

临床论著

退变性和峡部裂性 L5/S1 滑脱患者 L5 椎弓根形态学参数比较及其临床意义

唐超^{1,2}, 冷叶波¹, 廖焯晖¹, 唐强¹, 马飞¹, 徐世财¹, 王清¹, 钟德君¹

(1 西南医科大学附属医院骨科 643200 四川省泸州市; 2 陆军军医大学新桥医院骨科 400030 重庆市)

【摘要】目的:测量退变性和峡部裂性 L5/S1 滑脱患者的 L5 椎弓根形态学参数,比较两者的差异并分析其临床意义。**方法:**收集西南医科大学附属医院 2016 年 1 月 1 日~2020 年 6 月 30 日收治的 L5/S1 滑脱患者的影像学资料,其中峡部裂性 L5/S1 滑脱 119 例(IS 组),退变性 L5/S1 滑脱 45 例(DS 组),同时选取 164 例无腰椎滑脱的腰椎间盘突出症患者作为对照组(NS 组)。在多层螺旋计算机断层扫描(MSCT)图像上测量三组患者 L5 椎弓根的形态学参数,包括椎弓根长度(PL)、椎弓根螺钉轨迹长度(PSTL)、椎弓根宽度(PW)、椎弓根高度(PH)和椎弓根内倾角度(PCA);在腰椎站立中立侧位 X 线片上测量 L5 椎体的滑移距离,并计算滑移百分比。比较三组患者 L5 椎弓根形态学参数的差异,分析形态学参数与滑移程度的相关性。**结果:**三组患者性别比、身高、体重和体重指数(BMI)无统计学差异($P>0.05$)。三组患者各参数左右侧比较均无统计学差异,合并统计。IS 组的 PL、PSTL、PW、PH 和 PCA 分别为 $14.4\pm 2.1\text{mm}$ 、 $48.3\pm 4.2\text{mm}$ 、 $13.6\pm 2.1\text{mm}$ 、 $9.6\pm 1.5\text{mm}$ 和 $29.7^\circ\pm 5.3^\circ$;DS 组分别为 $16.2\pm 1.6\text{mm}$ 、 $49.8\pm 3.3\text{mm}$ 、 $11.3\pm 1.9\text{mm}$ 、 $9.7\pm 1.7\text{mm}$ 和 $23.3^\circ\pm 6.5^\circ$;NS 组分别为 $15.1\pm 1.7\text{mm}$ 、 $48.5\pm 3.5\text{mm}$ 、 $12.7\pm 1.9\text{mm}$ 、 $10.8\pm 1.3\text{mm}$ 和 $27.3^\circ\pm 4.7^\circ$ 。DS 组的 PL、PSTL 显著性大于 IS 组($P<0.05$),PW 和 PCA 显著性小于 IS 组($P<0.05$),PH 两组无统计学差异($P>0.05$)。IS 组 PL、PW、PH、PCA 与 NS 组比较有统计学差异($P<0.05$),PSTL 与 NS 组比较无统计学差异($P>0.05$);DS 组的 PL、PSTL、PW、PH 和 PCA 与 NS 组比较均有统计学差异($P<0.05$)。IS 组的滑移距离($11.2\pm 2.7\text{mm}$)和滑移百分比[($29.1\pm 10.9\%$)]大于 DS 组[$8.8\pm 2.4\text{mm}$ 、($24.4\pm 8.4\%$)]($P<0.05$)。Pearson 相关分析结果显示,IS 组患者 L5 椎体滑移百分比和 L5 椎弓根各参数之间无显著相关性($P>0.05$);DS 组患者 L5 椎体的滑移百分比与 PL 呈正相关($r=0.640, P=0.0001$),与 PW ($r=-0.510, P=0.0001$)和 PCA($r=-0.405, P=0.006$)呈负相关,与 PSTL 无显著相关性($P>0.05$)。**结论:**两类滑脱患者滑移椎体椎弓根形态学存在差异,峡部裂性 L5/S1 滑脱患者的 L5 椎弓根形态呈“展、短、粗”,退变性 L5/S1 滑脱患者的 L5 椎弓根形态呈“收、长、细”。提示两类滑脱患者在椎体滑移发展中椎弓根存在差异性应力重塑。

【关键词】峡部裂性腰椎滑脱;退变性腰椎滑脱;椎弓根形态;影像学;相关性

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2022.11.06

中图分类号:R681.5, R816.8 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2022)-11-1002-08

Comparison of L5 pedicle morphological parameters between patients with L5/S1 degenerative and isthmic spondylolisthesis and its clinical significance/TANG Chao, LENG Yebo, LIAO Yehui, et al// Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2022, 32(11): 1002-1009

【Abstract】Objectives: To measure the morphological parameters of L5 pedicle in patients with L5/S1 degenerative and isthmus spondylolisthesis, compare their differences and analyze their clinical significance. **Methods:** The imaging data of patients with L5/S1 spondylolisthesis admitted to the Affiliated Hospital of Southwest Medical University from January 1, 2016 to June 30, 2020 were collected. There were 119 patients with L5/S1 isthmus spondylolisthesis (IS group) and 45 patients with L5/S1 degenerative spondylolisthesis (DS group), and 164 non-spondylolisthesis patients with lumbar disc herniation were selected as the control group (NS group). The morphological parameters of L5 pedicle of the three groups of patients were measured on multi-slice computed tomography (MSCT) images, including pedicle length (PL), pedicle screw trajectory length

基金项目:四川省医学会青年创新科研课题(Q21005)

第一作者简介:男(1991-),主治医师,博士在读,研究方向:上颈椎畸形、脊柱退变性疾病

电话:(0830)3165441 E-mail:510895924@qq.com

通讯作者:钟德君 E-mail:zdj_1974@163.com

(PSTL), pedicle width(PW), pedicle height(PH), and pedicle camber angle(PCA). The slipping distance of L5 vertebra was measured on standing neutral lateral X-ray film, and the percentage of slip was calculated. The differences of L5 pedicle morphological parameters between the three groups were compared, and the correlation between morphological parameters and slip degree was analyzed. **Results:** There was no significant difference in sex ratio, height, weight and body mass index(BMI) among the three groups of patients($P>0.05$). There was no statistical difference between the left and right parameters of the three groups. The PL, PSTL, PW, PH, and PCA of IS, DS, and NS groups were respectively $14.4\pm 2.1\text{mm}$, $48.3\pm 4.2\text{mm}$, $13.6\pm 2.1\text{mm}$, $9.6\pm 1.5\text{mm}$, and $29.7^\circ\pm 5.3^\circ$; $16.2\pm 1.6\text{mm}$, $49.8\pm 3.3\text{mm}$, $11.3\pm 1.9\text{mm}$, $9.7\pm 1.7\text{mm}$, and $23.3^\circ\pm 6.5^\circ$; $15.1\pm 1.7\text{mm}$, $48.5\pm 3.5\text{mm}$, $12.7\pm 1.9\text{mm}$, $10.8\pm 1.3\text{mm}$, and $27.3^\circ\pm 4.7^\circ$. The values of PL and PSTL in DS group were significantly higher than those in IS group($P<0.05$), and the values of PW and PCA were significantly smaller than those in IS group ($P<0.05$), and there was no significant difference in PH between the two groups ($P>0.05$). There were significant differences in PL, PW, PH, PCA between IS group and NS group($P<0.05$), while there was no significant difference of PSTL between these two groups ($P>0.05$). There were significant differences in PL, PSTL, PW, PH and PCA between DS group and NS group($P<0.05$). The slipping distance ($11.2\pm 2.7\text{mm}$) and percentage of slip($29.1\pm 10.9\%$) of IS group were higher than those in DS group [$8.8\pm 2.4\text{mm}$, ($24.4\pm 8.4\%$)]($P<0.05$). Pearson correlation analysis showed that there was no significant correlation between the percentage of slip and the parameters of L5 pedicle of IS group($P>0.05$); In DS group, the percentage of slip was positively correlated with PL($r=0.640$, $P=0.0001$), and negatively correlated with PW($r=-0.510$, $P=0.0001$) and PCA($r=-0.405$, $P=0.006$), while it has no significant correlations with PSTL($P>0.05$). **Conclusions:** There are differences in the morphology of pedicle of the slipping vertebra between degenerative and isthmic spondylolisthesis. The L5 pedicle morphology in L5/S1 isthmic spondylolisthesis is more abducted, shorter, and wider, while that in the degenerative spondylolisthesis is more adducted, longer, and thinner comparing with the normal populations, suggesting that there is differential stress remodeling of pedicle in the development of spondylolisthesis in patients with the two types of spondylolisthesis.

【Key words】 Isthmic lumbar spondylolisthesis; Degenerative lumbar spondylolisthesis; Pedicle morphology; Imaging; Correlation

【Author's address】 1. Department of Orthopedics, the Affiliated Hospital of Southwest Medical University, Luzhou, 646000, China; 2. Department of Orthopedics, Xinqiao Hospital of Army Medical University(Third Military Medical University), Chongqing, 400030, China

根据 1976 年 Wiltse-Newman 分类系统,腰椎滑脱可分为五种类型:发育不良、峡部裂性、退变性、创伤性和病理性^[1]。当患者出现症状加重和/或保守治疗失败时,需要进行手术复位与后路减压融合椎弓根螺钉内固定治疗^[2]。文献报道,腰椎滑脱患者的椎弓根与无滑脱患者的椎弓根存在较大的解剖差异,置入椎弓根螺钉时需小心谨慎^[3,4]。以往的研究表明,由于腰椎滑脱的发病机制和病因不同,滑移椎体及其椎弓根会发生不同的形态变化^[3,5-8]。但目前尚无关于退变性腰椎滑脱和峡部裂性腰椎滑脱患者椎弓根形态变化和差异的报道。本研究通过 CT 测量峡部裂性和退变性 L5/S1 滑脱患者 L5 椎弓根的影学参数,分析两种类型滑脱患者间椎弓根的形态特征和差异,探讨椎体滑移百分比与滑移椎体椎弓根参数的相关性及其临床意义。

1 资料和方法

1.1 研究对象

收集 2016 年 1 月 1 日~2020 年 6 月 30 日在西南医科大学附属医院诊疗的峡部裂性和退变性 L5/S1 滑脱患者的临床和影像学资料。病例纳入标准:(1)年龄 40~70 岁;(2)身高:男性 165~180cm,女性 155~170cm;(3)体重:男性 50~70kg,女性 40~60kg;(4)有完整的术前腰椎 CT 三维重建及站立中立位正侧位 X 线片。排除标准:(1)脊柱严重畸形,存在脊柱矢状面失衡;(2)腰椎感染、肿瘤和(或)类风湿性关节炎;(3)有腰椎创伤骨折病史;(4)有腰椎手术病史。根据入选和排除标准,纳入峡部裂性 L5/S1 滑脱患者 119 例(IS 组),退变性 L5/S1 滑脱患者 45 例(DS 组)。采用随机数表法匹配 164 例腰椎间盘突出症无腰椎滑脱患者作为对照组(NS 组)。

1.2 测量方法及观察指标

所有纳入研究对象均在仰卧位采用双源螺旋 64 排 CT 扫描仪(SOMATOM,德国西门子)行腰椎 CT 检查。扫描参数为 1mm 厚度/间隔,螺距为 1.0~2.0。所有从患者获得的原始数据均在影像处理工作站中进行三维重建。距离和角度测量的精度值分别为 0.1mm 和 0.1°。

根据 Olsewski 等^[9]和 Vaccaro 等^[10]的腰椎椎弓根参数测量方法,所有研究对象的腰椎椎弓根参数测量均按照以下方法进行。从椎弓根中点轴向 CT 扫描得出以下参考线:沿双侧横突基底部的横向水平线(a 线)、椎体的后缘切线(b 线),椎体前后中矢状线(c 线),过椎弓根中轴并平行于椎弓根的线(d 线)(图 1)。基于上述 4 条参考线测量横椎弓根长度(pedicle length,PL)、椎弓根宽度(pedicle width,PW)、椎弓根螺钉轨迹长度(pedicle screw trajectory length,PSTL)和椎弓根内倾角(pedicle camber angle,PCA)(图 2a)。在矢状面 CT 重建图像中测量椎弓根高度(pedicle height,PH)(图 2b)。在腰椎中立位侧位 X 线片上测量 L5 椎体向前滑移距离(slip distance,SD),S1 后上缘与 L5 椎体后缘的垂直距离即为 SD(图 3)。滑移百分比根据 Bourassa-Moreou 等^[11]推荐的测量方法,SD 与 S1 椎体上缘长度的比值。所有参数均由 2 名接受脊柱外科训练达 5 年以上的主治医师或副教授进行两次测量,取平均值用于统计学分析。腰椎滑脱按 Meyerding 滑脱程度分级分为 1 级、2 级、3 级和 4 级。记录所有研究对象的身

高、体重和体重指数(body mass index,BMI)。

1.3 统计学分析

使用 SPSS 19.0 统计软件(SPSS,Chicago,IL,USA)进行统计学分析。计量资料两两比较采用独立样本 *t* 检验,三组比较采用单因素方差分析(One Way-ANOVA),计数资料采用 χ^2 检验,滑移椎体椎弓根参数和滑移百分比之间的相关性分析采用 Pearson 相关分析。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

三组患者的一般资料见表 1。三组患者的性别比、身高、体重和 BMI 无显著性差异($P>0.05$);DS 组患者年龄大于 IS 组和 NS 组,IS 组滑移距离和滑移百分比大于 DS 组($P<0.05$)。根据腰椎滑脱程度等级分类,IS 组和 DS 组的滑脱程度有显著性差异($P<0.05$)。

2.1 L5 椎弓根形态学参数

三组患者 L5 左右侧椎弓根影像学测量参数见表 2。三组椎弓根各参数左右侧比较均无显著性差异($P>0.05$),左右侧合并统计。

DS 组的 PL、PSTL 显著性大于 IS 组($P<0.05$),PW 和 PCA 显著性小于 IS 组($P<0.05$),PH 两组无统计学差异($P>0.05$)。IS 组 PL、PW、PH、PCA 与 NS 组比较有统计学差异($P<0.05$),PSTL 与 NS 组比较无统计学差异($P>0.05$);DS 组的 PL、PSTL、PW、PH 和 PCA 与 NS 组比较均有统计学差异($P<0.05$)。

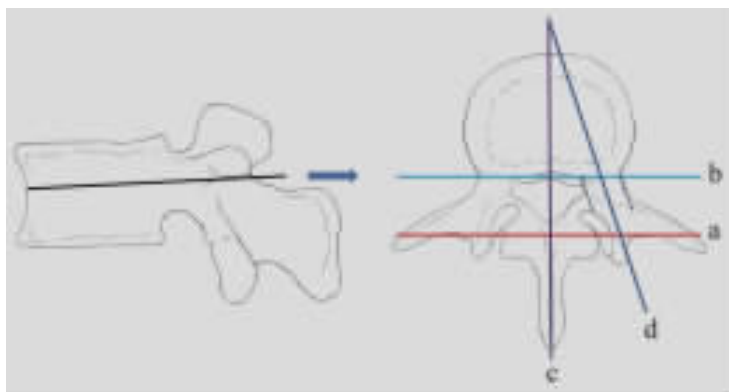


图 1 腰椎椎弓根测量参考线选择示意图:选择椎弓根中矢状位中份(左图黑线)所对应的横断面(右图)作为参数测量标准切面。(1)横突间线(a 线),沿双侧横突基底部的横向连接线;(2)椎体后缘切线(b 线);(3)中矢状线(c 线),椎体前后中矢状径线;(4)椎弓根轴线(d 线),过椎弓根中轴并平行于椎弓根的线

Figure 1 Diagram of reference lines for lumbar pedicle parameter measurement. The cross section(right) corresponding to the middle part of the midsagittal plane of the pedicle (black

line in the left figure) was taken as the standard section for parameters measurement. (1)Inter-transverse line(a), a horizontal line along the transverse processes of the vertebra; (2)Posterior margin tangent line of the vertebral body(b); (3)Anteroposterior mid-sagittal line(c), a line perpendicular to the first reference line in the anteroposterior mid-line axis bisecting the vertebral body; (4)Longitudinal pedicle axis line(d), a line drawn through the mid-axis of the pedicle and parallel to the pedicle

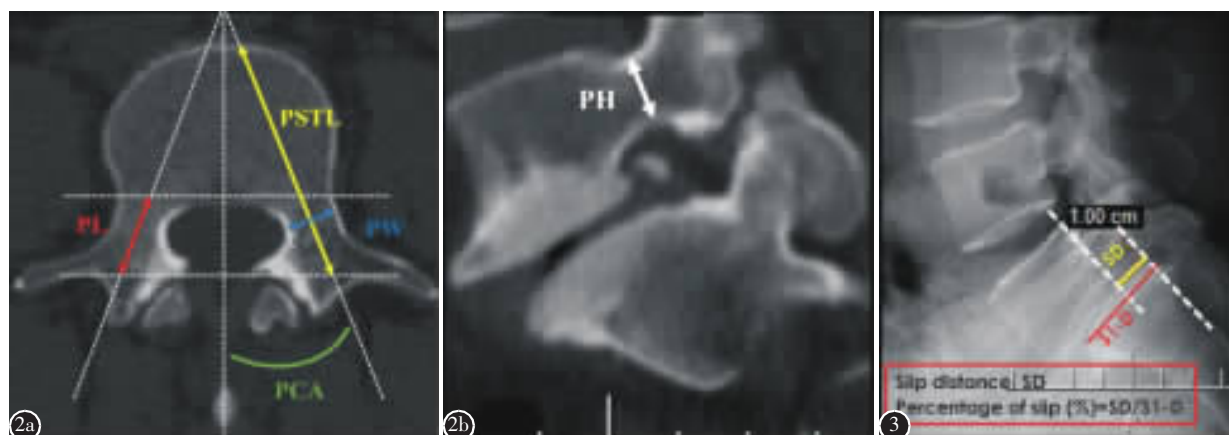


图 2 椎弓根参数测量方法 **a** 椎弓根长度(PL):横突间线到椎体后缘切线之间的椎弓根轴线长度(红色箭头);椎弓根螺钉轨迹长度(PSTL):横突间线到椎体前缘皮质骨的椎弓根轴线长度(黄色箭头);椎弓根宽度(PW):椎弓根最狭窄处垂直于椎弓根轴线的长度(蓝色箭头);椎弓根内倾角(PCA):椎弓根轴线和中矢状径线之间的夹角(绿弧) **b** 椎弓根高度(PH):椎弓根中矢状面上下皮质之间的距离(白色箭头) **图 3** 椎体滑移距离测量方法:L5 椎体滑移距离(SD)为 S1 后上缘与 L5 椎体后缘的垂直距离;滑移百分比为 SD 与 S1 椎体上缘长度(S1-D)的比值

Figure 2 Measurement of pedicle parameters **a** Pedicle length(PL), the length of longitudinal pedicle axis line measured from the inter-transverse line to the tangent line of the posterior margin of the vertebral body(red arrow); pedicle width(PW), the length perpendicular to the longitudinal axis of the pedicle at the narrowest part (blue arrow); pedicle screw trajectory length(PSTL), the longitudinal pedicle axis line measured from the inter-transverse line to the anterior cortex of the vertebral body(yellow arrow); pedicle camber angle(PCA), the angle between the longitudinal pedicle axis and mid-sagittal line(green arc) **b** Pedicle height(PH), the distance between the superior and inferior cortices at the mid-sagittal plane of pedicle(white arrow) **Figure 3** Measurement method of slip distance(SD), the vertical distance between the posterior upper edge of S1 and the posterior edge of L5 vertebral body. Slip percentage, the ratio of SD to S1 vertebral body upper edge length(S1-D)

表 1 IS、DS 和 NS 组患者的一般资料
Table 1 Demographic data among groups

	IS 组 IS group (n=119)	DS 组 DS group (n=45)	NS 组 NS group (n=164)	P 值 P value
年龄(岁) Age(yrs)	50.2±10.4	62.3±7.8	52.7±9.2	<0.001
性别 Sex				0.453
男 Male	47	13	60	
女 Female	72	32	104	
身高(cm) Height	162.3±6.8	158.7±6.4	160.9±7.1	0.108
体重(kg) Weight	60.1±8.0	60.4±7.8	61.3±8.5	0.542
体重指数 BMI(kg/m ²)	23.1±2.7	24.0±2.8	23.6±2.3	0.142
滑移距离(mm) Slip distance	11.2±2.7	8.8±2.4	—	0.014
滑移百分比(%) Percentage of slip	29.1±10.9	24.4±8.4	—	0.012
Meyerding 分级 Meyerding grade				0.026
1 级 Grade 1	46	47	—	
2 级 Grade 3	67	18	—	
3 级 Grade 3	6	0	—	

IS 组和 DS 组不同滑脱程度患者的椎弓根参数见表 3。在 IS 组中, PL、PSTL 和 PCA 在不同滑移程度之间无统计学差异($P>0.05$), PH 和 PW 在不同滑脱分度患者之间有统计学差异, Meyerding 3 级患者的 PH 和 PW 值明显小于 1 级和 2 级患者($P<0.05$)。DS 组中, 不同滑脱程度患者 PL、PSTL、PW、PCA 值均存在显著性差异($P<0.05$), 1 级患者 PL 和 PSTL 小于 2 级患者($P<0.05$), PW 和 PCA 大于 2 级患者。DS 组患者 PL 和 PSTL 在 1 级和 2 级均大于 IS 组, PW 和 PCA 在 1 级和 2 级均小于 IS 组, 差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.2 滑移程度与 L5 椎弓根参数的相关性

Pearson 相关分析结果显示, IS 组患者滑移百分比和 L5 椎弓根参数之间无显著相关性($P>0.05$)。DS 患者滑移百分比与 PL 呈显著性正相关($r=0.640, P=0.0001$), 与 PW($r=-0.510, P=0.0001$)和 PCA($r=-0.405, P=0.006$)呈显著性负相关, 与 PSTL 无显著相关性($r=0.274, P=0.071$)(图 4)。

3 讨论

横断面和矢状面上椎弓根的线性和角度测量为椎弓根螺钉大小选择和置入方向提供了定量描述。Bajwa 等^[5]测量了 1072 具尸体的 L5 椎弓根长度,发现与没有滑脱的标本(4.31mm)相比,腰椎峡部裂性滑脱对象的长度(6.02mm)平均增加了 29%。Choi 等^[7]研究了 70 例 L5/S1 峡部裂性滑脱患者的 CT 资料,认为 L5 椎弓根的长度相对于正常人群明显较长,而椎弓根宽度和高度减小。然而,本研究中 IS 组患者 L5 椎弓根参数的测量结果与以往的文献报道存在较大的差异。本研究中,IS 组患者 PL 的平均值为 14.5mm, PSTL 平均值为 48.3mm, PW 平均值为 13.9mm, PH 平均值为 9.2mm, PCA 平均值为 29.6°; IS 组患者的 PL 和 PH 较 NS 组小,但 IS 组的 PW 和 PCA 较 NS 组更大。我们认为,可能是椎弓根参数测量方法的不同导致本研究测量结果与既往文献结果存在差异的重要因素。除此之外,测量技术(CT 或游标卡尺)和研究对象(尸体或患者)上的差异也可能影响测量结果。

本研究中,DS 组的 45 例患者 L5 椎弓根参数

与 NS 组相比,PL 明显更长,PW 更短,PCA 更小,PH 更低。结果与以往文献报道的结果一致^[12,13]。然而,目前还没有研究报道 L5/S1 峡部裂性滑脱和退变性滑脱患者椎弓根的形态学差异。在本研究中,退变性滑脱患者滑移椎体的 PL 和 PSTL 明显长于峡部裂性滑脱患者,但 PW 和 PCA 明显较小。IS 组的 L5 椎弓根形态相对于无腰椎滑脱的人群表现为“展”、“短”、“粗”的形态学改变,而 DS 组表现为“收”、“长”、“细”的形态学特征。特别是 DS 组患者的 PCA 平均值(23.3°)比 IS 组患者(29.7°)小 6.4°。Yu 等^[14]通过 CT 扫描在 40 名成年志愿者中测量了三种不同腰椎椎弓根螺钉置钉点(Du、Magerl 和 Roy-Camille)的横断面角的安全置钉范围,发现 Du、Magerl 和 Roy-Camille 置钉点在 L5 椎弓根测量的横断面角安全置钉范围分别为 10.48°±0.76°、14.13°±1.11°和 4.13°±0.84°。因此,注意 DS 和 IS 组患者 PCA 的差异对外科医生椎弓根安全置钉尤为重要。

分析峡部裂性腰椎滑脱与退变性腰椎滑脱之间的椎弓根形态存在差异的原因可能与以下因素有关。首先,峡部裂性腰椎滑脱和退变性腰椎滑脱

表 2 IS 组、DS 组和 NS 组患者 L5 椎弓根影像学测量参数

Table 2 The imaging parameters of L5 pedicle in patients of IS group, DS group and NS group

	IS 组 IS group			DS 组 DS group			NS 组 NS group		
	左侧 Left	右侧 Right	合计 Total	左侧 Left	右侧 Right	合计 Total	左侧 Left	右侧 Right	合计 Total
椎弓根长度 PL(mm)	14.5±1.9	14.3±2.2	14.4±2.1 ^{①②}	16.5±1.9	16.1±1.6	16.2±1.6 ^①	14.9±1.9	15.2±1.7	15.1±1.7
椎弓根螺钉轨迹长度 PSTL(mm)	48.5±4.5	48.1±4.1	48.3±4.2 ^②	49.9±3.5	49.6±3.6	49.8±3.3 ^①	48.7±3.6	48.3±3.8	48.5±3.5
椎弓根宽度 PW(mm)	13.5±1.9	13.7±2.3	13.6±2.1 ^{①②}	11.1±1.9	11.4±2.3	11.3±1.9 ^①	12.5±2.0	12.9±1.7	12.7±1.9
椎弓根高度 PH(mm)	9.7±1.6	9.5±1.2	9.6±1.5 ^①	9.8±1.6	9.6±1.8	9.7±1.7 ^①	10.6±1.5	10.9±1.3	10.8±1.3
椎弓根内倾角度 PCA(°)	29.9±4.9	29.6±5.1	29.7±5.3 ^{①②}	23.7±6.8	23.1±6.3	23.3±6.5 ^①	27.1±4.9	27.5±4.5	27.3±4.7

注:①与 NS 组比较 $P<0.05$; ②与 DS 组比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with NS group, $P<0.05$; ②Compared with DS group, $P<0.05$

表 3 IS 组和 DS 组不同滑移程度患者 L5 椎弓根影像学测量参数

Table 3 The imaging parameters of L5 pedicle in patients with different slip degrees in IS group and DS group

	IS 组 IS group			DS 组 DS group	
	1级 Grade 1	2级 Grade 2	3级 Grade 3	1级 Grade 1	2级 Grade 2
椎弓根长度 PL(mm)	14.2±1.3 ^①	14.3±1.1 ^①	14.5±1.5	15.7±1.6	17.3±1.1 ^②
椎弓根螺钉轨迹长度 PSTL(mm)	46.8±3.2 ^①	48.1±2.7 ^①	48.7±3.1	48.9±3.1	51.6±2.9 ^②
椎弓根宽度 PW(mm)	13.6±1.6 ^{①③}	13.7±2.5 ^{②③}	11.6±1.5	11.6±1.5	10.4±1.2 ^②
椎弓根高度 PH(mm)	9.8±1.4 ^③	9.6±1.4 ^②	8.4±2.6	9.3±1.5	9.7±1.6
椎弓根内倾角度 PCA(°)	28.7±5.9 ^①	28.8±6.3 ^①	30.5±5.4	24.3±6.8	21.2±5.8 ^②

注:①与 DS 组相同滑脱程度患者比较 $P<0.05$; ②与同组 1 级患者比较 $P<0.05$; ③与同组 3 级患者比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with DS group patients of the same Meyerding degree, $P<0.05$; ②Compared with grade 1 patients within group, $P<0.05$

③Compared with grade 3 patients within group, $P<0.05$.

的发病机制和自然史不同,峡部裂性腰椎滑脱存在峡部缺损,允许近端椎体前移以及滑移椎体的前方椎体与后方椎弓的分离^[15]。大约 15% 的峡部裂患者可进展为腰椎滑脱,这种滑脱现象的发生主要是在生长激增的过程中出现,16 岁后滑脱进展较小^[15]。此类患者在成年人中发生滑脱或滑移程度进展的几率为 5.6%~30%,且此时多与椎间盘退变相关^[15-17]。然而,与峡部裂性腰椎滑脱不同,退变性腰椎滑脱在 60 岁以上中老年人中最为常见,这种腰椎滑脱的发生机制被认为是椎间盘和腰椎小关节退行性变的结果^[17,18]。1990 年, Matsunaga 等^[18]对 145 例保守治疗患者进行了至少 10 年的随访观察,并描述了退变性腰椎滑脱的自然病史,在整个随访过程中,49 例患者(34%)的滑移进展过程中椎间盘的高度显著下降。其次,脊柱的矢状面平衡对 DS 和 IS 的发展起着重要作用^[19-24]。脊柱矢状面平衡代偿的基本原理是通过相邻节段退变的延长,以避免由于椎间盘逐渐退变和椎间盘高度丧失而导致脊柱重心的前移^[19]。在一项回顾性研究中,Barrey 等^[20]发现 DS 患者比正常无症状人群具有更高的骨盆入射角(PI)。Barrey 等^[21]和 Le 等^[22]的研究表明,高 PI 似乎是 DS 的预测因素,可能与退变性滑脱的发病和进展相关。Labelle 等^[23]的研究发现 PI 与 IS 滑移程度显著性相关。Rajnic 等^[24]注意到,IS 患者的 PI 值明显高于正常人群。然而,与 DS 不同的是,IS 表现出高腰椎前凸(LL)、正常骶骨倾斜角(SS)、高骨盆倾斜角(PT),以保持脊柱整体矢状面平衡^[25]。

椎间盘、椎弓环和小关节的完整性被认为是维持脊柱稳定性的重要解剖结构。虽然其机制尚不清楚,但有研究表明,以上结构在阻止腰椎滑脱进展过程中起到了十分重要的作用^[26]。椎体的向

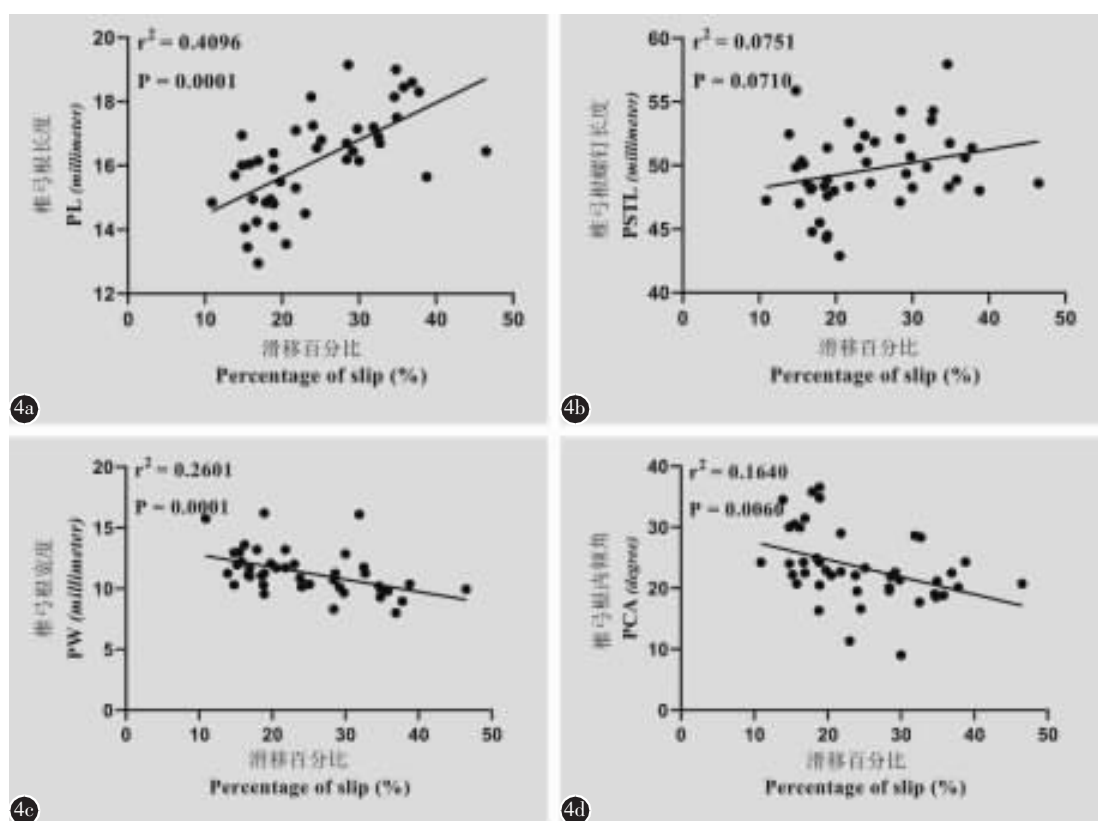


图 4 DS 组患者 L5 椎弓根参数与椎体滑移百分比相关性分析 a 椎弓根长度 (PL) 与椎体滑移百分比显著性正相关 b 椎弓根螺钉长度(PSTL)与滑移百分比无相关 c 椎弓根宽度(PW)与滑移百分比显著性负相关 d 椎弓根内倾角(PCA)与滑移百分比显著性负相关

Figure 4 The correlation between slippage percentage and L5 pedicle parameters in DS group **a** Pedicle length(PL) was significantly positively correlated with the percentage of slip **b** Pedicle screw trajectory length(PSTL) was not significantly correlated with the percentage of slip **c** Pedicle width(PW) was significantly negatively correlated with the percentage of slip **d** Pedicle camber angle(PCA) was significantly negatively correlated with the percentage of slip

前滑移可以解释为腰骶关节受到相当大的向前剪切力^[27],结构和功能完整的椎间盘作为主要的结构对抗向前的剪切力防止椎体进一步滑移,并保持脊柱运动节段处于稳定的平衡状态^[28]。假设骨骼成熟后的滑移进展几乎总是与滑移水平上的椎间盘退变有关,随着椎间盘的生化 and 生物力学完整性的丧失,其抵抗前剪切力的能力大大降低,腰骶运动节段变得不稳定,导致椎体滑移的发生或进展。在成人峡部裂性腰椎滑脱中,患者的滑移进展一般存在双侧峡部裂的同时常伴有明显的椎间盘退变^[28,29]。然而,对于退变性腰椎滑脱,除了椎间盘抵抗腰骶向前的剪切力外,完整的椎弓环和后方小关节在防止滑移进展和保持脊柱稳定性方面同样发挥着重要作用。一些研究表明,退变性腰椎滑脱与关节突关节横断位上矢状成角和矢状位上的水平方向有相关性^[17,30-31]。Cho 等^[32]的研究发现 54 例退变性腰椎滑脱患者中有 29 例(53.7%)的关节囊内存在明显积液,认为这是椎间盘变性导致小关节面应力负荷增加引起的关节面软骨退变现象。此外,既往的研究还发现,退变性腰椎滑脱常伴有关节间隙狭窄、关节骨赘形成,关节软骨下侵蚀的程度也更大^[32,33]。可以认为,关节间隙狭窄增加了关节面之间的直接接触面积,关节周围的骨质增生和巨大骨赘形成一定程度上也增加了上下关节突间的接触面积和关节的稳定性,从而增加了关节突抵抗腰骶向前的剪切应力作用,在对抗腰椎滑脱的进展过程中起到了一定作用。

基于上述证据,我们认为关节间隙变窄、关节软骨变性、关节周围骨质增生和骨赘形成是退变性腰椎滑脱的一种自我保护性退变过程,以抵抗滑脱运动节段的向前剪切应力。

椎弓根作为连接椎体和椎弓的重要桥接结构,在退变性腰椎滑脱的进展过程中可能会经历应力重塑。当滑脱发生时,由于滑移椎体存在完整的椎弓环,后方关节突向后的反向牵制力通过椎弓能够一定程度上抵抗脊椎向前滑移的剪切应力。这种反向牵制应力主要包括:(1)下位椎体上关节突关节面对滑移椎体下关节突关节面的向内、向后的对抗牵制力;(2)肥厚性骨质增生和骨赘包裹关节囊对滑移椎体下关节突的限制牵制力。由于关节突长期的异常应力牵制,滑移椎体的椎弓根在力学传导过程中发生了适应性应力骨重塑,表现出椎弓根向内收、变长和变细的形态变

化。在本研究中,我们也证实了退变性腰椎滑脱患者的椎弓根参数(如 PL、PSTL、PW 和 PCA)与椎体滑移的程度有显著相关性。这一发现支持我们的观点和假设,即滑移椎体椎弓根的适应性应力骨重塑发生在退变性腰椎滑脱的进展过程中,而峡部裂性腰椎滑脱患者滑移椎体的椎弓根出现了外展、变短和变粗的形态变化,椎弓根的参数与椎体滑移的程度之间无显著相关性。这是由于此类患者峡部缺陷导致的椎弓环不完整,椎弓根与椎弓环的分离导致滑移进展的过程中滑移椎体的椎弓根几乎没有受到关节突反向应力的影响。因此,椎弓根应力重塑现象在峡部裂性腰椎滑脱的进展过程中并不明显。

综上所述,峡部裂性 L5/S1 滑脱患者 L5 椎弓根表现为“展、短、粗”的形态学改变,而退变性 L5/S1 滑脱患者 L5 椎弓根表现为“收、长、细”的形态学改变。这些形态学改变及差异表明,退变性腰椎滑脱患者滑移椎体的椎弓根作为连接椎骨和完整椎弓环的桥接结构,在滑移进展过程中可能经历了适应性应力骨重塑。对于需要行融合固定手术的腰椎滑脱患者,外科医生需要认真分析不同类型滑脱患者椎弓根在 CT 影像上的特点,选择合适的置钉路径和方向。

4 参考文献

1. Wiltse LL, Newman PH, MacNab I. Classification of spondylolysis and spondylolisthesis[J]. Clin Orthop Relat Res, 1976, 117: 23-29.
2. Madan S, Boeree NR. Outcome of posterior lumbar interbody fusion versus posterolateral fusion for spondylolytic spondylolisthesis[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2002, 27(14): 1536-1542.
3. Nojiri K, Matsumoto M, Chiba K, et al. Comparative assessment of pedicle morphology of the lumbar spine in various degenerative diseases[J]. Surg Radiol Anat, 2005, 27(4): 317-321.
4. Mehta JS, Kochhar S, Harding IJ. A slip above a slip: retrolisthesis of the motion segment above a spondylolytic spondylolisthesis[J]. Eur Spine J, 2012, 21(11): 2128-2133.
5. Bajwa NS, Toy JO, Ahn NU. L5 pedicle length is increased in subjects with spondylolysis: an anatomic study of 1072 cadavers[J]. Clin Orthop Relat Res, 2012, 470(11): 3202-3206.
6. Foreman P, Griessenauer CJ, Watanabe K, et al. L5 spondylolysis/spondylolisthesis: a comprehensive review with an anatomic focus[J]. Childs Nerv Syst, 2013, 29(2): 209-216.
7. Choi HJ, Park JY, Chin DK, et al. Anatomical parameters of fifth lumbar vertebra in L5-S1 spondylolytic spondylolisthesis

- from a surgical point of view[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(9): 1896–1902.
8. Abu-Leil S, Floman Y, Bronstein Y, et al. A morphometric analysis of all lumbar intervertebral discs and vertebral bodies in degenerative spondylolisthesis[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(8): 2535–2545.
9. Olsewski JM, Simmons EH, Kallen FC, et al. Morphometry of the lumbar spine: anatomical perspectives related to transpedicular fixation[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1990, 72(4): 541–549.
10. Vaccaro AR, Rizzolo SJ, Allardycce TJ, et al. Placement of pedicle screws in the thoracic spine. Part I: morphometric analysis of the thoracic vertebrae[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1995, 77(8): 1193–1199.
11. Bourassa-Moreau E, Mac-Thiong JM, Labelle H. Redefining the technique for the radiologic 23 measurement of slip in spondylolisthesis[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2010, 35(14): 1401–1415.
12. Hou S, Hu R, Shi Y. Pedicle morphology of the lower thoracic and lumbar spine in a Chinese population [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1993, 18(13): 1850–1855.
13. Robertson PA, Novotny JE, Grobler LJ. Reliability of axial landmarks for pedicle screw placement in the lower lumbar spine[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1998, 23(1): 60–66.
14. Yu HL, Lei W, Ma ZS, et al. Computer analysis of the safety of using three different pedicular screw insertion points in the lumbar spine in the Chinese population[J]. *Eur Spine J*, 2007, 16(5): 619–623.
15. Fredrickson BE, Baker D, McHolick WJ, et al. The natural history of spondylolysis and spondylolisthesis[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1984, 66(5): 699–707.
16. Kalichman L, Kim DH, Li L, et al. Spondylolysis and spondylolisthesis: prevalence and association with low back pain in the adult community-based population [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2009, 34(2): 199–205.
17. Love TW, Fagan AB, Fraser RD. Degenerative spondylolisthesis: developmental or acquired [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 1999, 81(4): 670–674.
18. Matsunaga S, Takashi S, Morizono Y, et al. Natural history of degenerative spondylolisthesis: pathogenesis and natural course of the slippage[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1990, 15(11): 1204–1210.
19. Le Huec JC, Thompson W, Mohsinaly Y, et al. Sagittal balance of the spine[J]. *Eur Spine J*, 2019, 28(9): 1889–1905.
20. Barrey C, Jund J, Nosedá O, et al. Sagittal balance of the pelvis-spine complex and lumbar degenerative diseases: a comparative study about 85 cases[J]. *Eur Spine J*, 2017, 16(9): 1459–1467.
21. Barrey C, Jund J, Perrin G, et al. Spinopelvic alignment of patients with degenerative spondylolisthesis[J]. *Neurosurgery*, 2007, 61(5): 981–986.
22. Le Huec JC, Faundez A, Dominguez D, et al. Evidence showing the relationship between sagittal balance and clinical outcomes in surgical treatment of degenerative spinal diseases: a literature review[J]. *Int Orthop*, 2015, 39(1): 87–95.
23. Labelle H, Roussouly P, Berthonnaud E, et al. Spondylolisthesis, pelvic incidence, and spinopelvic balance: a correlation study[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2004, 29(18): 2049–2054.
24. Rajnics P, Templier A, Skalli W, et al. The association of sagittal spinal and pelvic parameters in asymptomatic persons and patients with isthmic spondylolisthesis[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2002, 15(1): 24–30.
25. Lim JK, Kim SM. Difference of sagittal spinopelvic alignments between degenerative spondylolisthesis and isthmic spondylolisthesis[J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2013, 53(2): 96–101.
26. Seitsalo S, Osterman K, Hyvarinen H, et al. Progression of spondylolisthesis in children and adolescents: a long-term follow-up of 272 patients[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1991, 16(4): 417–421.
27. Troup JDG. Mechanical factors in spondylolisthesis and spondylolysis[J]. *Clin Orthop*, 1976, 117: 59–67.
28. Floman Y. Progression of lumbosacral isthmic spondylolisthesis in adults[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2000, 25(3): 342–347.
29. Beutler WJ, Fredrickson BE, Murtland A, et al. The natural history of spondylolysis and spondylolisthesis: 45-year follow-up evaluation[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2003, 28(10): 1027–1035.
30. Grobler LJ, Robertson PA, Novotny JE, et al. Decompression for degenerative spondylolisthesis and spinal stenosis at L4–5: the effects on facet joint morphology[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1993, 18(11): 1475–1482.
31. Morimoto M, Higashino K, Manabe H, et al. Age-related changes in axial and sagittal orientation of the facet joints: comparison with changes in degenerative spondylolisthesis [J]. *J Orthop Sci*, 2019, 24(1): 50–56.
32. Cho BY, Murovic JA, Park J. Imaging correlation of the degree of degenerative L4–5 spondylolisthesis with the corresponding amount of facet fluid [J]. *J Neurosurg Spine*, 2009, 11(5): 614–619.
33. Kundakci YE, Unver Dogan N, Guler I. Evaluation of the facet joints with magnetic resonance images in the patients with disc degeneration and spondylolisthesis[J]. *Surg Radiol Anat*, 2018, 40(9): 1063–1075.

(收稿日期:2022-07-09 末次修回日期:2022-11-02)

(英文编审 谭 啸)

(本文编辑 卢庆霞)