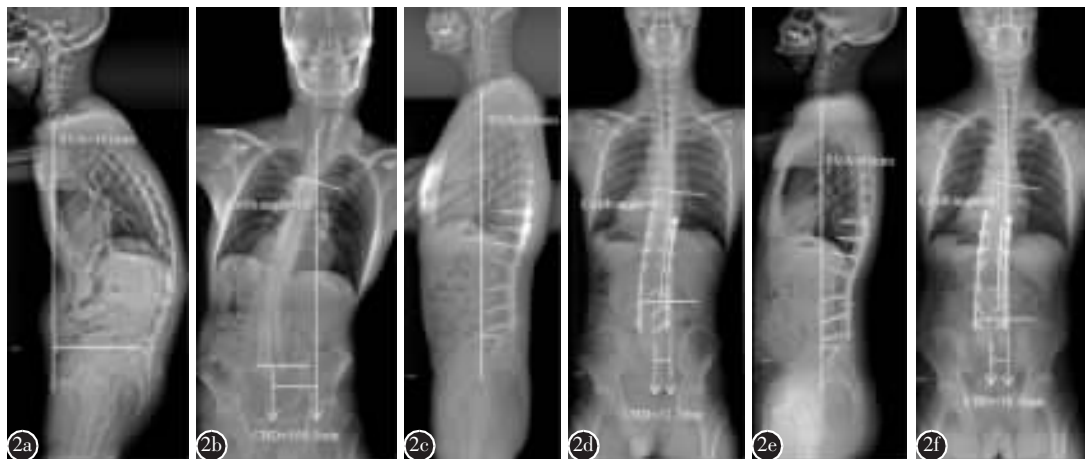


图 2 患者男,32 岁,AS 胸腰椎侧后凸畸形 **a** 术前 SVA 为 161mm,GK 为 64°,LL 为 16°,PT 为 46°,SS 为 -5° **b** 术前冠状面 Cobb 角为 19°,CBD 为 100.1mm **c** 行 L2 APSO、T10-L5 固定术后 SVA 为 42mm,GK 为 30°,LL 为 -39°,PT 为 24°,SS 为 17° **d** 术后冠状面 Cobb 角为 6°,CBD 为 32.7mm **e** 术后 12 个月 SVA 为 31mm,GK 为 36°,LL 为 -39°,PT 为 28°,SS 为 16° **f** 术后 12 个月冠状面 Cobb 角为 8°,CBD 为 18.3mm

Figure 2 A 32-year-old male patient with thoracolumbar kyphoscoliosis **a** Preoperative SVA, GK, LL, PT and SS was 161mm, 64°, 16°, 46° and -5° respectively **b** Preoperative Cobb angle and CBD was 19° and 100.1mm **c** Postoperative SVA, GK, LL, PT and SS was 42mm, 30°, -39°, 24° and 17° respectively after L2 APSO and T10-L5 fixation **d** Postoperative Cobb angle and CBD was 6° and 32.7mm **e** At 12-month follow-up, SVA, GK, LL, PT and SS was 31mm, 36°, -39°, 28° and 16° respectively **f** At 12-month follow-up, Cobb angle and CBD was 8° and 18.3mm



图 3 患者男,21 岁,AS 胸腰椎后凸畸形 **a** 术前 SVA 为 237mm,GK 为 82°,LL 为 42°,PT 为 49°,SS 为 -9° **b** 术前冠状面无失平衡 **c** 行 L3 PSO、T11-S1 固定术后 SVA 为 54mm,GK 为 36°,LL 为 -23°,PT 为 34°,SS 为 11° **d** 术后冠状面无失平衡 **e** 术后 24 个月 SVA 为 80mm,GK 为 54°,LL 为 -29°,PT 为 37°,SS 为 10° **f** 术后 24 个月冠状面仍无失平衡

Figure 3 A 21-year-old male patient with thoracolumbar kyphosis **a** Preoperative SVA, GK, LL, PT and SS was 237mm, 82°, 42°, 49° and -9° respectively **b** No coronal imbalance before operation **c** Postoperative SVA, GK, LL, PT and SS was 54mm, 36°, -23°, 34° and 11° respectively after L3 PSO and T11-S1 fixation **d** No coronal imbalance after operation **e** At 24-month follow-up, SVA, GK, LL, PT and SS was 80mm, 54°, -29°, 37° and 10° respectively **f** At 24-month follow-up, there was still no coronal imbalance

表 3 APSO 组和 PSO 组重建矢状面平衡的疗效比较

Table 3 Comparison of clinical efficacies in reconstructing sagittal balance between APSO and PSO group

	APSO组 (n=20) APSO group	PSO组 (n=35) PSO group	P值 P value
△SVA	103.2±60.4	92.5±48.9	0.476
△GK	14.4±14.2	15.9±11.2	0.648
△LL	50.8±19.6	53.0±27.3	0.748
△PT	17.8±7.1	16.1±9.3	0.473
△SS	16.9±7.7	13.0±8.1	0.092

注:△与术前比较的变化值;SVA,矢状面平衡;GK,全脊柱后凸角;LL,腰椎前凸角;PT,骨盆倾斜角;SS,骶骨倾斜角

Note: △improvement in comparison with the preoperative value; SVA, sagittal vertical axis; GK, global kyphosis; LL, lumbar lordosis; PT, pelvic tilt; SS, sacral slope

数,SVA 平均矫正 13.2cm,PT 平均矫正 12.4°,LL 平均矫正 41°。钱邦平等^[22]使用跳跃式双节段 PSO 治疗 10 例重度 AS 胸腰椎后凸畸形,SVA 平均矫正 19.4cm,GK 平均矫正 41.8°,LL 平均矫正 86°。本研究中,传统 PSO 组术后矢状面参数均得到有效矫正($P<0.05$)。说明单节段和双节段 PSO 均可矫正 AS 胸腰椎后凸畸形,但传统 PSO 难以矫正冠状面畸形,从而显著影响临床疗效。

APSO 是由传统 PSO 发展而来,与传统 PSO 不同,APSO 在截骨时凸侧椎体去除的松质骨多于凹侧,从而在闭合后达到双平面矫正的目的。全椎体截骨术 (vertebral column resection,VCR)也可用于僵硬性侧后凸畸形的矫正,但与 APSO 相比,VCR 的术中并发症、神经损伤发生率均较高,手术时间更长,对术者的技术要求也更高^[12]。由于上述原因,APSO 被认为是 VCR 的有效替代方法。相比于前方张开式截骨 (Smith-Petersen osteotomy,SPO),闭合式楔形截骨 (closing wedge osteotomy,CWO)不仅可以获得更大后凸矫正,还可以降低 SPO 引起的前纵韧带和腹主动脉撕裂的风险。多节段经关节突“V”形截骨和 PSO 两者适应证不同,邱勇等^[23]采用这两种术式治疗 AS 后凸畸形,指出二者治疗 AS 胸腰椎后凸畸形疗效相似,但多节段经关节突“V”形截骨仅适用于脊柱椎间隙无明显狭窄、前柱骨化程度轻的年轻患者,且术中难以预测截骨面闭合程度。多数 AS 患者进行矫形手术时,病程较长,后凸明显且畸形僵硬,应用经关节突“V”形截骨矫形程度有限;术中由于关节突融合、关节间隙难于辨别,实施经关节

突“V”形截骨常常受限;前方如有骨赘形成或术中截骨椎前方张开,血管损伤的潜在风险也将增加。由此可见,对于同时合并冠状面和矢状面失平衡的 AS 胸腰椎侧后凸畸形患者,APSO 应当被认作是最佳术式。

AS 胸腰椎侧后凸畸形不同于其他脊柱侧后凸畸形,AS 患者脊柱缺乏活动度,术后无法像其他类型患者一样使用未融合的脊柱节段进行代偿,因此术前进行详细的截骨方案设计非常重要。选择截骨椎应遵循顶椎原则,即在顶椎区进行截骨。顶椎区截骨优势在于:顶椎区较为表浅,易于进行截骨操作^[24];同时可以实现最大程度的矫正,外观改善也更为明显。除顶椎的选择外,截骨角度的预测也同样重要。截骨角度不当会使脊柱仍处于失平衡状态,内固定失败和矫正丢失的风险显著增加^[25]。Park 等^[26]使用 Surgimap 软件对 18 例 AS 患者进行术前模拟,发现术前模拟和术后矢状面参数拟合程度较高。因此术前可使用 Surgimap 软件模拟截骨过程并预测截骨角度。

本研究中,APSO 组并发症发生率为 15%。说明即使术前进行详细的截骨方案设计,由于 AS 侧后凸畸形常较为僵硬,使用 APSO 矫正此类复杂脊柱畸形时仍存在一定挑战。首先,术中神经损害是常见并发症之一。其损伤原因可能是 APSO 使截骨区硬脊膜皱缩及椎板截骨缘共同对脊髓形成压迫。发生此类并发症可行椎板切开减压术,解除脊髓压迫,从而缓解临床症状。此外,术中应密切观察神经电生理监测结果,尤其是在处理椎体后壁时,以防椎体错位损伤脊髓。第二,APSO 术中出血较多。Toyone 等^[18]采用 APSO 治疗 14 例退变性僵硬性腰椎侧后凸,最大出血量为 2900ml。为了有效减少术中出血,术前在体位摆放时要避免压迫腹部导致腹壁静脉回流受阻。截骨时采取蛋壳技术可有效减少术中出血,即由椎体内部向外进行截骨直至椎体外壁成一薄壳,减小节段血管损伤的可能性。

本研究中,APSO 组 CBD 平均矫正 3.8cm,术后未发生冠状面失平衡 (coronal imbalance,CIB)。但三柱截骨术后 CIB 的发生风险已有研究报道。Xu 等^[27]采用三柱截骨手术治疗 130 例先天性胸腰椎侧后凸畸形,发现 CIB 的发生率为 20%,并认为其与远端固定椎较大倾斜度有关。Bao 等^[14]对 284 例退变性腰椎侧凸进行回顾性分析,指出

CBD>3cm 且 C7 铅垂线偏向凸侧的“C”型患者更容易发生 CIB。AS 胸腰椎侧后凸畸形术后 CIB 的发生也不容忽视。Lee 等^[28]回顾分析 PSO 治疗 230 例 AS 胸腰椎后凸畸形的术后并发症,发现 CI 是引起术后翻修的首要原因。对于躯干偏向凸侧的 AS 患者,APSO 术中在闭合截骨间隙时,可能会使躯干进一步向凸侧倾斜。若 APSO 术后冠状面失平衡未得到有效矫正,躯干重心将仍然偏向于凹侧,使凹侧内固定承受的机械应力较凸侧大,该侧远期内固定断裂的风险将显著增加。因此,APSO 术中冠状面平衡的确定显得尤为重要。为了达到理想的冠状面平衡,术中使用 C 型臂 X 线机透视是一种可靠的评估方式。传统方法依赖于术中反复多次透视及术者主观判断,具有一定主观性,准确性较差。程杰等^[29]介绍了一种新方法用以评估术中脊柱冠状面平衡的矫正:点线法,即判断上端固定椎椎体中心与下端固定椎椎体中心和耻骨联合中心点之间连线的相对位置,以此评估术中 CIB 的矫正情况。由于 AS 患者的脊柱已丧失部分代偿能力,因此在冠状面矫正时应避免过度矫正,以免发生术后躯干失代偿。

本研究中 APSO 不仅可有效矫正 AS 矢状面畸形还可显著矫正其冠状面畸形,APSO 组患者术前冠状面 Cobb 角为 $18.9^{\circ} \pm 7.8^{\circ}$, 术后为 $7.3^{\circ} \pm 3.6^{\circ}$, 平均矫正 11.5° ; 术前 CBD 为 $64.7 \pm 24.8\text{mm}$, 术后为 $26.7 \pm 13.4\text{mm}$, 平均矫正 38.0mm ; SVA、GK、PT 显著减小 ($P < 0.05$); LL、SS 显著增大 ($P < 0.05$)。Qiao 等^[30]比较了三柱截骨手术治疗脊柱后凸和脊柱侧后凸患者的疗效,发现脊柱侧后凸患者的并发症发生率(30.3%)高于单纯脊柱后凸患者(18.2%),并且认为此结果和肿瘤、感染、畸形等因素有关。Lau 等^[13]比较 APSO 和 PSO 矫正 ASD 术后并发症的发生率,结果显示无显著性差异(42.3% vs 33.7%)。本研究中,尽管 APSO 组术中并发症的发生率高于传统 PSO 组,但两组并发症的发生率统计学差异($P=0.462$)。两组患者矢状面参数在术前、术后、随访时均无明显差异,且两组在矢状面参数矫正量和生活质量改善上也无明显差异($P > 0.05$)。APSO 和 PSO 的 OVA 和 AFS 在随访时均无明显改变,表明二者术后截骨椎及融合节段均可达到满意骨性融合。APSO 术中截骨量较 PSO 多,这是导致其 OVA 较大的原因。表明 AS 胸腰椎畸形患者 APSO 和传统 PSO 术后均可

获得满意临床疗效。

APSO 和传统 PSO 相比,其优势在于:(1) APSO 可有效矫正 AS 胸腰椎侧后凸畸形,重建其双平面平衡;(2) APSO 截骨量更大,使截骨接触面积更广,有助于截骨椎的重塑,增加局部的稳定性^[20];(3) CIB 矫正后可改善患者腰骶部肌肉源性疼痛及降低远期内固定失败的发生率。本研究中,虽然 APSO 组和 PSO 组术中并发症的发生率无明显差异,但 APSO 组要高于 PSO 组,应当予以重视。在行 APSO 手术时,可通过以下方法降低术中并发症的发生:(1) 在截骨椎凸侧进行充分减压,避免在复位时发生神经损害;(2) AS 胸腰椎侧后凸畸形患者的硬脊膜粘连较为严重,截骨时容易出现硬脊膜撕裂,术中一旦发生硬脊膜撕裂应予以缝合,降低脑脊液漏的发生风险;(3) 在截骨闭合时,保持前皮质骨的连续并且合理使用悬臂技术可以有效避免术中截骨椎脱位的发生。

本研究仍然存在一定的局限性:(1) 1 年随访尚不能代表 AS 术后力学并发症的发生率,因此未将术后力学并发症的发生率纳入观察指标。(2) 未考虑职业、性别、受教育程度等因素可能对生活质量改善产生的影响。(3) 未能将 PSO 和 APSO 同多节段 Ponte 截骨、经关节突“V”形截骨或“蛋壳”技术截骨等术式进行对比,待积累更充足的病例后,继续进行更深入的探索研究。

4 结论

APSO 和 PSO 治疗 AS 胸腰椎畸形在矢状面畸形矫正及生活质量改善上效果相当;对于 AS 胸腰椎侧后凸畸形患者双平面平衡的重建,APSO 是一种安全可靠的手术方式。

5 参考文献

1. Braun J, Sieper J. Ankylosing spondylitis[J]. Lancet, 2007, 369(9570): 1379-1390.
2. Qian BP, Jiang J, Qiu Y, et al. The presence of a negative sacral slope in patients with ankylosing spondylitis with severe thoracolumbar kyphosis[J]. J Bone Joint Surg Am, 2014, 96(22): e188.
3. Kim KT, Suk KS, Cho YJ, et al. Clinical outcome results of pedicle subtraction osteotomy in ankylosing spondylitis with kyphotic deformity[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2002, 27(6): 612-628.
4. Tan S, Yao J, Flynn JA, et al. Zygapophyseal joint fusion in ankylosing spondylitis assessed by computed tomography: as-

- sociations with syndesmophytes and spinal motion [J]. J Rheumatol, 2017, 44(7): 1004–1010.
5. El Maghraoui A, Borderie D, Cherruau B, et al. Osteoporosis, body composition, and bone turnover in ankylosing spondylitis [J]. J Rheumatol, 1999, 26(10): 2205–2209.
 6. Debarge R, Demey G, Roussouly P. Radiological analysis of ankylosing spondylitis patients with severe kyphosis before and after pedicle subtraction osteotomy[J]. Eur Spine J, 2010, 19(1): 65–70.
 7. Rosu MO, Ancuta C, Iordache C, et al. Importance of posture assessment in ankylosing spondylitis preliminary study[J]. Rev Med Chir Soc Med Nat Iasi, 2012, 116(3): 780–784.
 8. Liu C, Zheng G, 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.
 9. 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.
 10. Thambiraj S, Boszczyk BM. Asymmetric osteotomy of the spine for coronal imbalance: a technical report[J]. Eur Spine J, 2012, 21(Suppl 2): S225–229.
 11. Chan AK, Lau D, Osorio JA, et al. Asymmetric pedicle subtraction osteotomy for adult spinal deformity with coronal imbalance: complications, radiographic and surgical outcomes [J]. Oper Neurosurg (Hagerstown), 2020, 18(2): 209–216.
 12. Cecchinato R, Berjano P, Aguirre MF, et al. Asymmetrical pedicle subtraction osteotomy in the lumbar spine in combined coronal and sagittal imbalance[J]. Eur Spine J, 2015, 24(Suppl 1): S66–71.
 13. Lau D, Haddad AF, Deviren V, et al. Asymmetrical pedicle subtraction osteotomy for correction of concurrent sagittal-coronal imbalance in adult spinal deformity: a comparative analysis[J]. J Neurosurg Spine, 2020, 33(6): 822–829.
 14. Bao H, Yan P, Qiu Y, et al. Coronal imbalance in degenerative lumbar scoliosis: Prevalence and influence on surgical decision-making for spinal osteotomy[J]. Bone Joint J, 2016, 98-B(9): 1227–1233.
 15. Mac-Thiong JM, Transfeldt EE, Mehbod AA, et al. Can C7 plumbline and gravity line predict health related quality of life in adult scoliosis[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2009, 34(15): E519–527.
 16. Glassman SD, Berven S, Bridwell K, et al. Correlation of radiographic parameters and clinical symptoms in adult scoliosis[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2005, 30(6): 682–688.
 17. 李耀, 钱邦平, 邱勇, 等. 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[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2021, 31(11): 983–991.
 18. Toyone T, Shiboi R, Ozawa T, et al. Asymmetrical pedicle subtraction osteotomy for rigid degenerative lumbar kyphoscoliosis[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2012, 37(21): 1847–1852.
 19. 赵师州, 钱邦平, 邱勇. 强直性脊柱炎胸腰椎后凸畸形截骨矫形术后近端交界性后凸的危险因素与临床意义[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2018, 28(8): 675–681.
 20. 钱邦平, 邱勇, 潘涛, 等. 经椎弓根不对称截骨重建强直性脊柱炎胸腰椎侧后凸畸形患者双平面平衡 [J]. 中华骨科杂志, 2015, 35(4): 341–348.
 21. Xu H, Zhang Y, Zhao Y, et al. Radiologic 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.
 22. 钱邦平, 邱勇, 季明亮, 等. 跳跃式双节段经椎弓根椎体截骨治疗重度强直性脊柱炎胸腰椎后凸畸形 [J]. 中华医学杂志, 2013, 93(7): 491–495.
 23. 邱勇, 朱泽章, 吕锦瑜, 等. 强直性脊柱炎胸腰椎后凸畸形两种截骨矫形术式的疗效比较[J]. 中华骨科杂志, 2002, 22(12): 18–21.
 24. 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.
 25. Blondel B, Schwab F, Bess S, et al. Posterior global malalignment after osteotomy for sagittal plane deformity: it happens and here is why[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2013, 38(7): E394–401.
 26. Park YS, Kim HS, Baek SW, et al. Preoperative computer-based simulations for the correction of kyphotic deformities in ankylosing spondylitis patients[J]. Spine J, 2014, 14(10): 2420–2424.
 27. Xu L, Chen X, Qiao J, et al. Coronal imbalance after three-column osteotomy in thoracolumbar congenital kyphoscoliosis: incidence and risk factors[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2019, 44(2): E99–E106.
 28. Lee KH, Kim KT, Kim YC, et al. Radiographic findings for surgery-related complications after pedicle subtraction osteotomy for thoracolumbar kyphosis in 230 patients with ankylosing spondylitis[J]. J Neurosurg Spine, 2020, 33(3): 366–372.
 29. 程杰, 徐韬, 尔旦·买买提, 等. 术中评估冠状面平衡新方法(点线法)在脊柱侧凸矫形术中的应用 [J]. 中华骨科杂志, 2019, 39(20): 1249–1256.
 30. Qiao J, Xiao L, Sun X, et al. Three column osteotomy for adult spine deformity: comparison of outcomes and complications between kyphosis and kyphoscoliosis[J]. Br J Neurosurg, 2018, 32(1): 32–36.

(收稿日期:2022-10-13 末次修回日期:2023-02-05)

(英文编审 谭 啸)

(本文编辑 卢庆霞)