

临床论著

微创经椎间孔腰椎椎体间融合术中上位
关节突关节侵扰的危险因素分析

赵钺伟, 原所茂, 刘武博, 谭环宇, 贾 军, 田永昊, 刘新宇

(山东大学齐鲁医院骨科 250012 济南市)

【摘要】目的:研究微创经椎间孔腰椎椎体间融合术(minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion, MIS-TLIF)中经皮椎弓根螺钉对上位关节突关节侵扰的发生情况,分析其相关危险因素。**方法:**回顾性分析我院 2012~2018 年行 MIS-TLIF 治疗的腰椎退行性疾病患者 91 例,其中男性 34 例,女性 57 例,年龄 51.1 ± 11.8 岁(23~73 岁),所有均采用经皮置钉的方式置入椎弓根螺钉,术后 3 个月均行腰椎 CT 三维重建,并在轴位、矢状位、冠状位上评价关节突关节侵扰程度并分级:0 级,无侵扰,螺钉不在关节突关节上,且未进入关节突关节面;1 级,轻度侵扰,螺钉位于上关节突关节上,但未进入关节突关节;2 级,中度侵扰,螺钉经过关节突关节面 $\leq 1\text{mm}$;3 级,重度侵扰,螺钉经过关节突关节面。收集患者一般情况[年龄、性别、体质指数(body mass index, BMI)、术前诊断、手术节段、关节突关节退变程度],在术前、术后腰椎 CT 及正侧位 X 线片上测量:解剖相关因素(关节突关节轴径、矢状径、冠状径、关节突关节角、腰椎前凸角、腰椎前凸指数、椎板深度)、置钉相关因素(螺钉内倾角、螺钉尾倾角、螺帽-上关节突间距、近端连接棒露出距离、连接棒预弯),并分析潜在侵扰危险因素。**结果:**MIS-TLIF 经皮置钉造成关节突关节侵扰的椎弓根螺钉总计 62 枚,轻度侵扰螺钉 35 枚,中、重度程度侵扰螺钉 27 枚。患者一般情况分析显示, $\text{BMI} \geq 30\text{kg/m}^2$ 、L5 为上位置钉节段作为关节突关节侵扰的独立危险因素($P > 0.05$);年龄、性别、术前诊断、关节突关节退变程度与侵扰无关($P > 0.05$)。解剖因素分析显示,关节突关节轴径、矢状径、冠状径均 $\geq 12\text{mm}$ 或关节突关节角 $\geq 40^\circ$ 时,侵扰率显著升高($P < 0.05$);关节突关节侵扰组与非侵扰组在腰椎前凸角、腰椎前凸指数及椎板深度上差异无统计学意义($P > 0.05$)。置钉相关因素分析显示,侵扰组较非侵扰组存在较小的螺钉内倾角、螺帽-上关节突间距($P < 0.05$),而在螺钉尾倾角、近端连接棒露出距离、连接棒预弯上组间差异无统计学意义($P > 0.05$)。**结论:**对于 $\text{BMI} \geq 30\text{kg/m}^2$ 和 L5 为上位置钉节段的患者,应充分考虑经皮置钉造成关节突关节侵扰的高风险性,且关节突关节肥大(轴径、矢状径、冠状径均 $\geq 12\text{mm}$ 时)、冠状走行(关节突关节角 $\geq 40^\circ$)时更易出现上位节段侵扰。

【关键词】 关节突关节侵扰;危险因素;关节突关节肥大;关节突关节角

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2020.01.06

中图分类号:R687.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2020)-01-0036-09

Risk factors of superior facet joint violation in minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion/ZHAO Yiwei, YUAN Suomao, LIU Wubo, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2020, 30(1): 36-44

【Abstract】 Objectives: To explore the incidence of superior facet joint violation(FJV) during lumbar percutaneous pedicle screw insertion in minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion(MIS-TLIF) surgery, and the possible risk factors of FJV. **Methods:** A retrospective study was performed on 91 patients with lumbar degenerative diseases treated with MIS-TLIF from 2012 to 2018, including 34 males and 57 females with an average age of 51.1 ± 11.8 years(ranging from 23 to 73 years). All patients underwent three-dimensional CT reconstruction of lumbar spine, and FJV was evaluated and graded on axial, sagittal and coronal plane of CT: grade 0, no encroachment, screw not in the facets or the articular surface; grade 1, mild encroachment, screw was in the superior facet but did not enter the articular surface; grade 2, moderate encroachment, screw pen-

基金项目:国家自然科学基金资助(编号:81874022)

第一作者简介:男(1995-),医学硕士,研究方向:脊柱外科

电话:(0531)82166541 E-mail:zywspine@163.com

通讯作者:刘新宇 E-mail:newyuliu@163.com

etrated the articular surface $\leq 1\text{mm}$; grade 3, severe encroachment, screw entered the articular surface of the facet. Possible risk factors were collected and analyzed, including general condition of patients, the anatomical characteristics of facet joint(FJ)[axial, sagittal, coronal diameter of FJ, facet angle(FA), lumbar lordosis angle(LLA), lumbar lordosis index(LLI), depth of lamina], and the surgical factors(pedicle screw angle, screw-superior FJ distance, cranial angle, proximal rod length, rod contouring). **Results:** A total of 62 pedicle screws resulted in FJV during percutaneous pedicle screw placement in MIS-TLIF in which, 35 with mild violation, 27 with moderate and severe violation. The Logistic regression analysis revealed that, $\text{BMI} \geq 30\text{kg/m}^2$, pedicle screw placement at L5 were independent risk factors of FJV. However, age, gender, preoperative diagnosis and FJD were not correlated with FJV. Anatomical factors showed that the incidence of FJV significantly increased when axial, sagittal, coronal diameter of facet joint were all $\geq 12\text{mm}$ ($P < 0.05$) or either the $\text{FA} \geq 40^\circ$ ($P < 0.05$). There was no statistical difference in LLA, LLI and depth of lamina between the FJV group and the non-FJV group ($P > 0.05$). The FJV group had a smaller pedicle screw angle and screw-superior FJ distance than the non-FJV group ($P > 0.05$), while there was no statistical difference between the groups in cranial angle, proximal rod length and rod contouring ($P > 0.05$). **Conclusions:** $\text{BMI} \geq 30\text{kg/m}^2$, pedicle screw placement at L5 were independent risk factors of FJV. FJV were more likely to occur in patients with a hypertrophic facet joint (axial, sagittal, coronal diameters $\geq 12\text{mm}$) or acronally oriented facet joint (facet angle $\geq 40^\circ$).

[Key words] Facet joint violation; Risk factors; Hypertrophic facet joint; Facet angle

[Author's address] Department of Orthopedic Surgery, Qilu Hospital of Shandong University, Ji'nan, 250012, China

相邻节段退变 (adjacent segment degeneration, ASD) 作为腰椎融合术远期并发症逐渐受到人们的重视。脊柱融合后上位相邻节段负荷和活度改变,可引起影像学相邻节段退变表现,部分患者可出现临床症状,且出现症状性 ASD 的患者十年内再手术率为 36.1%^[1]。腰椎椎弓根螺钉置入对近端相邻节段关节突关节侵扰 (facet joint violation, FJV) 是引起 ASD 的危险因素之一,生物力学研究表明^[2,3],椎弓根螺钉损伤上位关节突关节,会导致轴向旋转角度增大,关节突关节压力和椎间盘内压力增加,从而影响上位相邻节段稳定性,成为 ASD 的危险因素之一^[4]。微创经椎间孔腰椎椎体间融合术 (minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion, MIS-TLIF) 相较于开放 TLIF 具备降低术中出血量、避免软组织和肌肉创伤,减轻术后疼痛等优势受到广泛应用^[5],但由于其非直视置钉,可能更容易侵扰关节突关节。Park 等^[6]首次报道 MIS-TLIF 经皮置钉对关节突关节侵扰的影响,文章表明即使术中严格选择进钉点,关节突关节侵扰率仍然达到 31.5% (58/184)。后续文献^[7-9]由于采用手术方式及关节突关节侵扰定义标准不同,侵扰率的报道存在较大差异。目前对于关节突关节侵扰的危险因素分析集中在患者一般情况上,且对于年龄、性别、肥胖等结论存在一定程度争议^[6,10,11]。关节突关节退变程度、大小、走行方向等解剖结构存在特异性,尽管

有学者进行尸体解剖研究^[12]后提出,关节突关节肥厚可能是高侵扰率的危险因素,但目前尚无研究定量测量关节突关节大小并研究其对关节突关节侵扰的影响。MIS-TLIF 手术各个环节包括置钉点的选择、螺钉置入角度、深度、连接棒处理等均有可能造成关节突关节侵扰。本研究回顾性分析了 91 例行 MIS-TLIF 的患者,探究经皮椎弓根螺钉上位关节突关节侵扰率及侵扰程度;从一般情况、解剖因素、置钉因素三方面分析关节突关节侵扰的危险因素。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析 2012~2018 年于我院行 MIS-TLIF 手术治疗的单节段退行性腰腿痛患者。所有患者均通过详细询问病史、体格检查、影像学检查获得明确诊断。

纳入标准:(1)行 MIS-TLIF 经皮置钉的单节段腰椎退行性病变的患者;(2)影像学表现为典型的单节段腰椎滑脱(限 I、II 度)、腰椎管狭窄或复发性腰椎间盘突出;(3)手术节段为 L1~S1。

排除标准:(1)既往有腰部手术、骨折、肿瘤、感染史者;(2)合并严重的退行性侧凸者;(3)术前影像学资料及随访资料缺失者。

共筛选出符合条件的患者 91 例。男 34 例,女 57 例,年龄 23~73 岁,平均 51.1 ± 11.8 岁。腰椎滑

脱症(I、II度)32例,腰椎管狭窄症53例,复发性腰椎间盘突出症6例,随访时间为 50.2 ± 93.2 个月(6~64个月)。共置入上位节段经皮微创椎弓根螺钉182枚。收集患者一般情况资料:年龄、性别、体质指数(body mass index, BMI)、术前诊断、手术节段、关节突关节退变程度。

1.2 手术方法

经皮微创椎弓根螺钉置入方法以L4/5节段为例。根据术前透视标记L4及L5椎弓根位置,C型臂X线机下行后前位透视,定位L4椎弓根外缘9点钟(3点钟)方向,透视下Jamshidi套管针穿刺,后前位透视穿刺针头到达椎弓根内侧壁后行侧位透视,透视证实穿刺针头已经安全穿过椎弓根到达椎体后缘,取下针芯,置入导针。同法置入双侧L5椎弓根导针。于左侧L4、L5导针之间切开皮肤长约2.5cm,逐层切开皮下及腰背筋膜,逐级扩张并置入微创通道,切除通道内少量的软组织后显露L4/5关节突关节。切除关节突关节,切除增生肥厚黄韧带并显露椎间盘。合并中央椎管狭窄者可在手术侧椎管减压完毕后,倾斜微创通道,切除对侧肥厚黄韧带并潜行扩大骨性椎管。用椎间绞刀、刮匙逐步切除椎间盘组织及上下椎体软骨板。椎间隙内植入自体、异体骨粒及椎间融合器。顺导针置入合适直径及长度椎弓根钉及连接棒。冲洗,置引流条1根,逐层缝合。

1.3 关节突关节退变程度和侵扰的评价

两名有经验的脊柱外科医生进行独立评估。术前CT评估关节突关节退变程度,按照Weishaupt标准^[13]进行分级:0级,正常;1级,轻度退变;2级,中度退变;3级,重度退变(表1)。脊柱内固定术中椎弓根螺钉置入时对上位非融合节段关节突关节的损伤,称为关节突关节侵扰。所有患者均在术后3个月腰椎CT三维重建冠状位、矢状位、轴位上评估关节突关节侵扰,参考Babu等的^[10]研究,根据不同的侵扰程度分为四级:0级,螺钉不在关节突关节上,并且也未进入关节突关节面;1级,螺钉位于上关节突关节上,但未进入关节突关节;2级,螺钉经过关节突关节面 ≤ 1 mm;3级,螺钉经过关节突关节面(图1)。并分析患者一般情况(年龄、性别、BMI、术前诊断、手术节段、关节突关节退变程度)对关节突关节侵扰的影响。

1.4 影像学相关参数测量

两名有经验的脊柱外科医生测量影像学参数,每组数据测量三次,取平均值。对于角度测量相差超过 2° ,长度测量相差超过1mm的资料,进行再次测量,最终由高年资医师确定该数据测量结果,以减少误差。术后腰椎CT三维重建上测量以下影像学指标,测量精度设定为0.1mm及 0.1° 。(1)关节突关节角:横截面上双侧关节突关节与椎体后缘中垂线的夹角,测量平面选取椎弓根水平;(2)椎板深度:矢状面上椎板背侧皮质骨到皮肤的距离;(3)螺钉内倾角:横截面上双侧螺钉与椎体中垂线的夹角,测量层面选取椎弓根水平,可清楚显示椎弓根及螺钉轨迹的层面;(4)螺钉尾倾角:矢状面上双侧椎弓根螺钉与水平线的夹角,螺钉尾倾为正值,头倾为负值,于矢状面上连续薄层扫描选取清楚显示螺钉轨迹层面;(5)螺帽-上关节突间距:轴位上连续薄层扫描,选取螺帽到上关节突关节背侧皮质骨的最短距离^[14];(6)近端链接棒露出距离:矢状面上连续薄层扫描,选取近端连接棒高于螺帽上缘的最大露出距离^[14](图2)。

关节突关节大小测量方法:在薄层CT三维重建资料中选取关节突关节显示最清晰的骨窗层面,选取冠状位、矢状位、轴位关节突关节径线重建图像进行观察并测量,且每条径线指标测量3次取平均值(图3)。

腰椎正侧位X线片上测量内容包括:腰椎前

表1 Weishaupt 关节突关节退变程度分级标准

Table 1 Criteria for grading degeneration of the facet joints

标准 Criteria	
0级 Grade 0	关节间隙正常(2~4mm) Normal facet joint space(2~4mm)
1级 Grade 1	关节间隙变窄(<2mm)或出现小的骨赘或轻微增生肥大 Narrowing of the facet joint space(<2mm) or presence of a small number of osteophytes or mild hypertrophy of articular process
2级 Grade 2	关节间隙变窄或出现中度骨赘,或中度增生肥大,或关节下骨破坏 Narrowing of the facet joint space or presence of a moderate number of osteophytes or moderate hypertrophy of the articular process or mild subarticular bone erosions
3级 Grade 3	关节间隙变窄或出现重度骨赘,或重度增生肥大,或重度关节下骨破坏,或软骨下骨囊变 Narrowing of the facet joint space or presence of a large number of osteophytes or severe hypertrophy of the articular process or severe subarticular bone erosions or subchondral cysts

凸角, L1 上终板切线与 S1 上终板切线之间的夹角; 腰椎前凸指数, T12 椎体后下缘的铅垂线至骶骨后角的水平距离, 铅垂线在骶骨后角之前为负值, 在骶骨后角之后为正值。

1.5 统计学分析

应用 SPSS 22.0 统计软件 (SPSS, 美国) 进行统计学分析。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示。采用 kappa 一致性检验、组内相关系数 (intraclass correlation coefficient, ICC) 检测两名观察者结果一致性。卡方检验分析关节突关节侵扰相关因素: 年龄、性别、BMI、手术节段、术前诊断、置钉位置 (左、右侧)、关节突关节退变程度。通过二元 Logistic 回归多因素分析关节突关节独立危险因素, 纳入单因素分析 $P < 0.05$ 及临床意义较高指标, 纳入模型包括: BMI、顶椎节段为 L5、中重度关节突关节退变。采用独立样本 t 检验、受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线比较关节突关节侵扰组与非侵扰组解剖及置钉相关计量资料参数 (关节突关节轴径、矢状径、冠状径、关节突关节角、螺钉内倾角、螺钉尾倾角、螺帽-上关节突间距等)。检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

两名观察者在关节突关节退变程度 ($\kappa = 0.677, P = 0.000$)、关节突关节分级 ($\kappa = 0.784, P = 0.000$) 结果上一致性程度较强。各影像学测量指标具备较好及高的一致性 (腰椎前凸角, ICC = 0.687; 腰椎前凸指数, ICC = 0.694; 椎板深度, ICC =

0.712; 关节突关节角, ICC = 0.704; 螺钉内倾角, ICC = 0.775; 螺钉尾倾角, ICC = 0.723; 关节突关节轴径, ICC = 0.812; 关节突关节矢状径, ICC = 0.801; 关节突关节冠状径, ICC = 0.893; 螺帽-上关节突间距, ICC = 0.848; 近端连接棒露出距离, ICC = 0.754)。关节突关节总侵扰率为 34.07% (62/182), II 度以上侵扰率为 16.06% (27/182); L5 为上位节段时, 关节突关节侵扰率为 45.45% (30/66), II 度以上侵扰率为 21.21% (14/66) (表 2)。

卡方检验显示: BMI $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ 的患者更容易发生关节突关节侵扰 ($P = 0.002$); 顶椎为 L5 节段较其他上位节段关节突关节侵扰率显著增高 ($P = 0.012$)。而年龄、性别、术前诊断、关节突关节退变程度与侵扰无关 ($P > 0.05$, 表 3)。二元 Logistic 回归多因素分析显示 BMI $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ (OR 0.35, 95% CI 0.20~0.72; $P = 0.003$), L5 为上位置钉节段 (OR 0.45, 95% CI 0.23~0.86; $P = 0.015$) 为关节突关节侵扰的独立危险因素 (表 4)。

解剖因素结果显示, 侵扰组的关节突关节具备更大的冠状径、矢状径、轴径及关节突关节角 ($P < 0.05$)。且关节突关节轴径、冠状径、矢状径均 $\geq 12 \text{ mm}$ 或关节突关节角 $\geq 40^\circ$ 时, 侵扰率显著增大 ($P < 0.05$)。腰椎前凸角、腰椎前凸指数及椎板深度组间差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。

置钉因素结果显示, 侵扰组较非侵扰组具备更小的螺钉内倾角、螺帽-上关节突间距 ($P < 0.05$), 而螺钉尾倾角、近端连接棒露出距离、直弯棒处理组间差异无统计学意义 ($P > 0.05$, 表 5)。

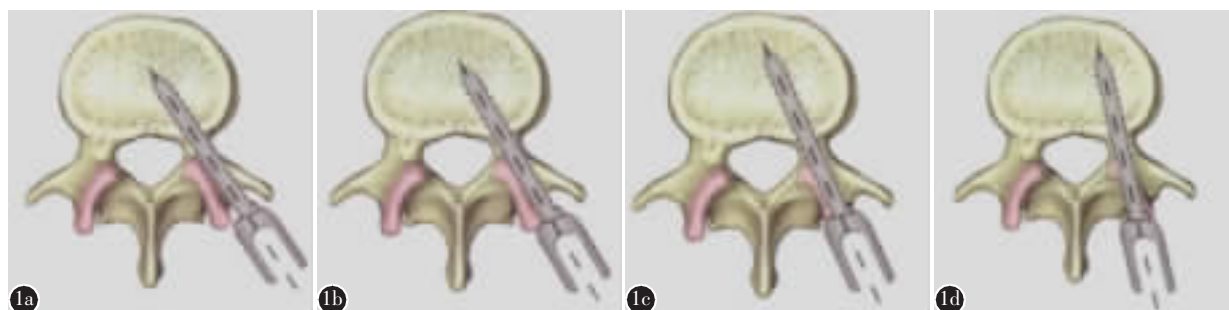


图 1 椎弓根螺钉对上位关节突关节侵扰评估方法示意图, 侵扰度分为 4 级 a 0 级, 无侵扰, 螺钉不在关节突关节上, 且未进入关节突关节 b 1 级, 轻度侵扰, 螺钉位于上关节突关节上, 但未进入关节突关节 c 2 级, 中度侵扰, 螺钉经过关节突关节面 $\leq 1 \text{ mm}$ d 3 级, 重度侵扰, 螺钉经过关节突关节面

Figure 1 Grading criteria of violation of facet joint a Grade 0, no violation. The screw did not involve in the facet joint at all b Grade 1, mild violation. The screw was in contact but did not invading the articular facet c Grade 2, moderate violation, the screw penetrated the articular facet by $\leq 1 \text{ mm}$ d Grade 3, severe violation, the screw passed through the articular surface of the facet

ROC 曲线分析解剖及置钉相关连续变量, 所得结果显示: 关节突关节角 (AUC: 0.873, 95%CI: 0.811~0.935, $P<0.001$)、螺钉内倾角 (AUC: 0.854, 95%CI: 0.789~0.919, $P<0.001$) 及螺帽-上关节突间距 (AUC: 0.912, 95%CI: 0.864~0.919, $P<0.001$) AUC 面积较大。关节突关节冠状径、矢状径、轴径 ROC 曲线分析结果分别为: 冠状径 (AUC: 0.700, 95%CI: 0.612~0.787, $P=0.026$); 矢状径 (AUC:

0.712, 95%CI: 0.637~0.786, $P=0.006$); 轴径 (AUC: 0.728, 95%CI: 0.656~0.801, $P=0.002$) (图 4)。

3 讨论

Pater 等^[15]在 4 具尸体样本上经皮置入 48 枚螺钉, 发现螺钉关节突关节侵扰率为 58%。Shah 等^[16]报道采用 Wiltse 入路, 即使术中采用侧位透视、严格选择进钉点, 关节突关节侵扰率仍高达

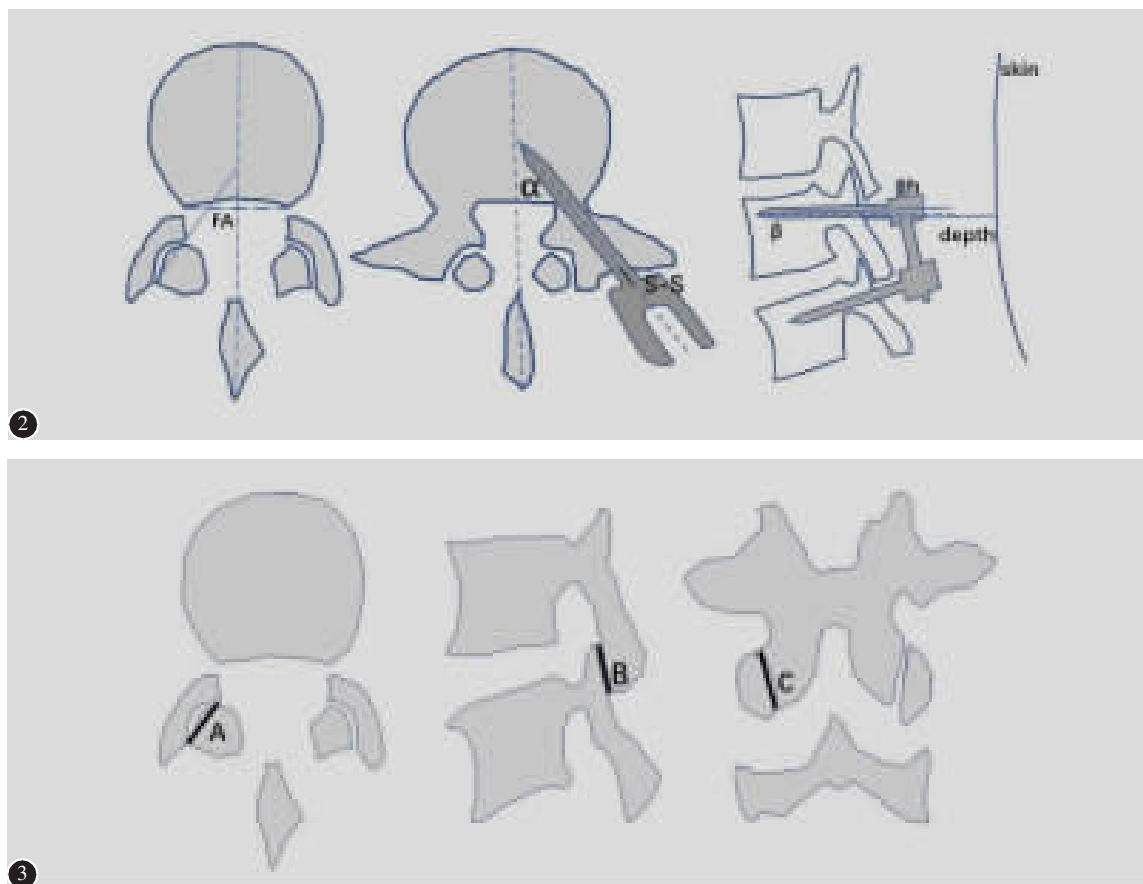


图 2 解剖与置钉相关参数测量图。关节突关节角 (FA): 横截面上关节突关节连线与椎体后缘中垂线的夹角; 螺钉内倾角 (α): 横截面上螺钉与椎体中垂线的夹角; 螺帽-上关节突间距 (s-s): 轴位上螺帽到上关节突关节背侧皮质骨的最短距离; 螺钉尾倾角 (β): CT 矢状面上椎弓根螺钉与水平线的夹角, 螺钉尾倾取正值, 头倾取负值; 近端连接棒露出距离 (h): 矢状面上连接棒高于螺帽上方的露出距离。椎板深度: 矢状面上椎板背侧皮质骨到皮肤的距离 图 3 关节突关节径线测量方法, 在薄层 CT 三维重建资料中选择关节突关节显示最清晰的骨窗层面观察并测量关节突关节轴径 (A), 矢状径 (B), 冠状径 (C)

Figure 2 Diagram of facet joint anatomy and surgical parameter measurement. Facet angle: A line bisecting each facet joint was then drawn after identifying the anteromedial and posterolateral margins of each joint, and the angle between the line and posterior midline of intervertebral disc; Pedicle screw angle (α): the angle between the screw trajectory and vertebral midline in the axial plane; Screw-superior FJ distance (s-s): the distance between the dorsal aspect of the superior FJ and screw heads. Cranial angle and proximal rod length (h) were also measured. Depth of lamina: the distance from the dorsal cortical bone of the lamina to the skin **Figure 3** Measurement of facet joint diameters Axial diameter (A), sagittal diameter (B) and coronal diameter (C) of the facet joint were inspected and measured in bone window of CT three-dimensional reconstruction

表 2 MIS-TLIF 上位椎弓根螺钉关节突关节侵扰程度

Table 2 Grade of facet joint violation in MIS-TLIF

	螺钉数量 Screw numbers	0级 Grade 0	1级 Grade 1	2级 Grade 2	3级 Grade 3
L1/2	2	2	0	0	0
L2/3	4	3	1	0	0
L3/4	6	6	0	0	0
L4/5	104	73	18	9	4
L5/S1	66	36	16	7	7

表 3 关节突关节侵扰一般情况分析

Table 3 Risk factors of FJV-general condition of patients

	非侵扰组 (n=120) Non-FJV group	侵扰组 (n=62) FJV group	P值 P value
年龄(岁) Age			0.182
<60	88	50	
>60	32	12	
性别 Gender			0.545
男 Male	45	23	
女 Female	75	39	
BMI			0.002
BMI<30kg/m ²	82	38	
BMI≥30kg/m ²	28	34	
术前诊断 Diagnosis			0.161
复发性腰椎间盘突出症 Recurrent lumbar disc herniation	7	5	
腰椎管狭窄症 Lumbar spinal stenosis	65	41	
腰椎滑脱症 Spondylolisthesis	48	16	
手术节段 Fusion segment			0.063
L1/2	2	0	
L2/3	3	1	
L3/4	6	0	
L4/5	73	31	
L5/S1	36	30	
顶椎节段 Cephalad level			0.012
L5	36	30	
非 L5 Non-L5	84	32	
关节突关节退变 Cephalad level			0.876
0 级 Grade 0	59	28	
1 级 Grade 1	36	19	
2 级 Grade 2	18	12	
3 级 Grade 3	7	3	

表 4 二元 Logistic 回归多因素分析关节突关节侵扰独立危险因素

Table 4 Multivariate Logistics regression analysis of independent risk factors

	B值 B-value	OR OR	95%CI 95%CI	P值 P value
L5 为顶椎置钉节段 Pedic screw at L5	-0.81	0.45	0.23-0.86	0.015
BMI≥30kg/m ²	-0.98	0.35	0.20-0.72	0.003
关节突关节退变 Facet joint degeneration	-0.05	0.95	0.44-2.97	0.329

表 5 解剖与置钉因素对关节突关节侵扰的影响

Table 5 Risk factors of FJV-anatomical and surgical factor

	非侵扰组 (n=120) Non-FJV group	侵扰组 (n=62) FJV group	P值 P value
连接棒预弯 Rod treatment			0.396
弯棒 Contoured rod	62	30	
直棒 Straight rod	58	32	
置钉位置 Screw location			0.532
左侧 Left side	58	33	
右侧 Right side	62	29	
腰椎前凸角(°) Lumbar lordosis angle	48.84±13.28	46.40±17.17	0.552
腰椎前凸指数(mm) Lumbar lordosis index	13.85±23.03	13.22±22.47	0.887
椎板深度(mm) Depth of lamina	52.29±9.33	52.46±9.71	0.924
关节突关节角(°) Facet angle	31.68±6.45	47.18±12.30	0
≥40°	11	43	
<40°	109	19	
螺钉内倾角(°) Pedic screw angle	18.01±4.43	14.86±5.45	0
螺钉尾倾角(°) Cranial angle	10.25±6.61	11.49±5.10	0.198
关节突关节轴径(mm) Axial diameter of FJ	12.11±1.76	12.63±1.08	0.016
关节突关节矢状径(mm) Sagittal diameter of FJ	11.77±2.22	12.70±1.31	0.001
关节突关节冠状径(mm) Coronal diameter of FJ	11.63±2.17	12.39±1.46	0.006
关节突关节径线 Hypertrophy of FJ			0.001
三径均≥12mm Diameter lines≥12mm	42	38	
任意径线<12mm Diameter line<12mm	78	24	
螺帽-上关节突间距(mm) Screw-superior FJ distance	6.48±1.17	5.57±1.24	0
近端连接棒露出距离(mm) Proximal rod length	8.10±2.65	8.60±2.24	0.203

32%~35%。由于 MIS-TLIF 非直视下置钉,可能较传统开放置钉更容易侵扰关节突关节。本研究结果显示 MIS-TLIF 经皮置钉关节突关节侵扰率为 34.07% (62/182), 2 级以上侵扰率为 16.06% (27/182), 该侵扰率同既往部分学者报道相一致。由于关节突关节侵扰与脊柱融合术远期出现 ASD 并发症相关, 如何避免术中关节突关节侵扰具备重要临床价值。

近年来, 患者的一般情况作为关节突关节侵扰的危险因素受到较多学者的研究。Zeng 等^[11]回顾性分析 69 例 MIS-TLIF 患者, 结果表明, 患者年龄 ≤ 60 岁和 BMI $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ 时更容易发生关节突关节侵扰。而 Park 等^[6]的研究却认为年龄、性别、BMI、术前诊断、融合节段等一般情况均与关节突关节侵扰无关。目前对于年龄、肥胖是否作为关节突关节侵扰危险因素尚有一定程度的争议性。本研究显示, BMI $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ 作为关节突关节侵扰的独立危险因素, 而年龄、性别、术前诊断等一般情况与关节突关节侵扰无关。可能的原因是肥胖患者体积较大且组织偏厚, 造成透视显像相对不清晰^[17,18], 相较于非肥胖患者更难以选择正确的进钉点, 从而导致关节突关节侵扰的可能性

增加。此外, 肥胖患者皮肤到椎板距离更大, 较大的椎板深度会减弱关节突关节及理想进钉点的触觉回馈, 进而易导致侵扰。有学者研究椎板深度与关节突关节侵扰相关性, 同 Alisson 等^[19]研究一致, 本研究结果也显示椎板深度与关节突关节侵扰无关。由于肥胖患者往往伴随较大的椎板深度, 难以辨别独立因素造成关节突关节侵扰, 后续研究应在更好的透视条件下 (如 O 型臂 X 线机、术中 CT) 研究椎板深度是否为侵扰的危险因素。

关节突关节侵扰发生与腰椎手术节段相关, L5 节段关节突关节侵扰率显著上升^[20]。本实验同既往研究一致, L5 为上位节段时, 关节突关节侵扰率为 45.45% (30/66), 明显高于其他节段。目前主流学说对此结果分析原因包括: (1) 下位腰椎具备更大的前凸形态, 经皮螺钉的置入途径长且复杂, 需要穿过更多组织, 这可能导致不正确的进钉点或螺钉轨迹, 我们的研究初步分析腰椎前凸形态对于关节突关节侵扰的影响。结果表明, 侵扰组和非侵扰组腰椎前凸角。腰椎前凸指数差异均不具备统计学差异性 ($P > 0.05$), 因此我们更倾向于认为腰椎整体生理曲度的差异性对于关节突关节侵扰无影响。(2) L5 节段由于髂嵴的阻碍导致选

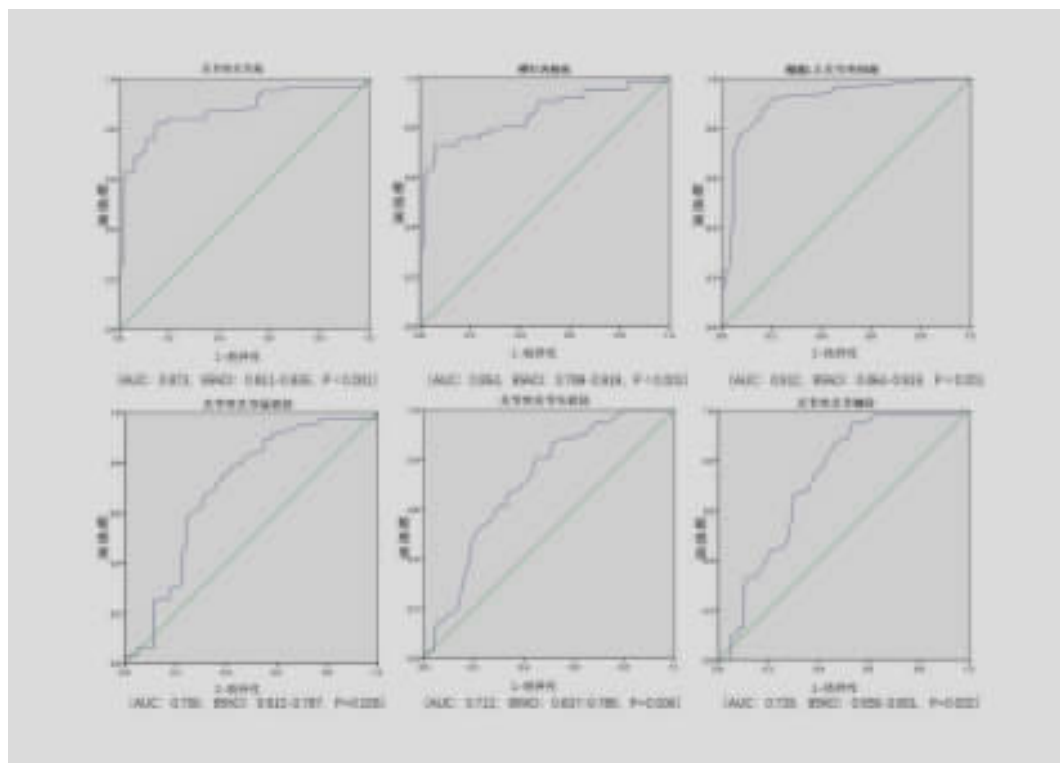


图 4 ROC 曲线分析解剖及置钉相关因素与关节突关节侵扰相关性

Figure 4 ROC curve analyses on the anatomy and surgical factors for superior facet joint violation

择合适的进钉点和角度困难,进钉点容易偏内侧,继而螺钉角度“陡峭”,引起关节突关节侵扰^[9]。(3)L5 节段椎板和关节突关节较上位节段更倾向于冠状位^[21],经皮置钉的通道被“阻碍”,导致关节突关节侵扰。(4)L5 椎弓根发育与解剖存在变异。因此,L5 节段采用经皮置钉时,应注意进钉点尽量偏向椎弓根外侧(椎弓根外侧与横突交界处),并采用较大的进钉角度以避免侵扰。

关节突关节本身解剖因素与侵扰具备密切联系,Xu 等^[22]和 Teles 等^[19]研究分别表明关节突关节角冠状走行时更容易导致关节突关节侵扰,同既往研究一致,我们的研究结果表明侵扰组关节突关节角较大,更倾向于冠状位,经皮置钉的通道容易被干扰从而出现侵扰,这也从解剖层面印证了 L5 节段好发关节突关节侵扰的原因。关节突关节退变、肥大与侵扰三者之间的关系较为复杂。关节突关节退变往往伴随关节囊狭窄、骨赘形成、增生肥大、关节面凹凸不平等表现,现有的对于关节突关节分级系统主要被大家认可的约有 12 种,不论是最常应用的 Pathria^[23]或是 Weishaupt^[13]分级系统,均将腰椎关节突关节增生肥大作为退变的征象之一,然而并未将关节突关节大小作为独立分级标准,故现有的分级系统不能实际反映关节突关节增生、肥大,只能反映关节突关节退变程度。在本研究中,我们采用 Weishaupt 法评估关节突退变程度,发现退变与肥大之间的无明确相关性($P=0.876$),同既往研究一致^[19]。由于本研究为横断面研究,且受病例数量限制,对于关节突关节退变程度与侵扰之间的关系亟待进一步研究。有学者在尸体研究中提出关节突关节增生、肥大更容易导致关节突关节侵扰^[12]。目前尚无研究定量测量关节突关节大小,并研究其与关节突关节侵扰的相关性,本研究通过薄层 CT 三维重建,测量关节突关节冠状径、矢状径及轴径,结果证实侵扰组具备更大的冠状径、矢状径及轴径。根据统计学结果,我们采用分布法确定阈值,将三径均 $\geq 12\text{mm}$ 定义为关节突关节肥大,当三径线均 $\geq 12\text{mm}$ 时,关节突关节侵扰率由 23.53%(24/102)显著上升至 47.50%(38/80),证实肥大的关节突关节更容易导致侵扰的发生($P=0.001$)。因此术前准确评估关节突关节的大小和角度是必要的,有助于预测关节突关节侵扰的风险,并对置钉操作有一定的参考意义。

MIS-TLIF 广泛地应用于单节段的腰椎融合手术中,经皮螺钉通过 C 型臂 X 线机透视下定位螺钉置入点,避免解剖小关节,从而保持关节突关节的完整性。置钉操作的各细节如置钉点的选择、螺钉置入角度、深度、连接棒处理等均可能导致关节突关节的侵扰。Chung 等^[24]设计尸体研究比较乳突或十字进钉点,结果显示乳突较十字进钉点更容易发生关节突关节侵扰,本研究统一 C 型臂 X 线机定位椎弓根外侧 3 点钟(或 9 点钟)方向作为进钉点。Park 等^[6]首次提出螺钉置入方向与关节突关节侵扰有一定相关性,尽管其未测量螺钉内倾角,但提出进钉点偏内侧、螺钉置入方向更垂直可能导致侵扰。本实验对比两组螺钉内倾角,结果显示侵扰组螺钉内倾角较小,置入方向更垂直,我们的研究更倾向于认为螺钉内倾角小容易导致关节突关节侵扰,证实了 Park 的猜想。

螺帽、连接棒导致的关节突关节侵扰常见于临床。Morshifar 等^[25]描述了这样一种分级系统,当螺钉、螺帽或连接棒的任何部分明显位于关节突关节内或距离关节 1mm 以内,则认为关节突关节受到了破坏,Sean 等^[7]学者报道由于螺帽、连接棒导致的关节突关节侵扰率为 4.55%(12/264)。螺帽侵扰关节突关节同样破坏其生物力学结构,术中应当仔细操作以避免螺帽侵扰的发生。本研究测量螺帽-上关节突间距,结论证明侵扰组螺帽与上关节突之间的距离明显小于非侵扰组,因此我们认为,在经皮置钉中应当避免过深拧入螺钉,保证螺帽与上关节突适当距离,从而避免螺帽侵扰关节突关节。连接棒造成上位关节突关节侵扰的现象相对少见,我们猜测近端连接棒露出距离过长、连接棒预弯可能作为关节突关节侵扰的危险因素。结果表明侵扰组与非侵扰组在近端连接棒露出距离、直弯棒上无统计学差异性。由于预弯连接棒能够有效改善腰椎局部矢状位参数^[26],我们仍推荐对连接棒进行预弯操作,同时尽量缩短近端连接棒露出距离以避免连接棒造成侵扰。

综上,BMI $\geq 30\text{kg/m}^2$ 、L5 为上位置钉节段,以及关节突关节解剖径线较大、冠状位走行时好发关节突关节侵扰。因此,术者术前应评估关节突关节大小及角度,尤其在 L5 节段置入螺钉时应注意调整进螺钉角度和置入深度,避免关节突关节侵扰。

4 参考文献

1. Wang H, Ma L, Yang D, et al. Incidence and risk factors of adjacent segment disease following posterior decompression and instrumented fusion for degenerative lumbar disorders [J]. *Medicine*, 2017, 96(5): e6032.
2. Cardoso MJ, Dmitriev AE, Helgeson M, et al. Does superior-segment facet violation or laminectomy destabilize the adjacent level in lumbar transpedicular fixation? An in vitro human cadaveric assessment [J]. *Spine*, 2008, 33 (26): 2868–2873.
3. Kim HJ, Chun HJ, Kang KT, et al. The biomechanical effect of pedicle screws' insertion angle and position on the superior adjacent segment in 1 segment lumbar fusion [J]. *Spine*, 2012, 37(19): 1637–1644.
4. Park P, Garton HJ, Gala VC, et al. Adjacent segment disease after lumbar or lumbosacral fusion: review of the literature[J]. *Spine*, 2004, 29(17): 1938–1944.
5. Khan, NR, Clark, AJ, Lee SL, et al. Surgical outcomes for minimally invasive vs open transforaminal lumbar interbody fusion: an updated systematic review and Meta-analysis [J]. *Neurosurgery*, 2015, 77(6): 847–874.
6. Park Y, Ha JW, Lee YT, et al. Cranial facet joint violations by percutaneously placed pedicle screws adjacent to a minimally invasive lumbar spinal fusion[J]. *Spine J*, 2011, 11(4): 295–302.
7. Jones-Quaidoo SM, Djurasovic M, Owens RK, et al. Superior articulating facet violation: percutaneous versus open techniques[J]. *J Neurosurg Spine*, 2013, 18(6): 593–597.
8. Wang L, Wang Y, Yu B, et al. Comparison of cranial facet joint violation rate between percutaneous and open pedicle screw placement: a systematic review and meta-analysis [J]. *Medicine(Baltimore)*, 2015, 94(5): e504.
9. Tannous O, Jazini E, Weir TB, et al. Facet joint violation during percutaneous pedicle screw placement: a comparison of two techniques[J]. *Spine*, 2017, 42(15): 1189–1194.
10. Babu R, Park JG, Mehta AI, et al. Comparison of superior-level facet joint violations during open and percutaneous pedicle screw placement [J]. *Neurosurgery*, 2012, 71 (5): 962–970.
11. Zeng ZL, Jia L, Xu W, et al. Analysis of risk factors for adjacent superior vertebral pedicle-induced facet joint violation during the minimally invasive surgery transforaminal lumbar interbody fusion: a retrospective study[J]. *Eur J Med Res*, 2015, 20(1): 80.
12. Baird EO, McAnany SJ, Overley S, et al. Accuracy of percutaneous pedicle screw placement: does training level matter?[J]. *Clin Spine Surg*, 2017, 30(6): E748–E753.
13. Weishaupt D, Zanetti M, Boos N, et al. MR imaging and CT in osteoarthritis of the lumbar facet joints [J]. *Skeletal Radiol*, 1999, 28(4): 215–219.
14. Matsukawa K, Kato T, Yato Y, et al. Incidence and risk factors of adjacent cranial facet joint violation following pedicle screw insertion using cortical bone trajectory technique[J]. *Spine*, 2016, 41(14): E851–856.
15. Patel RD, Graziano GP, Vanderhave KL, et al. Facet violation with the placement of percutaneous pedicle screws [J]. *Spine*, 2011, 36(26): E1749–1752.
16. Shah RR, Mohammed S, Saifuddin A, et al. Radiologic evaluation of adjacent superior segment facet joint violation following transpedicular instrumentation of the lumbar spine [J]. *Spine*, 2003, 28(3): 272–275.
17. Kim MC, Chung HT, Cho JL, et al. Factors affecting the accurate placement of percutaneous pedicle screws during minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion [J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(10): 1635–1643.
18. Park Y, Ha JW, Lee YT, et al. Percutaneous placement of pedicle screws in overweight and obese patients[J]. *Spine J*, 2011, 11(10): 919–924.
19. Teles AR, Paci M, Gutman G, et al. Anatomical and technical factors associated with superior facet joint violation in lumbar fusion[J]. *J Neurosurg Spine*, 2018, 28(2): 173–180.
20. Yson SC, Sembrano JN, Sanders PC, et al. Comparison of cranial facet joint violation rates between open and percutaneous pedicle screw placement using intraoperative 3-D CT (O-arm) computer navigation [J]. *Spine*, 2013, 38 (4): E251–258.
21. Van Schaik JP, Verbiest H, Van Schaik FD. The orientation of laminae and facet joints in the lower lumbar spine [J]. *Spine*, 1985, 10(1): 59–63.
22. Xu Z, Tao Y, Li H, et al. Facet angle and its importance on joint violation in percutaneous pedicle screw fixation in lumbar vertebrae: A retrospective study[J]. *Medicine(Baltimore)*, 2018, 97(22): e10943.
23. Pathria M, Sartoris DJ, Resnick D. Osteoarthritis of the facet joints: accuracy of oblique radiographic assessment[J]. *Radiology*, 1987, 164(1): 227–230.
24. Chung KJ, Suh SW, Swapnil K, et al. Facet joint violation during pedicle screw insertion: a cadaveric study of the adult lumbosacral spine comparing the two pedicle screw insertion techniques[J]. *Int Orthop*, 2007, 31(5): 653–656.
25. Moshirfar A, Jenis LG, Spector LR, et al. Computed tomography evaluation of superior-segment facet-joint violation after pedicle instrumentation of the lumbar spine with a midline surgical approach[J]. *Spine*, 2006, 31(22): 2624–2629.
26. Zhao Y, Jia J, Liu W, et al. Influence of contoured versus straight rod on clinical outcomes and sagittal parameters in minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion (MIS-TLIF) at L4/5 level—more than 5 years follow-up[J]. *J Orthop Sci*, 2019, doi: 10.1016/j.jos.2019.03.0.

(收稿日期:2019-10-16 修回日期:2020-01-08)

(英文编审 庄乾宇/孔 超)

(本文编辑 姜雅浩)