

临床论著

后路 L4/5 单节段融合术后椎间高度指数恢复情况
对影像学邻近节段退变的影响

黄培培, 马亚超, 涂志鹏, 解 放, 王 哲, 胡学昱, 罗卓荆

[空军军医大学第一附属医院(西京医院)骨科 710032 西安市]

【摘要】目的:探讨后路 L4/5 单节段融合术后椎间高度指数恢复情况对影像学邻近节段退变(radiographic adjacent segment degeneration, rASD)的影响。**方法:**收集我院自 2008 年 3 月~2014 年 3 月行 L4/5 节段经椎间孔腰椎体间融合(transforaminal lumbar interbody fusion, TLIF)手术病例 354 例,依据纳入和排除标准,共 58 例入组,将其按年龄分为青年组(20~40 岁,16 例,A 组)和中年组(41~60 岁,42 例,B 组)。记录术前及末次随访时的视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)、Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)、腰椎日本骨科学会(Japanese Orthopaedic Association, JOA)评分评估临床疗效。测量术前、术后及末次随访时的 L4/5 椎间高度指数(intervertebral height index, IHI)、脊柱-骨盆参数[腰椎前凸角(lumbar lordosis, LL)、骨盆入射角(pelvic incidence, PI)、骶骨倾斜角(sacral slope, SS)和骨盆倾斜角(pelvic tilt, PT)],分析 rASD 的发生率及其危险因素,并行 Logistic 回归分析。根据术中是否将 IHI 恢复至正常值范围,进一步将病例分为 IHI 恢复组(青年组与中年组分别为 A1、B1 组)和未恢复组(青年组与中年组分别为 A2、B2 组),比较各组 rASD 的发生情况。**结果:**术后平均随访 59.36 个月,两组患者术后临床疗效指标(VAS、ODI 及 JOA)均显著改善($P<0.01$)。末次随访时发生 rASD 者 23 例(39.7%)。A1 组无 rASD 发生(0/6),A2 组共发生 rASD 发生 1 例(1/10, 10%);B1 组发生 5 例(5/16, 31.25%),B2 组发生 17 例(17/26, 65.4%),两组间发生率具有统计学差异($P=0.031$)。rASD 发生的危险因素为年龄、随访时间、术后 L4/5 的 IHI 及术后 LL, Logistic 回归分析发现术后 L4/5 的 IHI 是显著的危险因素($OR=17.1, P<0.001$)。**结论:**后路 L4/5 单节段融合术后,对于 41~60 岁的患者,术中将 IHI 恢复至正常值参考范围,可以减少 rASD 的发生。

【关键词】椎间高度指数;影像学相邻节段退变;单节段;经椎间孔腰椎体间融合

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2022.04.04

中图分类号:R681.5, R619 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2022)-04-0313-06

Effect of intervertebral height index recovery on radiographic degeneration of adjacent segments after posterior L4/5 single-level fusion/HUANG Peipei, MA Yachao, TU Zhipeng, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2022, 32(4): 313-318

【Abstract】 Objectives: To investigate the effect of recovered intervertebral height index on radiographic adjacent segment degeneration(rASD) during posterior L4/5 single-level fusion. **Methods:** A total of 354 patients who underwent L4/5 transforaminal lumbar interbody fusion(TLIF) surgery in our hospital from March 2008 to March 2014 were collected. According to the inclusion and exclusion criteria, a total of 58 patients were enrolled, and they were divided into youth group(20-40 years old, 16 cases, group A) and middle-aged group(41-60 years old, 42 cases, group B) according to age. Visual analogue scale(VAS) score, Oswestry disability index(ODI), and lumbar Japanese Orthopaedic Association(JOA) score were recorded before surgery and at final follow-up. L4/5 intervertebral height index(IHI) and spine-pelvis parameters[lumbar lordosis(LL), pelvic incidence(PI), sacral slope(SS), pelvic tilt(PT)] were measured before and after surgery and at final follow-up,

基金项目:陕西省重点研发计划一般项目(2017SF-021);空军军医大学珠峰工程项目(2018RCFC02)

第一作者简介:男(1986-),医学博士,研究方向:脊柱退行性疾病相关性研究

电话:(029)84775288 E-mail:279654853@qq.com

通讯作者:罗卓荆 E-mail:zjluo@fmmu.edu.cn

共同通讯作者:胡学昱 E-mail:huxueyu@fmmu.edu.cn

and the incidence and risk factors of rASD were analyzed, Logistic regression analysis was performed. According to whether the intervertebral height index was restored to the normal range during operation, patients were further divided into the intervertebral height index recovery group (youth group and middle-aged group were A1 and B1, respectively) and the non-recovery group (youth group and middle-aged group were A2 and B2, respectively), the incidence of rASD in each group was compared. **Results:** The mean postoperative follow-up was 59.36 months, and the postoperative clinical efficacy (VAS, ODI and JOA) was significantly improved in both groups ($P < 0.01$). rASD occurred in 23 patients (39.7%) at final follow-up. No rASD occurred in A1 group (0/6), and 1 case (1/10, 10%) occurred in A2 group. There were 5 cases (5/16, 31.25%) in B1 group and 17 cases (17/26, 65.4%) in B2 group, with a statistically significant difference in incidence between the two groups ($P = 0.031$). The risk factors for rASD were age, follow-up time, postoperative L4/5 IHI and postoperative LL. Logistic regression analysis showed that postoperative L4/5 IHI was a significant risk factor ($OR = 17.1$, $P < 0.001$). **Conclusions:** In patients aged 40–60 years, intraoperative restoration of the IHI to the normal reference range after posterior L4/5 single-level fusion may reduce the incidence of rASD.

[Key words] Intervertebral height index; Radiographic adjacent segment degeneration; Single segment; Transforaminal lumbar interbody fusion

[Author's address] Department of Orthopedics, the First Affiliated Hospital of Air Force Military Medical University (Xijing Hospital), Xi'an, 710032, China

有研究表明,椎间融合术中腰椎前凸角和椎间高度的恢复有助于改善临床疗效,还可以减少影像学相邻节段的退变(radiographic adjacent segment degeneration, rASD)的发生^[1-5]。能否恢复椎间高度是衡量手术效果的指标之一^[6],而术中恢复椎间高度的标准、恢复到什么程度等一系列问题尚未完全得到解决。

测量椎间高度的方法有很多,比如前后椎间高度法、平均椎间高度法和盘椎比值法。这些方法都容易受到患者身高、体重、体位等个体化因素的影响。我们前期研究发现,椎间高度指数^[7](intervertebral height index, IHI) [$IHI = (\text{前椎间隙高度} + \text{后椎间高度}) / (\text{椎间隙上位椎体深度} + \text{椎间隙下位椎体深度})$] 不受体位、体重、身高等因素的影响,可以个体化地反映椎间高度^[8]。我们前期研究^[9,10]测量了 20~60 岁不同年龄段影像学正常的 L4/5 节段 IHI,建立了影像学正常人群 L4/5 节段 IHI 参考值范围。腰椎术后相邻节段退变(adjacent segment degeneration, ASD)的发生与年龄、手术方式、手术节段以及医源性因素等多因素相关^[11-13],为减少年龄、手术节段、手术方式对研究结果的偏倚,本研究将研究对象限制在 20~60 岁的后路 L4/5 单节段融合术后恢复 IHI 对 rASD 的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料

收集我院自 2008 年 3 月~2014 年 6 月收治的行 L4/5 节段经椎间孔腰椎体间融合(transforaminal lumbar interbody fusion, TLIF)手术患者 354 例(手术由经验丰富同一年资的术者完成);并根据纳入和排除标准筛选病例。

纳入标准:年龄在 20~60 岁,随访时间不少于 3 年;L4/5 因退行性疾病(腰椎间盘突出症、腰椎管狭窄症、腰椎退行性滑脱症)明显腰痛或者合并节段失稳行 L4/5 单节段融合手术;术前、术后 3 个月及末次随访有完整的影像学资料;L4/5 相邻节段无明显退变(MRI modified Pfirrmann 分级 $\leq$ III 级)。排除标准:既往有腰椎手术病史;患有精神疾病,不配合治疗者。

共 58 例患者进入研究,依照年龄分为 A 组(20~40 岁,青年组)和 B 组(41~60 岁,中年组)。参照正常 L4/5 椎间高度指数参考值范围^[9,10](青年组为 0.33 ± 0.04 ,中年组为 0.34 ± 0.03),根据术中是否将 IHI 恢复至正常值范围,将两组患者再次分为四个亚组:A1 组,青年组术后椎间高度指数恢复至正常值范围的病例;A2 组,青年组术后椎间高度指数恢复未复至正常值范围的病例;B1 组,中年组术后椎间高度指数恢复至正常值范围的病例;B2 组,中年组术后椎间高度指数恢复未复至正常值范围的病例。

1.2 手术方法

全部行 TLIF 手术,具体方法如下:全麻后患

者取俯卧位,沿定位好的节段选择正中纵向切口,分离肌肉,显露相应节段上下椎板和相应关节突。透视位置无误后拧入椎弓根螺钉。咬骨钳小心咬除手术侧下关节突、椎板进入椎管。切除下关节突及 1/3 左右的上关节突,暴露病侧椎管,视椎管狭窄程度咬除上下椎板边缘,咬除椎管背侧黄韧带,暴露硬膜囊外侧缘,神经根管减压,摘除突出的髓核,适当撑开椎间隙,刮除椎体终板软骨,备植骨融合使用。将取出的椎板、关节突等咬成颗粒状并填塞入椎间隙,所用碎骨均为棘突或椎板自体骨,置入椎间融合器。双侧病变可扩大减压范围,扩大神经根管。放置负压引流管,逐层缝合切口。术后处理:术后应用抗生素治 1~3d。伤口放置负压引流管,24h 引流量<50ml 时拔除并行直腿抬高练习。术后第 3 天佩戴宽腰围下地活动,腰围佩戴时间为 3 个月。

1.3 观测指标

所有病例均回院随访,由 2 位专业脊柱外科医师完成相应的影像学检查及临床疗效评估。

采用疼痛视觉模拟评分法 (visual analogue scale, VAS)、Oswestry 功能障碍指数 (Oswestry disability index, ODI) 以及日本骨科学会 (Japanese Orthopaedic Association, JOA) 评分 (1~29 分) 对患者术前、术后及末次随访时腰腿痛等临床指标进行评定。

术前、术后及末次随访时患者行腰椎正侧位 X 线片,站立位脊柱全长正侧位 X 线片,末次随访时行腰椎 MRI 检查。在腰椎正侧位 X 线片上测量 L4/5 的 IHI,测量方法如图 1。在站立位脊柱全长正侧位片上测量腰椎前凸角 (lumbar lordosis, LL)、骨盆入射角 (pelvic incidence, PI)、骶骨倾斜角 (sacral slope, SS) 和骨盆倾斜角 (pelvic tilt, PT)。

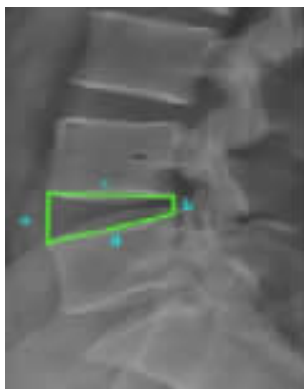


图 1 椎间隙高度指数测量方法:椎间隙高度指数 (IHI)=(a+b)/(c+d), a 为上下椎体前缘点连线之间的高度, b 为上下椎体后缘点连线之间的高度, c 为上位椎体下终板前后宽度, d 为下位椎体上终板前后宽度

Figure 1 Measurement of intervertebral height index: Intervertebral space height index (IHI)=(a+b)/(c+d), a is the height between the connections of the anterior edge points of the upper and lower vertebral bodies, b is the height between the connections of the posterior edge points of the upper and lower vertebral bodies, c is the anterior to posterior width of the inferior endplate of the upper vertebral bodies, and d is anterior to posterior width of the superior endplate of the lower vertebral bodies

在末次随访 MRI 片上评估邻近节段退变情况。分别由 2 名经过培训的放射科医师利用 Surgimap (2.1.8) 软件测量。根据腰椎 MRI 表现,相邻节段椎间隙 MRI modified Pfirrmann 椎间盘信号 I、II 级为正常椎间盘, III、IV、V 级为退变椎间盘,椎间盘信号由术前 I、II 级变为术后 III 级及以上定义为退变,或术后退变椎间盘等级加重 1 级或以上亦定义为 rASD^[14,15]。分析 rASD 的发生率及其危险因素,并行 Logistic 回归分析。

1.4 统计方法

采用统计软件 SPSS 19.0 对数据分析,计量资料采用重复测量方差分析 (Sphericity Assumed) 或者 t 检验,计数资料采用 U 检验,分类变量采用卡方检验。评估组间和组内可靠性检验采用 Intraclass correlations (ICCs),由两位经验丰富的放射科医生采用单盲法在 2 周内分别评估和测量数据 2 次,由第三人进行数据统计分析。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一致性检测

测量者前后 (组内) 一致性均大于 0.90,测量者间 (组间) 一致性均大于 0.89,总体数据可靠,具有一致性。

2.2 一般资料统计

纳入的 58 例患者总体年龄平均为 46.5 岁 (22~54 岁)。A 组 16 例,其中男性 7 例,女性 9 例,进一步分为 A1 组 6 例, A2 组 10 例; B 组 42 例,其中男性 23 例,女性 19 例,进一步分为 B1 组 16 例, B2 组 26 例。平均随访时间 59.4 个月 (36~93 个月),平均手术时间为 120.3min,出血量为 219.7ml,随访时间、手术时间以及出血量各年龄组间无统计学差异 (表 1)。

2.3 临床疗效评估

所有患者手术成功,无严重并发症发生,无再次手术患者,腰椎 JOA、ODI 和 VAS 评分在末次随访时较术前显著改善(表 2)。

2.4 rASD 评估结果及危险因素分析

末次随访时共发生 23 例 rASD, 发生率 39.7%, 其中青年组 1 例(6.25%), 中年组 22 例(52.4%)。rASD 发生的危险因素统计分析结果见表 3。

表 1 一般资料

Table 1 General information

	青年组(16 例) Youth Group (n=16)	中年组(42 例) Middle-aged group(n=42)	P 值 P value
年龄(岁) Age(y)	30.9±8.6	45.3±6.3	<0.001
性别(男:女) Gender(M:F)	7:9	23:19	0.453
手术时间(min) Operation time	137.3±47.8	130.0±57.9	0.655
出血量(ml) Blood loss	274.1±63.6	254.7±77.1	0.360
随访时间(月) Follow-up time(m)	58.7±8.8	59.7±7.2	0.373

表 2 两组术中和末次随访时的临床指标比较

Table 2 Comparison of clinical indicators at preoperative and final follow-up of two groups

	青年组(16 例) Youth group(n=16)	中年组(42 例) Middle-aged group (n=42)
VAS 腰痛(分) VAS back pain		
术前 Pre-operation	4.7±2.6	5.6±2.0
末次随访 Final follow-up	2.8±1.7 ^①	2.9±1.4 ^①
VAS 腿痛(分) VAS leg pain		
术前 Pre-operation	5.2±2.0	6.1±1.9
末次随访 Final follow-up	0.12±0.33 ^①	0.13±0.38 ^①
Oswestry 功能障碍指数(%) ODI		
术前 Pre-operation	62.4±12.06	56.77±12.09
末次随访 Final follow-up	20.9±8.3 ^①	24.6±6.9 ^①
日本骨科学会评分(分) JOA score		
术前 Pre-operation	8.9±3.75	10.40±3.91
末次随访 Final follow-up	24.8±2.87 ^①	26.1±2.22 ^①

注:①与术前比较 $P<0.01$

Note: ①Compared with pre-operation, $P<0.01$

由表 3 可见,rASD 的危险因素为年龄、随访时间、术后 L4/5 的 IHI 及术后的 LL, 对其进行 Logistic 回归分析,发现在 rASD 组,术后 L4/5 的 IHI 是显著的危险因素,其 OR 值明显大于年龄、随访时间、LL 的 OR 值,wald 检验只有术后 L4/5 的 IHI 有统计学意义(表 4)。

2.5 恢复椎间高度指数对 rASD 的影响

A1 组无 rASD 发生,A2 组 rASD 发生 1 例(10%), 组间比较无统计学差异;B1 组发生 5 例

表 3 rASD 发生的危险因素

Table 3 Risk factors for rASD

	无 rASD 组 (n=35) No-rASD group	rASD 组 (n=23) rASD group	P 值 P value
年龄(岁) Age	43.3±7.7	49.9±6.1	0.017
性别(男:女) Gender(M:F)	18:13	4:7	0.216
随访时间(m) Follow-up time	44.1±7.5	57.2±9.0	0.007
BMI(kg/m ²)	25.8±5.4	26.8±3.3	0.585
LL(°)			
术前 Pre-operation	45.6±8.7	43.3±8.1	0.397
术后 Post-operation	49.1±7.8	43.1±7.0	0.028
末次随访 Final follow-up	49.7±8.8	42.4±9.2	0.030
SS(°)			
术前 Pre-operation	30.4±8.3	29.9±7.9	0.868
术后 Post-operation	34.2±8.7	28.6±4.7	0.061
末次随访 Final follow-up	33.9±7.5	29.6±6.4	0.214
PT(°)			
术前 Pre-operation	20.1±9.2	23.2±10.9	0.490
术后 Post-operation	18.5±8.3	20.2±9.3	0.670
末次随访 Final follow-up	18.1±7.4	21.8±12.1	0.250
PI(°)			
术前 Pre-operation	50.4±10.4	51.3±12.3	0.859
术后 Post-operation	49.9±11.5	52.8±10.9	0.587
末次随访 Final follow-up	49.3±10.5	54.8±10.7	0.160
椎间高度指数(IHI)			
术前 Pre-operation	0.28±0.04	0.26±0.04	0.139
术后 Post-operation	0.33±0.04	0.27±0.02	<0.001
末次随访 Final follow-up	0.32±0.04	0.252±0.02	<0.001

表 4 Logistic 回归分析
Table 4 Logistic regression analysis

	B	S.E	Wald χ^2	P	OR	OR 的 95% 置信区间 95% confidence interval for OR	
						下限 Lower limit	上限 Upper limit
椎间高度指数 IHI	4.19	1.45	16.21	0.001	17.1	1.52	34.77
年龄 Age	0.39	3.03	0.05	0.79	1.70	0.023	18.24
LL	0.85	1.86	0.35	0.66	2.93	0.120	27.70
随访时间 Follow-up time	1.08	1.41	0.59	0.44	2.96	0.187	46.85
常量 Constant	-4.57	1.63	13.82	0.001	0.01		

(31.25%), B2 组发生 17 例(65.4%), 两组间比较具有统计学差异($P=0.031$, 表 5)。

3 讨论

腰椎术后 ASD 的发生与年龄、手术方式、手术节段以及医源性因素等多因素相关^[1,3,5,11,16], 前期本课题组研究测量了年龄段在 20~60 岁的影像学正常的 L4/5 节段的椎间高度和椎间高度指数, 并且发现, 椎间高度指数受体重、身高、性别、体位等因素影响较小, 可以作为反应椎间高度的个体化指标^[8-10]。为减少年龄、手术节段、手术方式对研究结果的偏倚, 本研究将研究对象限制在 20~60 岁的后路 L4/5 单节段融合术患者。

文献报道, rASD 的发病率在 8%~100% 之间, 术后 5 年 rASD 发生率高达 49%^[17,18], 本研究显示 41~60 岁人群 rASD 的发生率约 52.4%。而在 20~40 岁的人群, 发生率为 6.25%, 这些结果与文献报道基本一致, 但青年组 rASD 发生率较文献报道偏低, 可能与本研究把年龄局限在一定范围有关。而 60 岁以上者未纳入本研究, 可能是与文献报道不符的原因之一。

ASD 的发生有很多因素, 主要分为自身因素和医源性的因素。有研究指出, 初次手术时的年龄是 ASD 的危险因素^[11](重要的危险因素之一), 这可能归因于老年人脊柱对融合术后生物力学变化的适应能力降低, 或归因于老年人持续的椎间盘退变。Aota 等^[19]研究发现, 55 岁以上的患者脊柱融合术后相邻节段不稳的发生率明显更高, 随访时间越长 ASD 发生率越高, 本研究与文献报道一致, 发现年龄、随访时间、术后 L4/5 的 IHI、术后的 LL 是 ASD 发生的危险因素。脊柱融合术后矢状失衡被认为是生物力学改变和 ASD 的原因^[20], 脊柱矢状序列的各种参数可以影响 ASD 的发生率。

表 5 各组 rASD 发生情况

Table 5 Occurrence of rASD in every group

	rASD	No-rASD	总计 Total	OR	P
A1 组 A1 group	0	6	6	0.640	0.424
A2 组 A2 group	1	9	10		
B1 组 B1 group	5	11	16	4.627	0.031
B2 组 B2 group	17	9	26		

PI 与 LL 不匹配时, 术后脊柱失衡发生率增大, 进而 ASD 的发生也会增加。郑国权等^[21]研究下腰椎前凸角(LL)与 ASD 的关系发现, 过大或者过小的 LL 都会影响 ASD 的发生, 进一步提示术中需重建一个合适的 LL。这与 Kim 等^[22]的研究结果一致。他们比较 PLIF 和 PLF 术前术后影像学参数和临床疗效变化, 发现随访时手术节段椎间高度、椎间角度以及腰椎前凸角显著增加, 随访时 ASD 的发生率与腰椎前凸角、椎间角和椎间高度显著相关, 提示合适的腰椎前凸角和合适的椎间高度可以减少 ASD 的发生。

对危险因素进行多元回归分析, 发现在年龄、随访时间、术后 L4/5 的 IHI、术后 LL 中, 仅术后 L4/5 的 IHI 是独立危险因素, 提示在本组病例中, 去除年龄、随访时间和术后 LL 混杂因素后, 术后 IHI 与 ASD 的发生密切相关。在 TLIF 中, 想要获得较好 LL 的关键在于恢复手术节段的椎间高度, 也解释了在去除 LL 的干扰后, 反映椎间高度的 IHI 与 ASD 的发生密切相关。

我们前期研究了影像学正常 IHI 的正常参考值范围^[9,10], 结合前期研究结果, 将青年组和中年组的病例各分为两组, 一组为术后恢复椎间高度指数至同年龄段正常参考值的病例, 另一组为术

中椎间高度指数未恢复至同年龄段正常参考值的病例,通过随访我们发现,在青年组,无论术中是否恢复至正常 IHI,仅发生 1 例 rASD,40 岁以下病例术中是否恢复 IHI 对术后 rASD 的发生影响较小。而在中年组,术中恢复至正常 IHI 的病例术后发生 rASD 几率(31.25%)明显低于术中未恢复至正常 IHI 的病例(65.4%),提示术中恢复 IHI 至正常参考值范围可以减少 ASD 的发生。

本研究也存在一定的不足:①由于前期确定的是 20~60 岁年龄段 IHI 的参考值,本研究对象年龄范围局限在 22~54 岁,未将老年患者纳入研究范围;②在椎间高度及椎间高度指数的测量中,由于骨赘的存在或者 X 线片的质量,可能会存在一定的测量偏倚。

4 参考文献

- Okuda S, Yamashita T, Matsumoto T, et al. Adjacent segment disease after posterior lumbar interbody fusion: a case series of 1000 patients[J]. *Global Spine J*, 2018, 8(7): 722-727.
- Millemcamps MP, Czereminski JTB, Mathieu APP, et al. Behavioral signs of axial low back pain and motor impairment correlate with the severity of intervertebral disc degeneration in a mouse model[J]. *Spine J*, 2015, 15(12): 2524-2537.
- Aono H, Takenaka S, Tobimatsu H, et al. Adjacent-segment disease after L3-4 posterior lumbar interbody fusion: does L3-4 fusion have cranial adjacent-segment degeneration similar to that after L4-5 fusion[J]. *J Neurosurg Spine*, 2020, 1-6. doi: 10.3171/2020.3.SPINE20122. Online ahead of print.
- Kepler CK, Rihn JA, Radcliff KE, et al. Restoration of lordosis and disk height after single-level transforaminal lumbar interbody fusion[J]. *Orthopaedic Surgery*, 2012, 4(1): 15-20.
- 焦海斌, 胡学昱, 黄培培, 等. L4/5 单节段融合对不同腰椎 Roussouly 分型腰椎骨盆矢状位参数和临床疗效的影响[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2015, 25(5): 405-414.
- Dabbs VM, Dabbs LG. Correlation between disc height narrowing and low-back pain[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1990, 15(12): 1366-1369.
- Tibrewal SB, Percy MJ. Lumbar intervertebral disc heights in normal subjects and patients with disc herniation [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1985, 10(5): 452-454.
- Yang Z, Xie F, Zhang J, et al. An analysis of radiographic parameters comparison between lumbar spine latericumbent and full-length lateral standing radiographs[J]. *Spine J*, 2017, 17(12): 1812-1818.
- 黄培培. 腰椎单节段融合术中椎间高度、椎间高度指数对临床疗效及邻近节段退变影响的研究[D]. 第四军医大学, 2016.
- 黄培培, 马亚超, 涂志鹏, 等. L4/5 椎间隙影像测量与性别和年龄的相关分析[J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29(6): 536-539.
- Hashimoto K, Aizawa T, Kanno H, et al. Adjacent segment degeneration after fusion spinal surgery: a systematic review [J]. *Int Orthop*, 2018, 43(4): 987-993.
- Park P, Garton HJ, Gala VC, et al. Adjacent segment disease after lumbar or lumbosacral fusion: review of the literature[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2004, 29(17): 1938-1944.
- Harrop JS, Youssef JA, Maltenfort M, et al. Lumbar adjacent segment degeneration and disease after arthrodesis and total disc arthroplasty[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2008, 33(15): 1701-1707.
- Pfirrmann CWA, Metzendorf A, Zanetti M, et al. Magnetic resonance classification of lumbar intervertebral disc degeneration[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2001, 26(17): 1873-1878.
- 朱迪, 李危石, 陈仲强, 等. 腰椎管狭窄减压减压固定融合术后远期疗效及其影响因素分析[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2013, 23(10): 865-871.
- Gautschi OP, Corniola MV, Schaller K. Risk of recurrence and postoperative intervertebral disc degeneration after lumbar intervertebral disc operation: is an anulus closure prosthesis the solution[J]. *Praxis(Bern 1994)*, 2014, 103(13): 775-779.
- Okuda S, Nagamoto Y, Matsumoto T, et al. Adjacent segment disease after single segment posterior lumbar interbody fusion for degenerative spondylolisthesis: minimum 10 years follow-up[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2018, 43(23): E1384-E1388.
- Xia X, Chen H, Cheng H. Prevalence of adjacent segment degeneration after spine surgery: a systematic review and meta-analysis[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2013, 38(7): 597-608.
- Aota Y, Kumano K, Hirabayashi S. Postfusion instability at the adjacent segments after rigid pedicle screw fixation for degenerative lumbar spinal disorders [M]. Hagerstown, MD: Lippincott Williams and Wilkins, 1995. 464-473.
- Kumar MN, Baklanov A, Chopin D. Correlation between sagittal plane changes and adjacent segment degeneration following lumbar spine fusion[J]. *Eur Spine J*, 2001, 10(4): 314-319.
- Zheng G, Wang C, Wang T, et al. Relationship between postoperative lordosis distribution index and adjacent segment disease following L4-S1 posterior lumbar interbody fusion[J]. *J Orthop Surg Res*, 2020, 15(1): 129.
- Kim K, Lee S, Lee Y, et al. Clinical outcomes of 36 fusion methods through the posterior approach in the lumbar spine [J]. *Spine*, 2006, 31(12): 1351-1357.

(收稿日期:2021-09-28 末次修回日期:2021-12-27)

(英文编审 谭 啸)

(本文编辑 彭向峰)