

后路 L4/5 融合术后邻椎病发生的危险因素

龚兆阳,王洪立,马晓生

(复旦大学附属华山医院骨科 200040 上海市)

【摘要】目的:探讨后路 L4/5 融合术后邻椎病(adjacent segment disease, ASD)发生的危险因素。方法:回顾性分析 2012 年 9 月~2021 年 9 月因后路 L4/5 融合术后 ASD 于我院接受翻修手术的 26 例患者,纳入 ASD 组;采用 1:2 匹配的方法,从同期接受腰椎后路融合手术且末次随访时未发生 ASD 的患者中,按性别、手术时年龄、手术节段、随访时间匹配 52 例患者作为对照组。收集两组患者术前、术后 3d、末次随访时的影像学资料,在腰椎侧位 X 线片上测量:腰椎前凸角(lumbar lordosis, LL)、节段性前凸(segmental lordosis, SL)、骶骨倾斜角(sacral slope, SS)和 L3/4、L4/5、L5/S1 的椎间隙相对高度;在初次术前 MRI 上,采用 Pfirrmann 分级对融合节段邻近节段椎间盘退变情况进行评估。将两组患者术前基线资料,术前、术后 3d、末次随访时的腰椎影像学资料(包括腰椎矢状位参数和初次术后腰椎矢状位参数矫正值)进行比较,将有差异的参数进行多因素 Logistic 回归分析,通过受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线确定独立危险因素对 ASD 的最佳预测阈值。结果:ASD 组与对照组在术前第一诊断、术前邻近节段椎间盘的 Pfirrmann 分级、合并症情况均无统计学差异($P>0.05$)。ASD 组患者初次接受手术后 5.4 ± 2.3 年行二次手术,二次手术融合节段 L3/4 16 例, L5/S1 10 例。两组术前 SL、SS 以及 L4/5、L3/4 和 L5/S1 椎间隙相对高度均无显著性差异($P>0.05$), ASD 组患者初次术前 LL 显著性小于对照组($P=0.031$)。初次融合术后 3d, ASD 组 SL 和 LL 显著性小于对照组($P<0.05$)。末次随访时, ASD 组 SL 和 LL 均显著小于对照组($P<0.001$); ASD 组的 L3/4 椎间隙相对高度明显小于对照组($P=0.002$)。两组初次手术各参数的矫正值相比, ASD 组的 SL 相对差值(relative Δ SL, $r\Delta$ SL)显著性小于对照组($P<0.001$), 两组间 LL 相对差值(relative Δ LL, $r\Delta$ LL)、L4/5 椎间隙高度相对差值(relative Δ disc height, $r\Delta$ DH)、L3/4 $r\Delta$ DH、L5/S1 $r\Delta$ DH 均无显著性差异($P>0.05$)。以 ASD 为因变量的多元回归分析结果显示较小的初次 $r\Delta$ SL 是发生 ASD 的独立危险因素(OR=0.031, 95%置信区间 0.005~0.209), 其曲线下面积(area under curve, AUC)为 0.731(95%置信区间 0.615~0.848), 最佳预测阈值为-10.5%。结论:后路 L4/5 融合术中局部曲度纠正不足可能会导致远期邻近节段高度的丢失,是融合术后发生 ASD 的独立危险因素。

【关键词】腰椎融合术;邻椎病;节段性前凸;椎间隙相对高度

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2023.04.08

中图分类号:R687.3, R619 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2023)-04-0337-07

Risk factors of adjacent segment disease after posterior L4/5 fusion/GONG Zhaoyang, WANG Hongli, MA Xiaosheng/Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2023, 33(4): 337-343

【Abstract】Objectives: To explore the risk factors of adjacent segment disease(ASD) after posterior L4/5 fusion. Methods: A total of 26 patients who underwent revision surgery for ASD after posterior L4/5 fusion in our hospital between September 2012 and September 2021 were retrospectively analyzed and included in the ASD group. Another 52 patients were matched in 1:2 as the control group by gender, age at surgery, surgical segment, and follow-up time from those patients who underwent posterior lumbar fusion during the same period and without ASD at the final follow-up. The imaging data before operation, at postoperative 3d and final follow-up were collected of both groups of patients, and parameters were measured on lateral lumbar X-ray films such as lumbar lordosis(LL), segmental lordosis(SL), sacral slope(SS), and the relative height of the intervertebral space at L3/4, L4/5, and L5/S1. Disc degeneration in the adjacent segments of the fused one was assessed using the Pfirrmann classification on the first preoperative MRI images. Preoperative baseline data,

第一作者简介:男(1996-),医学硕士研究生在读,研究方向:脊柱退行性疾病相关研究

电话:(021)52887136 E-mail:20211220125@fudan.edu.cn

通讯作者:马晓生 E-mail:mxs893@sina.com;王洪立 E-mail:wanghongli0212@163.com

lumbar sagittal alignment parameters at preoperation, postoperative 3d and final follow-up, and relative correction values of initial postoperative/preoperative lumbar sagittal parameters were compared between the two groups, and parameters with significant difference were incorporated in multivariate logistic regression analysis. The optimal predictive thresholds for ASD of the independent risk factors were determined by receiver operating characteristic(ROC) curves. **Results:** There was no significant difference between the ASD group and the control group in the first preoperative diagnosis, preoperative Pfirrmann grading of adjacent segmental discs, or comorbidities($P>0.05$). The patients in the ASD group received a second surgery 5.4 ± 2.3 years after the initial operation, and the fusion segments of the second surgery were L3/4 in 16 patients and L5/S1 in 10 patients. The preoperative SL, SS, and relative height of L3/4, L4/5 and L5/S1 intervertebral space between the two groups were of no significant difference, respectively($P>0.05$). The patients in the ASD group had significantly smaller preoperative LL than those in the control group ($P=0.031$). After the initial fusion, both SL and LL were significantly smaller in the ASD group than those in the control group ($P<0.05$). At the final follow-up, both SL and LL were significantly smaller in the ASD group than those in the control group ($P<0.001$); also, the relative height of L3/4 intervertebral space was significantly smaller in the ASD group ($P=0.002$). When comparing the relative correction values of the parameters of the initial surgery between the two groups, the relative difference in SL($r\Delta SL$) was significantly smaller in the ASD group than in the control group($P<0.001$), while the relative difference in LL($r\Delta LL$), L4/5 relative difference in disc height($r\Delta DH$), L3/4 $r\Delta DH$, and L5/S1 $r\Delta DH$ were not significantly different between the two groups($P>0.05$). In the multiple regression analysis of the occurrence of ASD, a smaller initial postoperative/preoperative $r\Delta SL$ was an independent risk factor($OR=0.031$, 95%CI 0.005–0.209). The ROC curve suggested an area under curve(AUC) of 0.731 (95%CI 0.615–0.848) for $r\Delta SL$. The best predictor of the occurrence of ASD for $r\Delta SL$ threshold was -10.5% . **Conclusions:** Inadequate local curvature correction during posterior L4/5 fusion may lead to long-term loss of adjacent segment height, which is an independent risk factor for the development of ASD after fusion.

【Key words】 Lumbar fusion surgery; Adjacent segment disease; Segmental lordosis; Relative height of intervertebral space

【Author's address】 Department of Orthopedics, Huashan Hospital Affiliated to Fudan University, Shanghai, 200040, China

邻椎病(adjacent segment disease, ASD)指的是初次融合术后融合节段的邻近节段新发退行性影像学表现,伴有相应的临床症状,是腰椎融合术后常见的并发症,也是腰椎融合术后患者接受翻修手术的重要原因^[1]。腰椎融合术后 ASD 的危险因素一直受到学界的广泛关注,在患者术前自身因素、医源性因素等多方面进行了探索^[2,3]。对脊柱外科医生来说,相较于腰椎的总体矢状位排列,融合节段局部的形态更容易在术中把握,因此对融合部位节段性前凸(segmental lordosis, SL)与 ASD 发生的相关性探究具有现实意义。虽然已有生物力学研究证明了 SL 的改变对邻近节段的应力产生重要影响^[4,5],但目前的临床研究对于 SL 的矫正程度是否与 ASD 的发生相关尚存在争议。Kim 等^[6]研究认为初次融合术后 $SL>20^\circ$ 可有效预防 ASD 的发生;Okuda 等^[7]发现早发性 ASD 患者初次术后的 SL 显著小于术前。而 Chen 等^[8]和

Moreau 等^[9]的研究则未发现 ASD 患者与对照组的 SL 存在差异。本研究纳入接受后路 L4/5 融合手术且因 ASD 行翻修手术的患者,并匹配未发生 ASD 的患者作为对照,将两组患者初次术前、初次术后、初次术后/术前腰椎矢状位参数的相对矫正比例进行比较,从而探究 L4/5 融合术后 ASD 的危险因素,明确局部曲度矫正对腰椎矢状位排列可能产生的远期影响。

1 资料与方法

1.1 纳入与排除标准

本研究获得了医院伦理委员会的批准。回顾性分析 2012 年 9 月~2021 年 9 月因后路 L4/5 融合术后 ASD 于我院接受翻修手术的患者 32 例。ASD 组的纳入标准:(1)融合节段的邻近节段较初次手术之前出现以下新发的影像学表现之一,侧位片上椎体滑移 $\geq 4\text{mm}$ 、节段活动度 $>10^\circ$ 、椎间

盘高度丢失 $>10\%$ ^[10],MRI 提示邻近节段椎间盘的改良 Pfirrmann 分级^[11]为Ⅳ级/Ⅴ级,或有明显的相邻节段椎间盘突出/椎管狭窄;(2) 出现符合前述影像学表现的临床症状。ASD 的手术指征为严重影响生活质量的腰痛、神经根性症状,间歇性跛行,且经过 3 个月保守治疗无好转。排除标准:(1) 有其他腰椎手术史;(2) 缺乏完整清晰的术前、术后、末次随访的腰椎侧位 X 线片。最终纳入 26 例患者。

采用 1:2 匹配的方法,从 2012 年 9 月~2021 年 9 月于我科接受腰椎后路融合手术,且远期未发生 ASD 的患者中,按性别、手术时年龄、手术节段、随访时间匹配选取 52 例患者作为对照。对照组纳入标准:(1) 因腰椎退行性疾病于我院接受 L4/5 融合手术;(2) 未行腰椎二次手术。排除标准为:(1) 有其他腰椎手术史;(2) 缺乏完整清晰的术前、术后、末次随访的腰椎侧位 X 线片;(3) 术后随访时融合邻近节段出现上述明显的影像学退变表现;(4) 患者表现出较前次术后明显加重的临床症状。最终纳入 52 例患者。

1.2 影像学测量

由 2 名脊柱外科医师运用 Surgimap 软件在患者术前、术后 3d 和末次随访时的腰椎侧位 X 线平片上测量以下参数,测量结果取平均值。(1) 腰椎前凸角(lumbar lordosis,LL),L1 椎体上终板切线与 S1 上缘切线所形成的夹角;(2)SL 角:L4 上终板切线与 L5 下终板切线之间所形成的夹角;(3)骶骨倾斜角(sacral slope,SS),S1 上缘切线与水平线之间的夹角;(4)L3/4、L4/5、L5/S1 的椎间隙相对高度:通过比值表示,测量方法见图 1。将两组患者术前、术后 3d 和末次随访时的上述腰椎矢状位参数进行比较,评估初次术后/术前矫正程度时,结果以百分比表示。相对 LL 差值(relative Δ LL,r Δ LL)为(术后 LL-术前 LL)/术前 LL,r Δ SL 为(术后 SL-术前 SL)/术前 SL,r Δ DH 为(术后椎间隙相对高度-术前椎间隙相对高度)/术前椎间隙相对高度。

导出所有患者初次术前腰椎 MRI L3/4 和 L5/S1 椎间盘水平的横断面图像,由 2 名脊柱外科医师以 Pfirrmann 分级法^[11]评估椎间盘退变程度,遇有分歧,由 2 名脊柱外科医师协商后决定最终结果。

1.3 统计方法

使用 SPSS 20 统计软件(IBM)对数据进行统计分析。ASD 组与对照组之间的初次手术年龄、随访时间、各腰椎测量参数的比较,均采用独立样本 t 检验;两组之间性别、初次术前第一诊断、初次术前邻近节段椎间盘的退变程度、临床合并症情况的比较采用 χ^2 检验。将有差异的参数进行多元 Logistic 回归分析。通过受试者工作特征(receiver operating characteristic,ROC)曲线确定独立危险因素对 ASD 的最佳预测阈值。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。



图 1 腰椎前凸角、节段前凸角、椎间隙相对高度测量方法。椎间隙相对高度表示为 $(a+b)/2c$:a,上位椎体下终板前缘与下位椎体上终板前缘之间的距离;b,上位椎体下终板后缘与下位椎体上终板后缘之间的距离;c,上位椎体上、下终板前缘之间的距离

Figure 1 Measurement methods of lumbar lordosis angle, segmental angle, and relative intervertebral space height. The relative height of intervertebral space expressed as $(a+b)/2c$: a, the distance between the anterior edge of the inferior endplate of the superior vertebral body and the anterior edge of the superior endplate of the lower vertebral body; b, the distance between the posterior edge of the inferior endplate of the superior vertebral body and the posterior edge of the superior endplate of the lower vertebral body; c, the distance between the anterior edge of the superior and inferior endplates of the superior vertebral body

2 结果

2.1 一般资料

两组患者的人口学参数见表 1。ASD 组与对照组在术前第一诊断、术前邻近节段椎间盘的 Pfirrmann 分级、合并症情况均无显著差异 ($P>0.05$)。ASD 组患者初次手术后 5.4 ± 2.3 年至我科行二次手术, 其中第二次手术融合节段 L3/4 16 例, L5/S1 10 例。

2.2 腰椎矢状位参数

两组患者腰椎矢状位参数见表 2。ASD 组患者术前 LL 显著性小于对照组 ($P=0.031$)。两组术前的 SL、SS、L4/5 椎间隙相对高度、L3/4 椎间隙相对高度和 L5/S1 椎间隙相对高度均无显著性差异 ($P>0.05$)。初次融合术后, ASD 组的 SL 和 LL 均

显著小于对照组 ($P<0.05$)。末次随访时, ASD 组 SL 和 LL 显著性小于对照组 ($P<0.001$); ASD 组的 L3/4 椎间隙相对高度显著性小于对照组 ($P=0.002$)。

2.3 初次术后腰椎矢状位参数矫正值

两组患者初次术后腰椎矢状位参数矫正值见表 3。初次术后与术前参数比较时, ASD 组的 $r\Delta SL$ 组显著性小于对照组 ($P<0.001$)。而两组之间 $r\Delta LL$ 、 $L4/5\ r\Delta DH$ 、 $L3/4\ r\Delta DH$ 、 $L5/S1\ r\Delta DH$ 均无显著性差异 ($P>0.05$)。

2.4 多元回归分析

以 ASD 为因变量的将前述术前、术后、腰椎矢状位参数的相对矫正值中有统计学差异的变量作为自变量进行回归分析。结果见表 4, 较小的初

表 1 两组患者一般资料

Table 1	General information		
	ASD组 (n=26) ASD group	对照组 (n=52) Control group	P值 P value
性别 (n) Gender			1.000
男性 Male	12	24	
女性 Female	14	28	
初次手术年龄 (岁) Age at first surgery	62.7±9.3	63.1±8.6	0.850
第一诊断 (n) Diagnosis			0.262
腰椎管狭窄 Stenosis	16	22	
腰椎滑脱 Spondylolisthesis	5	13	
腰椎间盘突出 Lumbar disc herniation	5	17	
术前 L3/4 椎间盘 Pfirrmann's 分级 (n) Preop L3/4 disc Pfirrmann's grading			0.346
I	1	2	
II	2	9	
III	10	27	
IV	11	12	
V	2	2	
术前 L5/S1 椎间盘 Pfirrmann's 分级 (n) Preop L5/S1 disc Pfirrmann's grading			0.425
I	1	3	
II	5	11	
III	4	17	
IV	15	19	
V	1	2	
基础疾病 (n) Comorbidities			
糖尿病 Diabetes	5	7	0.521
高血压 Hypertension	5	14	0.580
吸烟史 Smoking	9	13	0.429
饮酒史 Drinking	6	9	0.555

表 2 腰椎矢状位参数比较

Table 2	Comparison of lumbar sagittal parameters		
	ASD组 (n=26) ASD group	对照组 (n=52) Control group	P值 P value
初次术前参数 Preop parameters			
LL (°)	34.9±11.6	42.0±16.5	0.031
SL (°)	16.3±6.1	16.8±6.8	0.738
SS (°)	35.7±9.4	37.3±7.9	0.435
L4/5 椎间隙相对高度 (%) L4/5 Disc height	36.8±8.4	35.8±7.1	0.577
L3/4 椎间隙相对高度 (%) L3/4 Disc height	38.8±8.6	36.1±7.7	0.162
L5/S1 椎间隙相对高度 (%) L5/S1 Disc height	36.4±8.5	34.3±8.4	0.293
初次术后参数 Postop parameters			
LL (°)	45.7±3.7	48.6±6.8	0.047
SL (°)	15.1±3.9	18.9±3.5	0.044
SS (°)	37.0±9.1	37.9±7.8	0.634
L4/5 椎间隙相对高度 (%) L4/5 Disc height	40.6±8.2	42.5±6.2	0.219
L3/4 椎间隙相对高度 (%) L3/4 Disc height	38.8±7.6	38.0±4.0	0.592
L5/S1 椎间隙相对高度 (%) L5/S1 Disc height	36.2±4.7	35.7±5.2	0.719
末次随访参数 Final follow-up parameters			
LL (°)	39.2±4.0	42.8±4.1	<0.001
SL (°)	13.3±2.5	19.6±6.0	<0.001
SS (°)	37.7±8.4	38.4±7.4	0.423
L4/5 椎间隙相对高度 (%) L4/5 Disc height	36.4±7.7	39.2±5.7	0.071
L3/4 椎间隙相对高度 (%) L3/4 Disc height	30.7±2.4	33.8±4.5	0.002
L5/S1 椎间隙相对高度 (%) L5/S1 Disc height	30.6±3.5	31.6±6.1	0.401

次术后/术前 ΔSL 是发生 ASD 的独立危险因素 (OR=0.031, 95% 置信区间为 0.005~0.209)。ROC 曲线分析显示, $r\Delta SL$ 的曲线下面积 (area under curve, AUC) 为 0.731 (95% 置信区间 0.615~0.848)。当敏感性和特异性之和达到最大时, $r\Delta SL$ 的最佳预测阈值为 -10.5% (图 2)。

3 讨论

自从 Hibbs^[12] 和 Albee^[13] 于 1911 年首次报道脊柱融合术以来, 腰椎融合手术经过不断完善, 目前已成为治疗腰椎疾病的主要方式之一^[14]。然而, 腰椎融合手术不可避免地牺牲了局部节段的活动度, 使邻近节段的应力增加, 导致 ASD 的发生。有研究报道, 在腰椎融合 5 年后, 有约 4%~31% 的患者出现了 ASD^[15-17]。

3.1 ASD 的危险因素

现有研究从患者自身因素、医源性因素等方面^[3] 对导致 ASD 发生的可能危险因素进行了探索, 以期采取针对性措施预防 ASD 的发生。Maragkos 等^[18] 对 131 例 L4/5 融合术后患者进行了回顾性队列研究, 发现融合以外的节段减压、女

性都是 ASD 的危险因素, 而高龄是保护因素。Michael 等^[19] 针对两节段前路融合术后 ASD 的发生情况进行研究, 发现邻近节段椎间隙减压 (椎板切除) 和腰椎总体曲度丢失是 ASD 重要的危险因素。Chen 等^[20] 认为使用弹性内固定系统治疗腰椎疾病, 术后 ASD 发生的最重要危险因素是体重, 而与邻近节段的退变程度无关; Rothenfluh 等^[21] 发现脊柱-骨盆矢状面参数不匹配 (PI-LL>10°) 的患者融合术后 ASD 发生率将升高 10 倍。本研究为 ASD 组患者严格按照基线资料以 1:2 的比例匹配了 52 例对照患者, 对两组患者初次手术前后的腰椎矢状位排列参数进行了比较, 发现 ASD 组患者术前的 LL 小于对照组, SL 无差异; 而初次术后 ASD 组的 LL 和 SL 均小于对照组。进一步对初次术后/术前腰椎矢状位参数相对矫正值进行对比时发现, ASD 组的 $r\Delta SL$ 显著小于对照组, 证实了 ASD 组患者确实存在局部曲度重建不足。多因素回归分析结果显示 $r\Delta SL$ 是 L4/5 融合术后 ASD 的独立危险因素。

3.2 SL 对手术疗效的影响

SL 反映了融合局部节段的曲度, 便于脊柱外科医生在术中把握。已有多项研究证明了 SL 在腰椎融合手术中的价值。Takahashi 等^[22] 的研究证明了在接受 L3~L5 两节段融合的患者中, ΔSL 较大者术后随访时的日本骨科协会 (Japanese Or

表 3 初次术后腰椎矢状位参数矫正值 (%)

Thele 3 Correction values of lumbar sagittal parameters after first fusion

	ASD组 (n=26) ASD group	对照组 (n=52) Control group	P值 P value
LL	31.1±85.7	16.0±216.8	0.653
SL	-7.3±25.7	12.8±64.2	<0.001
L4/5 椎间隙相对高度 L4/5 Disc height	10.4±23.0	18.6±21.4	0.124
L3/4 椎间隙相对高度 L3/4 Disc height	1.3±17.7	4.9±18.8	0.107
L5/S1 椎间隙相对高度 L5/S1 Disc height	-1.3±23.1	3.8±22.0	0.405

表 4 以 ASD 为因变量的多元回归模型

Thele 4 Multiple regression model for ASD as the dependent variable

自变量 Independent variable	OR 值 (95% 置信区间) OR value (95% CI)	P 值 P value
术前 LL Preop LL	0.923 (0.852~1.114)	0.056
术后 LL Postop LL	0.951 (0.829~1.232)	0.500
术后 SL Postop SL	0.794 (0.617~1.022)	0.073
术后/术前 $r\Delta SL$ Postop/preop $r\Delta SL$	0.031 (0.005~0.209)	<0.001

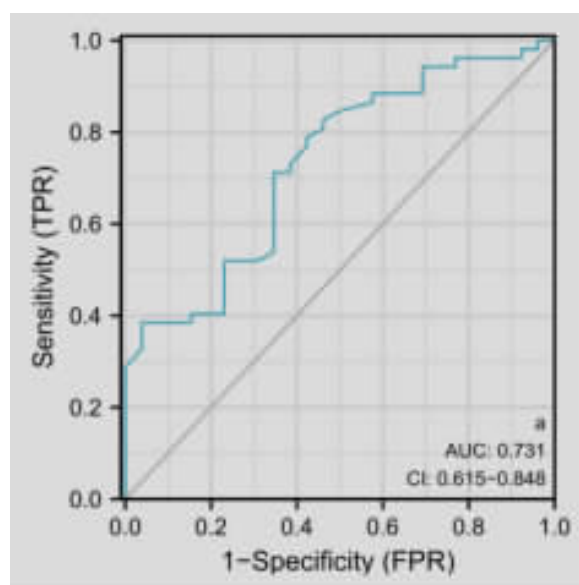


图 2 术后/术前 SL 相对变化值的受试者工作特征曲线

Figure 2 The receiver operating characteristic (ROC) curve of postop/preop relative difference of SL

thopaedic Association, JOA) 评分显著高于 Δ SL 较差者, 且 Δ SL 与 Δ LL 呈显著性正相关; Hong 等^[23]的研究证明了 15° 前凸的椎间融合器相较于其他融合器, 可显著增加 SL, 从而更好地恢复腰椎总体曲度。事实上, 对每一个个体来说, 由于腰椎基础曲度不同, 同样的 Δ SL 对原有曲度的影响程度也不同。因此, 本研究纳入了 $r\Delta$ SL 这一参数, 较既往研究^[7]更科学、合理。多因素回归分析提示, 较小的 $r\Delta$ SL 是腰椎融合术后 ASD 发生的独立危险因素, $r\Delta$ SL 对于 ASD 发生的最佳预测阈值为 -10.5% 。再次强调了对于接受融合手术的患者, 局部曲度矫正不足会增加术后 ASD 发生的风险。本研究中 ASD 组与对照组在初次术前和初次术后, 手术节段邻近节段的椎间隙相对高度没有显著性差异, 而末次随访时 ASD 组相对于对照组表现出明显的邻近节段椎间隙减小。这也从侧面说明了局部曲度纠正不佳, 可能会加速邻近节段的退变。这符合既往生物力学研究结果; Akamaru 等^[24]认为融合节段较小的前凸会导致相邻节段活动度的显著增加; Senteler 等^[4]认为融合节段较小的前凸会增加邻近节段 29% 的剪切力。

综上所述, 基于对 ASD 组和对照组初次术前和术后腰椎矢状位参数的比较, 本研究提出 SL 矫正不足是 L4/5 融合术后 ASD 发生的独立危险因素, 并提出了 $r\Delta$ SL 对 ASD 的最佳预测阈值为 -10.5% 。但本研究尚存在一定的局限性: 对个体来说, SL 的矫正理应存在一个最合适的范围, 而本研究的结果仅提出了术中对 SL 矫正的“下限”, 未提出 SL 矫正的“上限”。临床上是否存在因 SL 过度矫正而加速邻近节段退变的患者? 此外, 学界公认的 Roussouly 分型^[25]明确将正常人的腰椎形态分为了四型, 那么针对不同腰椎形态的患者, SL 的纠正目标是否也不相同? 这些都有待于更大样本量、更确切分组的临床研究来进一步探索, 以期为患者提供更“个性化”的 SL 矫正目标。另外, 因要求获得 ASD 组三次的完整影像资料, 增加了入组难度, 样本量较少; 未将脊柱-骨盆平衡参数纳入考虑。但是本研究着眼于手术医生术中可控的部分, 且通过多因素回归分析得到了 $r\Delta$ SL 在融合术后 ASD 发生中的重要作用, 结论具有参考价值。

4 参考文献

- Hilibrand AS, Robbins M. Adjacent segment degeneration and adjacent segment disease: the consequences of spinal fusion [J]. Spine J, 2004, 4(6 Suppl): 190-194.
- Maragkos GA, Motiei-Langroudi R, Filippidis AS, et al. Factors predictive of adjacent segment disease after lumbar spinal fusion[J]. World Neurosurg, 2020, 133: e690-e694.
- Lau KKL, Samartzis D, To NSC, et al. Demographic, surgical, and radiographic risk factors for symptomatic adjacent segment disease after lumbar fusion: a systematic review and Meta-analysis[J]. J Bone Joint Surg Am, 2021, 103(15): 1438-1450.
- Senteler M, Weisse B, Rothenfluh DA, et al. Fusion angle affects intervertebral adjacent spinal segment joint forces—model-based analysis of patient specific alignment [J]. J Orthop Res, 2017, 35(1): 131-139.
- Umehara S, Zindrick MR, Patwardhan AG, et al. The biomechanical effect of postoperative hypolordosis in instrumented lumbar fusion on instrumented and adjacent spinal segments [J]. Spine(Phila Pa 1976), 2000, 25(13): 1617-1624.
- Kim KH, Lee SH, Shim CS, et al. Adjacent segment disease after interbody fusion and pedicle screw fixations for isolated L4-L5 spondylolisthesis: a minimum five-year follow-up [J]. Spine(Phila Pa 1976), 2010, 35(6): 625-634.
- Okuda S, Nagamoto Y, Takenaka S, et al. Effect of segmental lordosis on early-onset adjacent-segment disease after posterior lumbar interbody fusion[J]. J Neurosurg Spine, 2021, 35(4): 454-459.
- Chen BL, Wei FX, Ueyama K, et al. Adjacent segment degeneration after single-segment PLIF: the risk factor for degeneration and its impact on clinical outcomes[J]. Eur Spine J, 2011, 20(11): 1946-1950.
- Moreau PE, Ferrero E, Riouallon G, et al. Radiologic adjacent segment degeneration 2 years after lumbar fusion for degenerative spondylolisthesis [J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2016, 102(6): 759-763.
- Cheh G, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Adjacent segment disease following lumbar/thoracolumbar fusion with pedicle screw instrumentation: a minimum 5-year follow-up[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2007, 32(20): 2253-2257.
- Pfirrmann CW, Metzdorf A, Zanetti M, et al. Magnetic resonance classification of lumbar intervertebral disc degeneration [J]. Spine(Phila Pa 1976), 2001, 26(17): 1873-1878.
- Hibbs RA. A further consideration of an operation for Pott's disease of the spine: with report of cases from the service of the new york orthopaedic hospital[J]. Ann Surg, 1912, 55(5): 682-688.
- Albee FH. Transplantation of a portion of the tibia into the spine for Pott's disease: a preliminary report 1911[J]. Clin Orthop Relat Res, 2007, 460: 14-16.
- Vaccaro AR, Garfin SR. Pedicle-screw fixation in the lumbar spine [J]. J Am Acad Orthop Surg, 1995, 3(5): 263-274.

15. Ye J, Yang S, Wei Z, et al. Incidence and risk factors for adjacent segment disease after transforaminal lumbar in terbody fusion in patients with lumbar degenerative dis eases [J]. *Int J Gen Med*, 2021, 14: 8185–8192.
 16. Okuda S, Nagamoto Y, Matsumoto T, et al. Adjacent seg- ment disease after single segment posterior lumbar inter body fusion for degenerative spondylolisthesis: minimum 10 years follow-up [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2018, 43 (23): e1384–e1388.
 17. Bydon M, Macki M, Kerezoudis P, et al. The incidence of adjacent segment disease after lumbar discectomy: a study of 751 patients [J]. *J Clin Neurosci*, 2017, 35: 42–46.
 18. Maragkos GA, Atesok K, Papavassiliou E. Prognostic factors for adjacent segment disease after L4–L5 lumbar fusion [J]. *Neurosurgery*, 2020, 86(6): 835–842.
 19. Michael AP, Weber MW, Delfino KR, et al. Adjacent-seg- ment disease following two-level axial lumbar interbody fu- sion[J]. *J Neurosurg Spine*, 2019: 1–8.
 20. Chen KJ, Lai CY, Chiu LT, et al. Adjacent segment disease following Dynesys stabilization for lumbar disorders: a case series of mid- and long-term follow-ups [J]. *World J Clin Cases*, 2021, 9(35): 10850–10860.
 21. Rothenfluh DA, Mueller DA, Rothenfluh E, et al. Pelvic incidence–lumbar lordosis mismatch predisposes to adjacent segment disease after lumbar spinal fusion [J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(6): 1251–1258.
 22. Takahashi Y, Okuda S, Nagamoto Y, et al. Effect of seg- mental lordosis on the clinical outcomes of 2-level posterior lumbar interbody fusion for 2-level degenerative lumbar spondylolisthesis [J]. *J Neurosurg Spine*, 2019: 1–6.
 23. Hong TH, Cho KJ, Kim YT, et al. Does lordotic angle of cage determine lumbar lordosis in lumbar interbody fusion[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2017, 42(13): E775–E780.
 24. Akamaru T, Kawahara N, Tim Yoon S, et al. Adjacent seg- ment motion after a simulated lumbar fusion in different sagittal alignments: a biomechanical analysis[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2003, 28(14): 1560–1566.
 25. Roussouly P, Gollogly S, Berthonnaud E, et al. Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the hu- man lumbar spine and pelvis in the standing position [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2005, 30(3): 346–353.
- (收稿日期:2022-09-25 末次修回日期:2023-03-04)
(英文编审 谭 啸)
(本文编辑 姜雅浩)