

骨盆腰椎匹配值与成人退变性脊柱侧凸畸形 术后疗效的相关性研究

赵 耀, 漆龙涛, 李淳德, 邑晓东, 刘 洪, 李 宏, 于峥嵘, 孙浩林

(北京大学第一医院骨科 100034 北京市)

【摘要】目的:探讨成人退变性脊柱侧凸畸形患者骨盆腰椎匹配值(PI-LL)与术后临床疗效的关系。**方法:**选取 2011 年 1 月~2012 年 12 月间因退变性脊柱侧凸于我院行长节段减压融合手术的患者共 42 例,随访时间 3 年以上。术前及末次随访时行站立位脊柱全长正侧位 X 线片检查,记录患者视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)和 Oswestry 功能障碍评分(Oswestry disability index, ODI)。影像学上测量侧凸 Cobb 角、骨盆投射角(pelvic incidence, PI)、骶骨倾斜角(sacral slope, SS)、骨盆倾斜角(pelvic tilt, PT)、腰椎前凸(lumbar lordosis, LL)、胸椎后凸(thoracic kyphosis, TK)、骨盆腰椎前凸角(pelvic radius-T12, PR-T12)、T1 骨盆角(T1 pelvic angle, TPA)和矢状垂直轴(sagittal vertical axis, SVA)。统计患者术前术后影像学参数和功能评分的改善情况,分析这些参数与 PI-LL 值的相关性及不同 PI-LL 值对患者生活质量(ODI)的影响。**结果:**患者平均年龄 68.8 岁。术前冠状位侧凸 Cobb 角为 $19.5^{\circ} \pm 5.4^{\circ}$,末次随访时改善为 $6.1^{\circ} \pm 3.5^{\circ}$,差异显著($P < 0.01$)。腰椎前凸由术前平均 20.7° 增加至 34.3° ,末次随访时平均 PI-LL 为 9.0° ,SVA 由术前平均 7.6cm 减少至 5.7cm,差异显著($P < 0.01$)。术前矢状位平衡组患者 10 例,末次随访时 PI-LL 为 $1.0^{\circ} \pm 5.9^{\circ}$ 。矢状位失衡组患者 32 例,末次随访时 PI-LL 为 $11.8^{\circ} \pm 9.0^{\circ}$ 。两组术前的 VAS 和 ODI 评分无显著差异,术后均得到明显改善;两组术后 VAS 和 ODI 评分差异无统计学意义($P = 0.074/0.053$)。术后 PI-LL 与术后 PR-T12、TPA、SVA、VAS 及 ODI 显著相关。末次随访时 $PI-LL \leq 10^{\circ}$ 与 $10^{\circ} < PI-LL \leq 15^{\circ}$ 两组之间 ODI 评分无显著差异($P = 0.205$),但均与 $PI-LL > 15^{\circ}$ 组间差异显著($P = 0.010/0.048$)。**结论:**成人退变性脊柱侧凸畸形患者手术治疗时应注意对矢状位的充分评估。对于高龄患者,术后 $PI-LL \leq 15^{\circ}$ 提示骨盆腰椎匹配良好,有助于维持脊柱-骨盆矢状位平衡,显著提高患者的临床疗效和生活质量。

【关键词】 脊柱骨盆参数;骨盆腰椎匹配值;矢状位平衡

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2016.08.06

中图分类号:R682.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2016)-08-0701-08

The correlation study between PI-LL value and its clinical outcome in adult degenerative scoliosis deformity correction/ZHAO Yao, QI Longtao, LI Chunde, et al/Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2016, 26(8): 701-708

【Abstract】 Objectives: To investigate the relationship between the PI-LL value and its clinical outcomes after adult degenerative scoliosis surgery. **Methods:** 42 patients who received long-segment correction for degenerative scoliosis between January 2011 and December 2012 in our hospital were analyzed retrospectively. Follow-ups were more than 3 years. Pre-operatively and at final follow-up, patients undertook full-long standing X-ray of spine, meanwhile VAS and ODI scores were recorded. The scoliosis Cobb's angle, pelvic incidence, sacral slope, pelvic tilt, lumbar lordosis, thoracic kyphosis, pelvic radius-T12, T1 pelvic angle and sagittal vertical axis were measured. The radiological parameters and clinical function scores pre- and post-operatively were compared, to analysis the correlation of these parameters with PI-LL value, and the impact on patients quality of life (ODI) of different PI-LL values. **Results:** The average age of patients was 68.8 years. Pre-operative scoliosis Cobb's angle was $19.5^{\circ} \pm 5.4^{\circ}$, which improved to $6.1^{\circ} \pm 3.5^{\circ}$ at final follow-up ($P < 0.01$). The average lumbar lordosis increased from 20.7° to 34.3° , PI-LL was 9.0° at final follow-up and

第一作者简介:男(1987-),住院医师,医学博士,研究方向:脊柱外科

电话:(010)83572642 E-mail:zhaoyao1@medmail.com.cn

通讯作者:李淳德 E-mail:lichunde@medmail.com.cn

SVA decreased from 7.6cm to 5.7cm, the differences were significant ($P<0.01$). Sagittal balanced group included 10 patients, PI-LL was $1.0^{\circ}\pm 5.9^{\circ}$ at final follow-up. Sagittal unbalanced group included 32 patients, PI-LL was $11.8^{\circ}\pm 9.0^{\circ}$ at final follow-up. Pre-operative VAS and ODI scores between two groups were not significant, but improved obviously at final follow-up. There were no significant differences with VAS and ODI scores between two groups at final follow-up ($P=0.074/0.053$). Post-operative PI-LL had significant correlations with postoperative PR-T12, TPA, SVA, VAS and ODI score. ODI score between PI-LL $\leq 10^{\circ}$ group and $10^{\circ}<PI-LL\leq 15^{\circ}$ group had no significant difference at final follow-up ($P=0.205$), but had significant differences between these two groups and PI-LL $>15^{\circ}$ group ($P=0.010/0.048$). **Conclusions:** The sagittal alignment during surgical treatment for degenerative scoliosis should be carefully evaluated. Post-operative PI-LL $<15^{\circ}$ suggests matched pelvis and lumbar lordosis for senior patients, helps to maintain the spino-pelvic balance, and significantly improves the patients' clinical outcome and quality of life.

[Key words] Spino-pelvic alignment; PI-LL; Sagittal balance

[Author's address] Orthopedic department of Peking University First Hospital, Beijing, 100034, China

退变性脊柱侧凸是由于不对称的椎间盘及关节突复合体的退变、椎体的楔形变及侧滑等因素导致的成人脊柱畸形,表现为冠状位侧凸曲线 $>10^{\circ}$,通常伴有椎管狭窄及节段不稳^[1]。临床症状包括背部的僵硬和疼痛,下肢神经症状及间歇性跛行,明显影响患者的生活质量^[2]。随着社会人口老龄化的进展,退变性脊柱侧凸畸形的患者数目也在不断增加,文献报道国人退变性脊柱侧凸的发病率高达 13.3%^[3],因此对此类患者的诊治在临床上愈加重要。现今脊柱外科医师已普遍认识到脊柱侧凸是三维畸形,往往伴随着腰椎前凸减小等脊柱矢状位曲线的异常,甚至术后矢状位曲线的恢复相比冠状位对手术疗效的影响更明显^[4]。骨盆作为连接脊柱与下肢的枢纽,在维持矢状位平衡中起着关键的作用^[5]。骨盆投射角(pelvic incidence, PI)反应个体的骨盆形态,与腰椎前凸(lumbar lordosis, LL)曲线的形态关系密切^[6]。PI-LL 称为骨盆腰椎匹配值, Schwab 指出术后理想的矢状位平衡应使得 $LL=PI\pm 9^{\circ}$ ^[7]。若存在骨盆腰椎不匹配, $PI-LL\geq 10^{\circ}$, 患者的疼痛症状更明显,功能评分较差^[8]。目前国内关于 PI-LL 匹配值的研究相对较少,我们的目的是探讨 PI-LL 值与成人退变性脊柱侧凸畸形术后疗效的相关性,明确其临床意义。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究为单中心的回顾性研究。对象为 2011 年 1 月~2012 年 12 月间因退变性脊柱侧凸于我院行长节段减压融合手术的患者。手术患者均为

在门诊保守治疗半年以上效果欠佳,仍存在顽固性腰腿痛, VAS 评分 >5 分,或合并有重度椎管狭窄、神经损伤肌力下降等表现。病例入选标准为:①年龄 ≥ 55 岁;②融合节段 ≥ 4 节;③术前有脊柱全长 X 线片检查;④无脊柱手术史;⑤无恶性肿瘤疾病;⑥无帕金森、强直性脊柱炎、休门氏病等特殊疾病;⑦随访时间达 3 年以上,末次复查时完成脊柱全长 X 线片检查。采集患者的一般信息,测量患者术前及末次随访时脊柱的影像学冠状位及矢状位参数,术后疗效使用 VAS 和 ODI 评分判断。本研究中数据的采集者不参与患者的治疗过程。

1.2 手术方式

手术方式为腰椎后入路手术,剥离椎旁肌至关节突外缘,于矫形节段双侧置入椎弓根钉。合并椎管狭窄的节段行椎管减压,切除部分棘突、椎板、黄韧带及关节突内缘,潜行扩大神经根管。采用多节段 Ponte 截骨增加侧后凸矫形效果。将连接杆预弯出合适前凸曲线,长节段固定矫形。减压之自体骨混合同种异体骨行横突间植骨。

1.3 测量方法与评估参数

(1) 冠状位参数。侧凸 Cobb 角:腰椎侧凸曲线上端椎上缘与下端椎下缘所成的角。

(2) 矢状位参数。胸椎后凸(thoracic kyphosis, TK):测量 T4 椎体上缘至 T12 椎体下缘的 Cobb 角。当胸椎为后凸时记为正值。腰椎前凸(lumbar lordosis, LL):测量 L1 椎体上缘至骶骨平台的 Cobb 角。当腰椎为前凸时记为正值,后凸时记为负值。骨盆投射角(pelvic incidence, PI):取双侧股骨头中心连线的中点,该点与骶骨平台中

点的连线和骶骨平台垂线所成的角即为 PI。骶骨倾斜角(sacral slope, SS):为骶骨平台与水平线所成的角度。骨盆倾斜角(pelvic tilt, PT):取双侧股骨头中心连线的中点,该点与骶骨平台中点的连线和铅垂线所成的角即为 PT。由简单的几何图形可知, $PI=SS+PT^{[9]}$ 。骨盆腰椎前凸角(pelvic radius-T12, PR-T12):取双侧股骨头中心连线的中点,该点与骶骨后上角的连线称为骨盆半径(pelvic radius, PR)。骨盆半径与 T12 椎体下缘所成的角称为 PR-T12,反映骨盆腰椎的前凸^[10](图 1)。T1 骨盆角(T1 pelvic angle, TPA):T1 椎体中点至双侧股骨头中点的连线与骶骨平台中点至双侧股骨头中点的连线所成的角,能够体现躯干的前倾及骨盆后倾的程度^[11](图 2)。

(3)矢状位平衡的定义。矢状垂直轴(sagittal vertical axis, SVA)为经 C7 椎体中点的铅垂线至骶骨后上角的距离。当 C7 铅垂线位于骶骨后上角前方记为正值,位于骶骨后上角后方记为负值。Schwab 认为理想的矢状位平衡 $SVA<5\text{cm}^{[7]}$ 。Mac-Thiong 等^[12]认为,正常情况下骨盆代偿 SS 应>PT,即 $SS>50\%PI$ 。本研究中满足以上两种标准定义为矢状位平衡。

1.4 数据采集与分析

采用 Auto CAD 2012 软件测量脊柱全长位片的角度和距离数据。使用 SPSS 22.0 进行数据分析。对于符合正态分布的连续变量相应采用配对样本 *t* 检验或独立样本 *t* 检验,不符合正态分布的连续变量采用非参数检验。两个连续变量之间的相关性采用 Pearson 相关因素分析。 $P<0.05$ 定义为差异显著。

2 结果

共纳入满足条件的病例 42 例,其中男性 12

例,女性 30 例。患者一般信息见表 1。20 例患者下端融合至 S1,其余 22 例固定至 L5。按照下端椎位于 L5 和 S1 进行分组比较,融合至 S1 组的手术时间和术中出血较 L5 组增多,术后 PI-LL、PRT-12、TPA、SVA 等影像学参数以及 VAS 和 ODI 评分两组间无明显差异(表 2)。融合节段 31 例上方固定椎位于 L1~L2 水平,其余 11 例上方固定椎位于 T10~T12 水平。按照上端椎位于 L1~L2 和 T10~T12 进行分组比较,融合至 T10~T12 组的手术时间较 L1~L2 组长,术后 PI-LL、PRT-12、TPA、SVA 等影像学参数以及 VAS 和 ODI 评分两组间无明显差异(表 3)。术前冠状位侧凸 Cobb 角为 $19.5^\circ\pm 5.4^\circ$,末次随访时改善为 $6.1^\circ\pm 3.5^\circ$,差异显著($P<0.01$)。矢状位参数 PI 测量值最小为 25.3° ,最大为 66.9° ,术前术后两次测量无统计学差异,平均值为 43.3° 。末次随访腰椎前凸和胸椎后凸增大,PI-LL 和 SVA 减小,矢状位平衡状态得到一定程度改善(图 3)。患者 VAS 评分及 ODI 评分末次随访时均得到明显改善(表 4)。术前矢状位平衡组患者 10 例,矢状位失衡组患者 32 例,71.1%的退变性侧凸患者合并矢状位失衡。两组间进行比较,一般信息无显著差异(表 1),末次随访时冠状位侧凸值无显著差异($P=0.812$)。失衡组术前 PT 值及 SVA 值明显大于平衡组。失衡组术前 PI-LL 平均为 27.1° ,平衡组平均为 8.1° ,末次随访两组均有明显改善。两组术前的 VAS 和 ODI 评分无显著差异,末次随访均得到明显改善(表 5)。Pearson 相关性分析显示术后 PI-LL 与术后 PR-T12、术后 TPA、术后 SVA 等影像学参数显著相关,并与 VAS 及 ODI 评分关系密切(表 6)。根据末次随访时 PI-LL 值情况,将患者分为三个组:A 组, $PI-LL\leq 10^\circ$;B 组, $10^\circ<PI-LL\leq 15^\circ$;C 组, $PI-LL>15^\circ$ 。三组的 PI-LL 均值分别为: $3.8^\circ\pm$

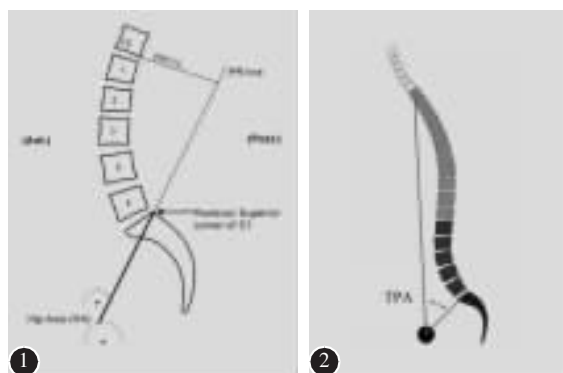


图 1 骨盆腰椎前凸角(PR-T12)示意图^[10]:为骨盆半径与 T12 椎体下缘所成的角 图 2 T1 骨盆角(TPA)示意图^[11]:为髋轴中点至 T1 椎体中心和髋轴中点至骶骨平台中点所成的角

Figure 1 PR-T12: the angle between pelvic radius and inferior endplate of T12 Figure 2 TPA: the angle between the line from hip axis to centre of T1 and the line from hip axis to middle of S1 endplate

4.2°、12.5°±1.9°和 23.4°±8.3°。三组间的一般信息无明显差异,末次随访时 VAS 评分及 ODI 评分 A 组与 B 组间无显著差异($P=0.084/0.205$),VAS 评

表 1 患者一般信息测量结果

Table 1 The measurement results in patients with general information			
	平衡组 Balance group	失衡组 Unbalance group	合计 Total
年龄 Age	66.3±7.9	69.6±7.1	68.8±7.3
性别(男/女) Gender(M/F)	4/6	8/24	12/30
身高(cm) Height	162.4±8.1	161.7±8.0	161.8±7.9
体重(kg) Weight	63.3±10.1	69.0±12.1	67.6±11.8
体重指数(kg/m²) Body mass index	23.9±2.8	26.3±3.7	25.8±3.6
随访时间(月) Follow up(month)	47.1±5.1	45.8±4.7	46.1±4.8
固定节段 Fusion segments	5.2±1.5	5.3±1.2	5.3±1.3
手术时间(min) Operation time	241.5±100.8	224.7±47.0	228.7±62.8
出血量(ml) Blood loss	650.0±521.2	582.8±309.7	598.8±364.7

表 2 下端椎融合至 L5 组和融合至 S1 组一般资料及术后影像学参数的比较

Table 2 Comparison of post-operative data between fusion caudally to L5 group and fusion caudally to S1 group		
	L5 组 L5 group	S1 组 S1 group
年龄 Age	68.0±8.7	69.8±5.5
体重指数(kg/m²) Body mass index	25.4±3.7	26.2±3.5
手术时长(min) Time of surgery	209.3±46.1	250.0±72.5 ^①
术中出血(min) Blood of surgery	463.6±189.1	747.5±450.6 ^①
侧凸(°) Scoliosis	6.9±3.6	7.4±3.6
骨盆腰椎匹配值(°) PI-LL	12.1±11.6	9.8±7.3
骨盆腰椎前凸角(°) Pelvic radius -T12	73.3±7.7	75.6±6.4
T1 骨盆角(°) T1 pelvic angle	19.7±9.3	16.5±4.9
矢状垂直轴(cm) Sagittal vertical axis	6.5±4.7	4.8±2.3
VAS 评分 VAS score	2.7±2.4	1.8±1.4
ODI 评分 ODI score	30.3±19.2	23.5±7.7

注:①与 L5 组比较 $P<0.05$
Note: ①Compared with L5 group, $P<0.05$

分 A 组与 C 组差异显著($P<0.01$);ODI 评分 A、B 组均与 C 组差异显著($P=0.010/0.048$,表 7)。

术后有 2 例患者下肢肌力降低至 4 级,其中 1 例患者术后 3d 调整取出 1 颗椎弓根螺钉,1 例患者予脱水及营养神经等治疗后肌力逐渐恢复。2 例患者术中出现脑脊液漏,其中 1 例患者术后 18d 伤口愈合不良行清创缝合术。术后 3 例患者出现近端交界性失效(proximal junctional failure, PJF),时间均在术后 1 年以内,平均 7 个月,术后 PI-LL 值平均为 26.3°。1 例是严重的矢状位失平衡,近端交界性后凸角>30°,SVA>20cm,另 2 例是近端固定椎上方椎体的压缩性骨折。3 例患者 Hart-ISSG 近端交界性后凸严重程度评分^[13]均大于 7 分,行翻修手术治疗。8 例患者复查 X 线可见端椎螺钉周围透亮带,其中 1 例患者因内固定物松动行内固定物取出术。

3 讨论

近年来脊柱骨盆连接在维持矢状位平衡中的重要性已经得到广泛的认可,在成人退变性脊柱

表 3 上端椎融合至 L1-2 组和融合至 T10-12 组的比较

Table 3 Comparison of post-operative data between fusion up to L1-2 group and fusion up to T10-12 group		
	L1-2 组 L1-2 group	T10-12 组 T10-12 group
年龄 Age	68.6±8.1	69.4±4.5
BMI(kg/m²) Body mass index	26.0±3.5	25.2±4.1
手术时长(min) Time of surgery	211.3±47.5	277.7±76.4 ^①
术中出血(min) Blood of surgery	551.6±349.2	731.8±391.3
侧凸(°) Scoliosis	7.3±3.4	6.7±3.9
骨盆腰椎匹配值(°) PI-LL	11.5±11.0	9.6±4.4
骨盆腰椎前凸角(°) Pelvic radius -T12	73.9±7.4	75.8±6.0
T1 骨盆角(°) T1 pelvic angle	18.8±8.4	16.4±4.9
矢状垂直轴(cm) Sagittal vertical axis	5.8±4.2	5.4±2.4
VAS 评分 VAS score	2.3±1.7	2.4±2.8
ODI 评分 ODI score	26.0±12.4	30.1±21.5

注:①与 L1-2 组比较 $P<0.05$
Note: ①Compared with L1-2 group, $P<0.05$

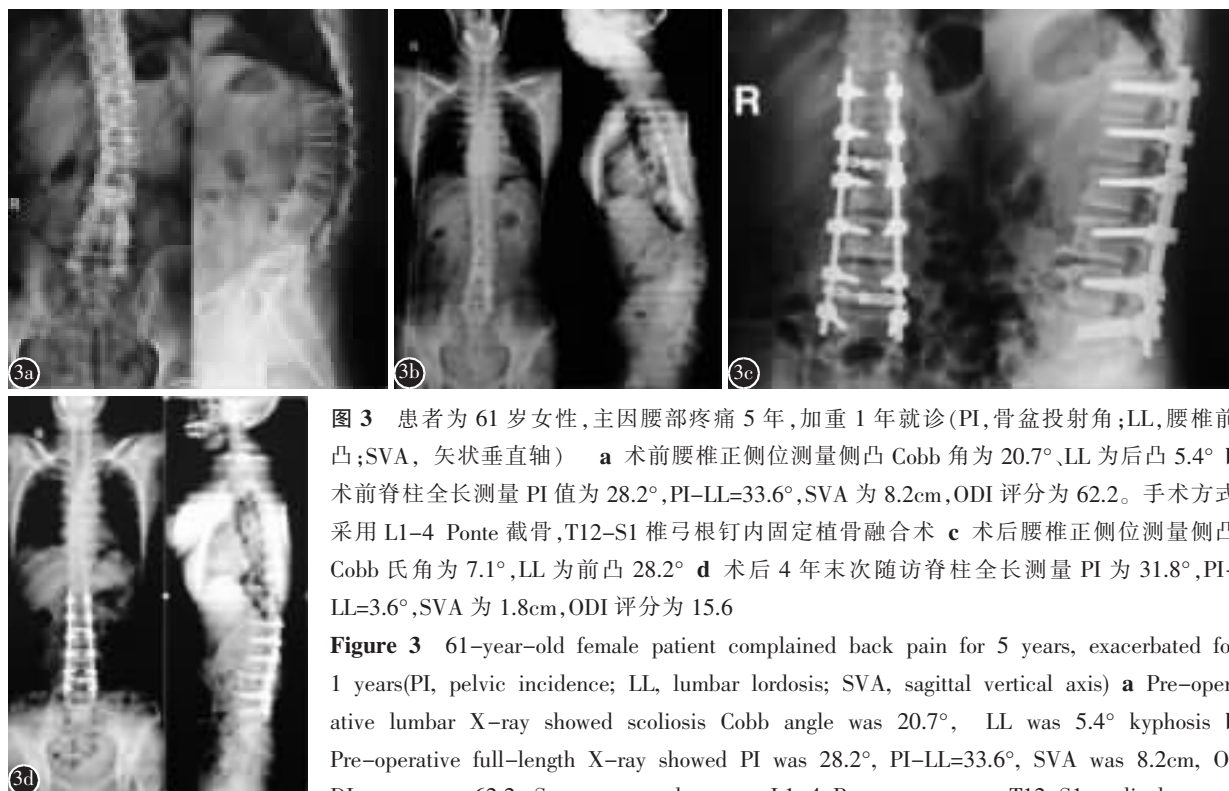


图 3 患者为 61 岁女性,主因腰部疼痛 5 年,加重 1 年就诊(PI,骨盆投射角;LL,腰椎前凸;SVA,矢状垂直轴) **a** 术前腰椎正侧位测量侧凸 Cobb 角为 20.7°、LL 为后凸 5.4° **b** 术前脊柱全长测量 PI 值为 28.2°,PI-LL=33.6°,SVA 为 8.2cm,ODI 评分为 62.2。手术方式采用 L1-4 Ponte 截骨,T12-S1 椎弓根钉内固定植骨融合术 **c** 术后腰椎正侧位测量侧凸 Cobb 氏角为 7.1°,LL 为前凸 28.2° **d** 术后 4 年末次随访脊柱全长测量 PI 为 31.8°,PI-LL=3.6°,SVA 为 1.8cm,ODI 评分为 15.6

Figure 3 61-year-old female patient complained back pain for 5 years, exacerbated for 1 years(PI, pelvic incidence; LL, lumbar lordosis; SVA, sagittal vertical axis) **a** Pre-operative lumbar X-ray showed scoliosis Cobb angle was 20.7°, LL was 5.4° kyphosis **b** Pre-operative full-length X-ray showed PI was 28.2°, PI-LL=33.6°, SVA was 8.2cm, ODI score was 62.2. Surgery procedure was L1-4 Ponte osteotomy, T12-S1 pedical screws

fixation and bone graft fusion **c** Post-operative lumbar X-ray showed scoliosis Cobb angle was 7.1°, LL was 28.2° lordosis **d** At 4 years follow-up, full-length X-ray showed PI was 31.8°, PI-LL=3.6°, SVA was 1.8cm, ODI score was 15.6

表 4 患者术前及术后的影像学参数和功能评分的比较

Table 4 Comparison of radiological parameters and function scores between pre- and post-operation

	术前 Pre-operation	术后 Post-operation
骨盆投射角(°) Pelvic incidence	43.2±9.7	43.4±9.4
骶骨倾斜角(°) Sacral slope	20.3±8.3	24.5±6.9 ^①
骨盆倾斜角(°) Pelvic tilt	22.7±10.0	18.9±8.4 ^①
腰椎前凸(°) Lumbar lordosis	20.7±12.0	34.3±9.1 ^①
胸椎后凸(°) Thoracic kyphosis	22.7±6.8	27.1±8.8 ^①
骨盆腰椎匹配值(°) PI-LL	22.6±12.5	9.0±9.7 ^①
骨盆腰椎前凸角(°) Pelvic radius -T12	67.4±11	74.4±7.1 ^①
胸 1 骨盆角(°) T1 pelvic angle	24.8±10.4	17.2±7.6 ^①
矢状垂直轴(cm) Sagittal vertical axis	7.6±4.5	5.7±3.8 ^①
VAS评分 VAS score	6.2±1.2	2.3±2.0 ^①
ODI评分 ODI score	52.0±9.6	27.1±15.1 ^①

注:①与术前比较 $P<0.05$

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

畸形的诊治过程中,矢状位的平衡情况与患者的健康状态有着密切的关系。当退变因素造成腰椎前凸减小,为了避免躯干前倾,机体需要启动多种代偿机制去维持直立及平视状态,包括骨盆后倾、胸椎后凸减小、髋关节过伸、下肢屈曲等^[13],其中骨盆代偿起到关键的作用。PI 值是一个重要的骨盆参数,对于成年个体来说相对稳定,但是不同个体间差异较大,文献报道对于高加索人群介于 30°~85°之间。正常情况腰椎前凸的 65%都是由下腰椎构成^[14],而 SS 值与下腰椎的弧度相等。PT 值反应骨盆的后倾程度,随着骨盆后倾的加重,PT 值逐渐增大,SS 相应减小。Roussouly 等^[15]根据 PI 值将正常的脊柱生理曲线分为 IV 型,低 PI 组相应胸椎后凸和腰椎前凸曲度较小,骶骨较垂直,而高 PI 组相应胸椎后凸和腰椎前凸曲度较大,骶骨较水平。Zhu 等^[16]报道国人 PI 值明显较白种人小,均值 44.6°,本研究 PI 均值为 43.3°,与之相近。

PI-LL 反应骨盆腰椎前凸匹配情况,文献报道与健康相关生活质量评分显著相关^[8]。本研究对象为高龄老年人,术后 PI-LL 值与术后中期随访的 VAS 和 ODI 评分呈明显正相关,提示术后恢

表 5 矢状位平衡组和矢状位失衡组影像学参数和功能评分的比较

Table 5 Comparison of radiological parameters and function scores between sagittalbalance and sagittalunbalance group

	矢状位平衡组 Sagittal balance group		矢状位失衡组 Sagittal unbalance group	
	术前 Pre-operative	术后 Post-operative	术前 Pre-operative	术后 Post-operative
骨盆倾斜角(Pelvic tilt)(°)	14.2±7.6	13.9±5.1	25.4±9.2 ^①	20.4±8.7 ^①
胸椎后凸(Thoracic kyphosis)(°)	24.0±7.1	28.9±10.3	22.2±6.7	26.5±8.3
骨盆腰椎匹配值(PI-LL)(°)	8.1±8.4	1.0±5.9	27.1±9.9 ^①	11.8±9.0 ^①
矢状垂直轴(Sagittal vertical axis)(cm)	2.6±1.3	3.9±1.6	9.1±3.9 ^①	6.2±4.1
VAS评分(VAS score)	6.2±1.2	1.5±1.3	6.3±1.3	2.5±2.2
ODI评分(ODI score)	50.7±10.6	20.4±10.1	52.4±9.4	29.1±15.9

注:①与同时时间点矢状位平衡组比较 $P<0.05$
Note: ①Compared with sagittal balance group at the same time, $P<0.05$

表 6 术后 PI-LL 与其他影像学参数和功能评分的 Pearson 相关分析

Table 6 Pearson correlation between radiological parameters and function scores post-operatively

	年龄 Age	骨盆腰椎 匹配值 PI-LL	腰椎骨盆前凸角 Pelvic radius-T12	胸 1 骨盆角 T1 pelvic angle	矢状垂直轴 Sagittal vertical axis	VAS评分 VAS score	ODI评分 ODI score
年龄 Age	1	0.055	-0.099	0.092	-0.007	0.276	0.432 ^①
骨盆腰椎匹配值 PI-LL		1	-0.736 ^②	0.773 ^②	0.710 ^②	0.446 ^②	0.397 ^②
腰椎骨盆前凸角 Pelvic radius-T12			1	-0.797 ^②	-0.725 ^②	-0.452 ^②	-0.361 ^①
胸 1 骨盆角 T1 pelvic angle				1	0.875 ^②	0.676 ^②	0.614 ^②
矢状垂直轴 Sagittal vertical axis					1	0.713 ^②	0.628 ^②
VAS评分 VAS score						1	0.868 ^②
ODI评分 ODI score							1

注:①表示 $P<0.05$, ②表示 $P<0.01$
Note: ①means $P<0.05$, ②means $P<0.01$

复相应的骨盆-腰椎平衡对手术疗效有显著影响。相比矢状位平衡组,术前失衡组患者术后恢复的腰椎曲线度数较低。这是由于失衡组在手术中

表 7 不同 PI-LL 匹配组术后 VAS 评分及 ODI 评分的比较

Table 7 Comparison of post-operativeVAS and ODI scores between different PI-LL groups

	VAS评分 VAS score	ODI评分 ODI score
A组(PI-LL≤10°) Group A(n=21)	1.9±1.4	23.6±10.6
B组(10°<PI-LL≤15°) Group B(n=10)	2.3±2.5	27.9±20.6
C组(PI-LL>15°) Group C(n=11)	3.1±1.9 ^①	33.0±14.1 ^{①②}

注:①与 A 组比较 $P<0.05$; ②与 B 组比较 $P<0.05$
Note: ①Compared with group A, $P<0.05$; ②Compared with group B, $P<0.05$

需要纠正的腰椎前凸曲度明显大于平衡组,而老年患者多合并骨质疏松及内科合并症,为了减少手术时间、术中出血,手术方案通常不会采用过激的截骨方式,在预弯连接杆的时候为了避免拔钉而酌情减少前凸,增加了矢状位曲线恢复的难度。最近的研究显示,对于成人脊柱畸形手术,有 42% 的患者术后存在矢状位正平衡^[17]。老年退变性侧凸患者合并矢状位失衡的比例高,因此在术前计划时应充分考虑矢状位平衡状态,使用公式 PI-LL 可简单方便地估算手术所需要的腰椎矫形度数。Berjano 等^[18]认为理想的 LL=PI+10°,10°以内的矫正不足也能获得良好的矢状位平衡。由于个体的 PI 值差异较大,Schwab 提出对于 PI 值较小的患者,需要 LL 值超过 PI 值(LL=PI+10°),而对于 PI 值较大的患者,LL 值可略小于 PI 值(LL=

PI-10°)^[23]。SRS-Schwab 成人脊柱畸形分型中将 PI-LL 作为矢状位修正参数, 0: <10°, +: 10-20°, ++: >20°^[19]。本研究中虽然失衡组术后 PI-LL 均值为 11.8°, 显著小于平衡组的 1.0°, 但两组间的 VAS 评分及 ODI 评分无统计学差异。我们进一步根据骨盆腰椎匹配情况, 将术后 PI-LL 分为 ≤10°、10° < PI-LL ≤ 15° 和 >15° 三组, 结果显示 PI-LL ≤ 15° 的两组间功能评分无显著差异, 而当 PI-LL > 15° 时, ODI 评分明显升高。VAS 评分 PI-LL ≤ 10° 和 PI-LL > 15° 组差异显著, 而 10° < PI-LL ≤ 15° 和 PI-LL > 15° 两组间无显著差异, 这可能是由于 10° < PI-LL ≤ 15° 和 PI-LL > 15° 两组的样本量较小造成。由于国人的 PI 值较高加索人偏小, 故将国外文章所报导的 LL=PI±10° 用于国人并非合适。根据我们的经验, 对于老年患者不应强调过度矫形, 这样反而会延长固定节段, 增加并发症的发生率。术后获得的 PI-LL < 15°, 患者的 ODI 评分明显降低, 可获得较满意的临床疗效。

当术后腰椎前凸得到改善后, 胸椎后凸减小的代偿机制减弱, 胸椎后凸往往呈现增加的趋势。本研究术后胸椎后凸较术前平均增长 4.4°。Yang 等^[21]报道对于老年人群 LL-TK > 0° 提示局部矢状位平衡良好。Mendoza-Lattes 等报道 LL-TK 较小是近端交界性后凸 (proximal junctional kyphosis, PJK) 的危险因素^[22]。本研究中术后 TK 均值小于 LL, 提示胸腰椎曲线局部平衡良好。术后胸椎后凸的增加会对矢状位平衡造成负面影响, 可通过胸椎过伸过屈位帮助判断胸椎的活动度估测术后胸椎后凸的改变量。考虑到胸椎后凸的因素, 胸椎后凸大的患者需要更高的 LL 来代偿, Diebo 等指出综合起来可概括成公式 $LL = (PI + TK) / 2 + 10^\circ$ ^[23]。因此当术后胸椎后凸增长较多时应注意密切随访观察患者矢状位失衡的发展情况。

SVA 是广泛使用的判断矢状位整体平衡的影像学参数, 以往文献报道 SVA > 5cm 时患者的功能评分较低^[7]。本研究病例术后末次随访时平均 SVA 为 5.7cm, 术后 SVA 的增加与胸椎后凸的增加有关, 另外因为患者高龄, 术后腰背肌肉力量较弱可能也是导致 SVA 增加的因素。本研究中术前矢状位平衡组和失衡组术后末次随访的 SVA 值分别为 3.9cm 和 6.2cm, 虽然失衡组术后 SVA > 5cm, 但两组间的临床疗效无显著差异, 提示老年患者对于轻度矢状位正平衡有较好的耐受能力。

根据我们的经验, 老年人术后轻度的矢状位正平衡也能取得较满意的手术疗效。此外 SVA 仍有一定的局限性, 仅能体现整体情况而不能反应局部平衡, 许多患者通过胸椎后凸减小、骨盆后倾代偿也能维持 SVA < 5cm, 但临床症状较重。因此评估术后矢状位平衡状态时不应单独采用 SVA 一项指标, 应结合 PI-LL 值及其他参数综合判断。

PR-T12 和 TPA 是反映脊柱骨盆连接的矢状位参数。PR-T12 综合体现腰椎前凸和骨盆旋转, 文献报道正常情况下 > 70°^[24], 而 TPA 综合体现躯干前倾和骨盆旋转, 正常情况 < 20°^[11]。PR-T12 和 TPA 与 PI-LL、SVA、ODI 评分有相关性, 术后均值恢复至正常范围, 临床上也可辅助判断脊柱-骨盆矢状位平衡状态。PI-LL 通过腰椎正侧位片即可方便地测量, 并能直接估算腰椎前凸所需矫形的度数, 对于手术方案的制定有指导意义, 临床使用较 PR-T12 和 TPA 简便。目前关于 PR-T12 和 TPA 的临床运用报道相对较少, 尚需要进一步的研究证实其临床意义。

退变性脊柱侧凸的保守治疗虽然能缓解患者的症状, 但无法改变退变的进程, 对防止曲线进展收效甚微^[25]。对于合适的患者手术治疗可以明显改善症状, 提高生活质量, 然而文献报道退变性腰椎侧凸长节段融合术的手术并发症高达 18%~58.3%^[26]。本研究中 3 例出现 PJF 的患者术后末次随访 PI-LL 均 > 15°。而 PI-LL ≤ 15° 的患者中暂未发现 PJF 现象。提示 PI-LL 不匹配可能是 PJK 和 PJF 的危险因素。

由于患者术前并未常规行骨密度 (bone mineral density, BMD) 检查, 因此未将 BMD 纳入分析。此外本文是回顾性研究, 样本量较小, 未分析内科合并症的情况, 术后未动态观察矢状位各参数的变化, 随访未包括 SRS-22、SF-36 等评分系统也均是本文的不足之处。

综上所述, 退变性脊柱侧凸患者的手术治疗要重视对矢状位的充分评估, 术后 PI-LL 值与老年患者的功能评分显著相关。术后 PI-LL < 15° 提示骨盆腰椎前凸匹配良好, 对于老年患者, 即使术后存在轻度的矢状位正平衡也能获得较好的手术疗效, 因此可根据 PI-LL 计算术中需重建的腰椎前凸值, 设计合理的矫形手术方案。

4 参考文献

1. Silva FE, Lenke LG. Adult degenerative scoliosis: evaluation and management[J]. *Neurosurg Focus*, 2010, 28(3): E1.
2. Pellise F, Vila-Casademunt A, Ferrer M, et al. Impact on health related quality of life of adult spinal deformity (ASD) compared with other chronic conditions[J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(1): 3–11.
3. Xu L, Sun X, Huang S, et al. Degenerative lumbar scoliosis in Chinese Han population: prevalence and relationship to age, gender, bone mineral density, and body mass index[J]. *Eur Spine*, 2013, 22(6): 1326–1331.
4. Glassman SD, Berven S, Bridwell K, et al. Correlation of radiographic parameters and clinical symptoms in adult scoliosis[J]. *Spine*, 2005, 30(30): 682–688.
5. Roussouly P, Pinheiro-Franco JL. Biomechanical analysis of the spino-pelvic organization and adaptation in pathology[J]. *Eur Spine*, 2011, 20(Suppl 5): S609–S618.
6. Vialle R, Levassor N, Rillardon L, et al. Radiographic analysis of the sagittal alignment and balance of the spine in asymptomatic subjects[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2005, 87(2): 260–267.
7. Schwab F, Patel A, Ungar B, et al. Adult spinal deformity-postoperative standing imbalance: how much can you tolerate? An overview of key parameters in assessing alignment and planning corrective surgery[J]. *Spine*, 2010, 35(25): 2224–2231.
8. Schwab FJ, Blondel B, Bess S, et al. Radiographical spinopelvic parameters and disability in the setting of adult spinal deformity: a prospective multicenter analysis[J]. *Spine*, 2013, 38(13): E803–812.
9. Legaye J, Duval-Beaupère G, Hecquet J, et al. Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves[J]. *Eur Spine*, 1998, 7(2): 99–103.
10. Jackson RP, Kanemura T, Kawakami N, et al. Lumbopelvic lordosis and pelvic balance on repeated standing lateral radiographs of adult volunteers and untreated patients with constant low back pain[J]. *Spine*, 2000, 25(5): 575–586.
11. Ryan DJ, Protosaltis TS, Ames CP, et al. T1 pelvic angle (TPA) effectively evaluates sagittal deformity and assesses radiographical surgical outcomes longitudinally[J]. *Spine*, 2014, 39(15): 1203–1210.
12. Mac-Thiong JM, Roussouly P, Berthonnaud E, et al. Age- and sex-related sacropelvic morphology and balance in asymptomatic adults[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(Suppl 5): S572–577.
13. Barrey C, Roussouly P, Perrin G, et al. Sagittal balance disorders in severe degenerative spine: can we identify the compensatory mechanisms[J]? *Eur Spine J*, 2011, 20(Suppl 5): 626–633.
14. Been E, Barash A, Marom A, et al. Vertebral bodies or discs: which contributes more to human-like lumbar lordosis [J]? *Clin Orthop Relat Res*, 2010, 468: 1822–1829.
15. 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*, 2005, 30(13): 346–353.
16. Zhu Z, Xu L, Zhu F, et al. Sagittal alignment of spine and pelvis in asymptomatic adults: norms in Chinese populations [J]. *Spine*, 2014, 39(1): E1–6.
17. 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*, 2013, 38(7): E394–E401.
18. Berjano P, Langella F, Ismael MF, et al. Successful correction of sagittal imbalance can be calculated on the basis of incidence and age[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(Suppl 6): 587–596.
19. Smith JS, Klineberg E, Schwab FJ, et al. Change in classification grade by the SRSSchwab adult spinal deformity classification predicts impact on health-related quality of life measures: prospective analysis of operative and non-operative treatment[J]. *Spine*, 2013, 38(19): 1663–1671.
20. Diebo BG, Henry J, Lafage V, et al. Sagittal deformities of the spine: factors influencing the outcomes and complications [J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(Suppl 1): S3–15.
21. Yang C, Yang M, Wei X, et al. Lumbar lordosis minus thoracic kyphosis: a novel regional predictor for sagittal balance in elderly populations [J]. *Spine*, 2016, 41(5): 399–403.
22. Mendoza-Lattes S, Ries Z, Gao Y, et al. Proximal junctional kyphosis in adult reconstructive spine surgery results from incomplete restoration of the lumbar lordosis relative to the magnitude of the thoracic kyphosis[J]. *Iowa Orthop J*, 2011, 31: 199–206.
23. Wang G, Hu J, Liu X, et al. Surgical treatments for degenerative lumbar scoliosis: a meta analysis [J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(8): 1792–1799.
24. Lau D, Funao H, Clark AJ, et al. The clinical correlation of the Hart-SSG proximal junctional kyphosis severity scale with health-related quality-of-life outcomes and need for revision surgery[J]. *Spine*, 2016, 41(3): 213–223.

(收稿日期:2016-05-04 修回日期:2016-07-24)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 彭向峰)