

临床论著

微创经椎间孔腰椎椎间融合术中横突定位法
置钉的影像学评价王润生^{1,2}, 毛克亚¹, 黄承军², 钟睿^{1,3}, 姜威¹, 刘义灏¹, 陈彬斌¹

(1 中国人民解放军总医院骨科 100853 北京市; 2 广西中医药大学第三附属医院脊柱一科 545001 柳州市;

3 成都体育学院附属体育医院骨科 610041 成都市)

【摘要】目的:探讨在微创经椎间孔腰椎椎间融合术(minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion, MISTLIF)中采用横突定位法置钉的可行性及术后影像学评价。**方法:**回顾分析 2014 年 1 月~2014 年 12 月行 MISTLIF 手术患者 82 例,根据置钉位置进行分组,其中治疗组(40 例)按横突定位法置钉,其中男 18 例,女 22 例,平均年龄 55.4 ± 5.0 岁(46~67 岁)。对照组(42 例)以“人字峰”顶点法置钉,其中男 20 例,女 22 例,年龄 56.2 ± 5.5 岁(47~70 岁),术后平均随访 24.0 ± 3.5 个月。分别记录两组出血量、手术时间,术后 1 年复查腰椎 CT 平扫+三维重建。按照 Rao 分级评估椎弓根螺钉穿出情况,CT 轴位测量椎弓根螺钉水平角(transverse section angle, TSA),CT 矢状位测量矢状角(sagittal section angle, SSA)。CT 轴位评估椎弓根螺钉对头侧邻近节段关节突关节破坏(facet joint violation, FJV)情况。**结果:**两组年龄、性别、术前诊断构成比差异无统计学意义($P > 0.05$),治疗组手术时间为 95.0 ± 10.5 min,出血量为 120.0 ± 11.2 ml,对照组手术时间为 150.0 ± 10.5 min,出血量 150.0 ± 11.5 ml,两组出血量差异无统计意义($P > 0.05$),但两组手术时间差异具有统计学意义($P < 0.05$)。Rao 分级法评估椎弓根螺钉穿出情况两组椎弓根螺钉穿出率,差异无统计学意义($P > 0.05$)。治疗组与对照组相比,SSA 无统计学差异($P > 0.05$),TSA 具有统计学意义($P < 0.05$)。两组 FJV 发生率差异具有统计学意义($P < 0.05$)。**结论:**横突定位法,与“人字峰”顶点法相比,均具有较高的置钉准确率,横突置钉法头侧邻近节段关节突关节破坏率低,且有利于通道下操作、缩短了置钉时间,但横突定位法置钉时进钉点偏外,术中需适当增大 TSA。

【关键词】横突定位;椎弓根螺钉;影像学评价

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2018.04.09

中图分类号:R687.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2018)-04-0336-07

Imaging evaluation of transverse process placement of lumbar pedicle screws in the operation of minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion/WANG Runsheng, MAO Keya, HUANG Chengjun, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2018, 28(4): 336-342

【Abstract】Objectives: To discuss transverse process placement of lumbar pedicle screws in the operation of minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion (MISTLIF) and imaging evaluation at postoperation. **Methods:** Retrospectively analysis was performed on 82 patients who underwent MISTLIF from January 2014 to December 2014 in our hospital. 40 patients, 18 cases of male, 22 cases of female, the average age was 55.4 ± 5.0 (46-67) years old, who were placed the lumbar pedicle screws by superior margin of transverse process root were in the treatment group; 42 patients, 20 cases of male, 22 cases of female, the average age was 56.2 ± 5.5 (47-70) years old, who were placed the pedicle screws by "Λ" shape crest were in the control groups. The operation time and blood loss were all documented. All patients were followed up for 24.0 ± 3.5 months postoperation, CT three dimensional reconstruction examined at 1 year follow-up. The position of pedicle screws was evaluated by Rao classification. The transverse and sagittal section angle of the pedicle screws were measured by CT scan. The cranial facet joint violation was also evaluated by the transverse section of

基金项目:北京市科技计划课题(Z161100001516013)

第一作者简介:男(1985-),在读博士研究生,主治医师,研究方向:脊柱外科

电话:(010)66938302 E-mail:run708@163.com

通讯作者:毛克亚 E-mail:maokeya@sina.com

CT scan. **Results:** There was no statistical significance between the two groups about age, gender or preoperative diagnosis ($P>0.05$). The average operation time of treatment group was 95.0 ± 10.5 min, the average blood loss was 120.0 ± 11.2 ml, the average operation time of control group was 150.0 ± 10.5 min, the average blood loss was 150.0 ± 11.5 ml, there was no statistical significance between the two groups about the blood loss ($P>0.05$), but there was statistical significance about the operation time ($P<0.05$). The position of pedicle screws in the treatment had no statistical significance of perforation ratio of pedicle between the two groups ($P<0.05$). There was no statistical significance of SSA between the two groups ($P>0.05$). However, the TSA had statistical significance ($P<0.05$). There was statistical significance of FJV between the two groups ($P<0.05$).

Conclusions: The transverse process placement of pedicle screws technique can place the pedicle screws accurately with low cranial FJV rate and is appropriated to MISTLIF, comparing with the " $\wedge$ " shape crest pedicle placement technique. However, the entrypoint is lateral to " $\wedge$ " shape crest, the TSA should be added in the operation, in order to prevent perforation of lateral cortex of the pedicle.

[Key words] Transverse process placement; Pedicle screws; Imaging evaluation

[Author's address] Department of Orthopedics, Chinese people's Liberation Army General Hospital, Beijing, 100853, China

经椎间孔腰椎椎间植骨融合术(transforaminal lumbar interbody fusion, TLIF)1982年由Harms^[1]首次报道,与后路腰椎椎间植骨融合术(posterior lumbar interbody fusion, PLIF)相比,TLIF具有对硬膜囊、神经根牵拉刺激小,减少神经牵拉损伤等并发症,并保留后方韧带复合体便于翻修手术等优势^[2,3]。微创经椎间孔腰椎椎间融合术(minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion, MISTLIF)2003年由Foley等首次报道。该术式在保留TLIF优点的基础上,减少了对多裂肌的损伤,可早期下床活动,术后平均住院时间缩短($1.9\sim2.4$ d)^[4,5]。然而MISTLIF术式在具有上述优点的同时也存在不足,如学习曲线陡峭,出口神经根损伤,手术时间长($240\sim290$ min)^[4,5],透视次数多,增加了医护人员和患者的射线暴露量等^[6]。通道下置钉是MISTLIF的重要步骤,有利于缩短手术时间,减少射线暴露。腰椎椎弓根螺钉的置钉方法,主要有Roy-Camille^[7]、Weinstein^[8]、Margel^[9]、“人字嵴”顶点置钉法^[10]等,其中“人字嵴”顶点置钉法在腰椎椎弓根螺钉置钉中广泛运用。然而在通道有限的空间内,采用“人字嵴”置钉法存在以下问题:(1)脊柱退变患者“人字嵴”常被骨赘覆盖,难以辨认;(2)通道操作空间有限,去除骨赘较开放手术困难,一方面延长手术时间,另一方面增加头侧邻近节段关节突关节囊损伤,置钉过程中容易造成关节突关节破坏(facet joint violation, FJV),增加了邻近节段退变(adjacent segment degenerative, ASD)的发生率。因此,改进通道下置钉的方法有利于缩短手术时间,减少医患射线暴

露。我们采用横突定位法在通道下进行置钉,避免了上述问题。现对临床资料进行总结,报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾分析2014年1月~2014年12月行MISTLIF治疗的患者82例,其中按横突定位置钉者40例,记为治疗组,男18例,女22例,年龄 55.4 ± 5.0 岁(46~67岁),其中腰椎滑脱症6例,腰椎间盘突出症伴腰椎失稳10例,腰椎管狭窄症24例。按“人字嵴”顶点置钉者42例,记为对照组,男20例,女22例,年龄 56.2 ± 5.5 岁(47~70岁),其中腰椎滑脱症6例,腰椎间盘突出症11例,腰椎管狭窄症25例。术后1年复查腰椎CT平扫+三维重建,于术后1年时根据CT轴位片判断椎弓根螺钉准确性,CT轴位、矢状位片测量椎弓根螺钉椎弓根螺钉水平角(transverse section angle, TSA)、矢状角(sagittal section angle, SSA)。

1.2 手术过程

患者麻醉完成后,俯卧于手术台上。定位采用9号长针头定位,C型臂X线机透视以正位位于病变节段上、下椎弓根投影中心,侧位位于上、下椎弓根延长线为佳。以两枚针头连线为手术切口,垂直切开皮肤后内倾 15° 切开腰背筋膜,钝性分离至峡部,以峡部为中心插入逐级扩张套管,选择合适通道置入后,撑开通道并接光源。

横突定位法置钉:清理通道内软组织,清晰显露上、下关节突关节、椎板外缘、椎弓峡部。开路器探及横突后固定于横突根部上缘,并保持与水平

面垂直,以开口器在横突根部内下约 3~5mm 处开口,改用开路器,调整 TSA、SSA,以有“磨砂感”进入椎弓根内为佳,球探探查确定钉道良好,钉道制备完毕(图 1)。

“人字峰”顶点法置钉:显露上、下关节突关

节、椎弓峡部后,沿椎弓峡部向上显露“人字峰”,如有骨赘增生,以咬骨钳咬除后清晰显露,在“人字峰”顶点开口,调整 TSA、SSA,以有“磨砂感”进入椎弓根内为佳,球探探查确定钉道良好,钉道制备完毕。

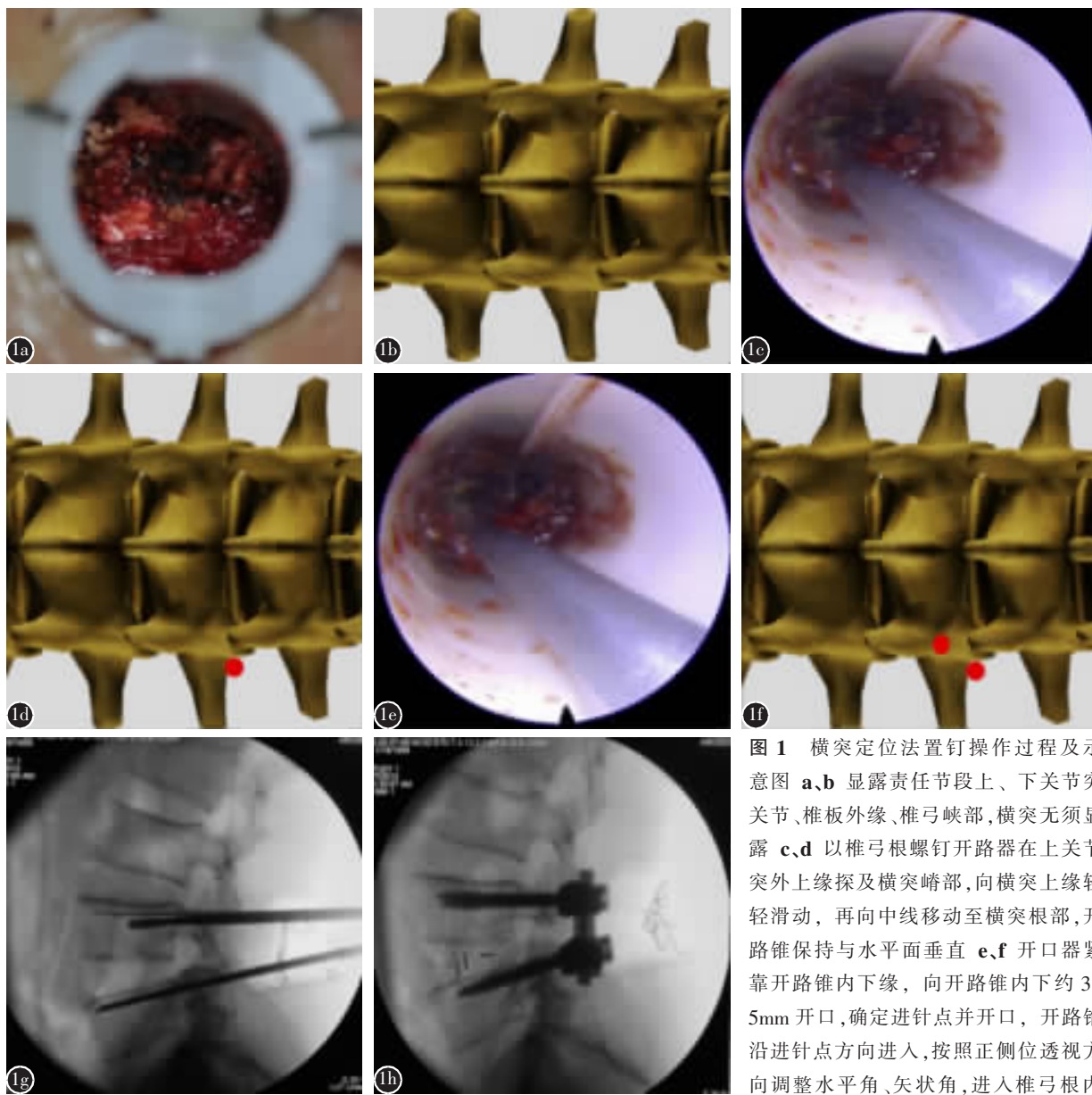


图 1 横突定位法置钉操作过程及示意图 a、b 显露责任节段上、下关节突关节、椎板外缘、椎弓峡部,横突无须显露 c、d 以椎弓根螺钉开路器在上关节突外上缘探及横突嵴部,向横突上缘轻轻滑动,再向中线移动至横突根部,开路锥保持与水平面垂直 e、f 开口器紧靠开路锥内下缘,向开路锥内下约 3~5mm 开口,确定进针点并开口,开路锥沿进针点方向进入,按照正侧位透视方向调整水平角、矢状角,进入椎弓根内 g、h 放置定位针,正侧位透视后按钉道

拧入椎弓根螺钉

Figure 1 Protocol of transverse process placement a, b Exposure the superior and inferior articular process, lateral margin of lamina and interarticular parts of the responsibility section, while the transverse process was not exposed c, d Pedicle blazer probed the crest of transverse process and slid to the superior margin slowly, then slid to the midline, the pedicle blazer should keep vertical in the whole process e, f Pedicle drill kept close to the interior and inferior of the blazer about 3-5mm, then confirmed the entrance point, pedicle blazer entered into the pedicle according to the TSA and SSA, the whole process should be in the cancellous of the pedicle g, h Placement of the maker and screwing the pedicle screws under the C-arm machine

钉道制备完毕后,骨刀切除病变节段下关节突,剪成 2~3mm 骨粒作为植骨材料备用,切除上关节突尖部扩大椎间孔,上、下扩大减压窗并从止点处切除黄韧带,椎板咬骨钳切除上关节突返折部,显露硬膜囊、神经根,以神经根为中心彻底减压。减压后牵开神经根和硬膜囊后彻底清除椎间盘和软骨终板,植入局部自体骨骨粒和单枚合适高度椎间融合器,然后置入短尾万向椎弓根螺钉,双侧加压固定。C 型臂 X 线机检查内固定位置,确认位置良好后逐层关闭切口,术毕。

1.3 评价标准

1.3.1 椎弓根螺钉位置评价 按照 Rao 分级评估椎弓根螺钉位置^[12]:0 级,没有椎弓根及椎体破裂;1 级,螺钉穿破皮质但穿破距离 $\leq 2\text{mm}$;2 级,螺钉穿破皮质且穿破距离 2~4mm;3 级,螺钉穿破

皮质距离大于 4mm。

1.3.2 评估椎弓根螺钉对头侧相邻节段 FJV^[13] 1 级:关节突无破坏;2 级:单侧关节突破坏;3 级:双侧关节突破坏(图 2)。

1.3.3 测量 TSA、SSA TSA 指水平面椎弓根螺钉置入的角度,测量椎弓根螺钉轴线与正中矢状面的夹角。SSA 指矢状面椎弓根螺钉置入的角度,测量矢状面椎弓根螺钉轴线与椎弓根延长线的夹角^[14](图 3)。

1.4 统计方法

采用 SPSS 19.0 软件统计分析,性别、诊断、手术节段构成比采用卡方检验,年龄、手术时间、出血量、椎弓根螺钉水平角、矢状角等计量资料采用独立样本 t 检验,椎弓根螺钉位置、关节突关节破坏情况等级资料采用 Radit 分析,检验水准设

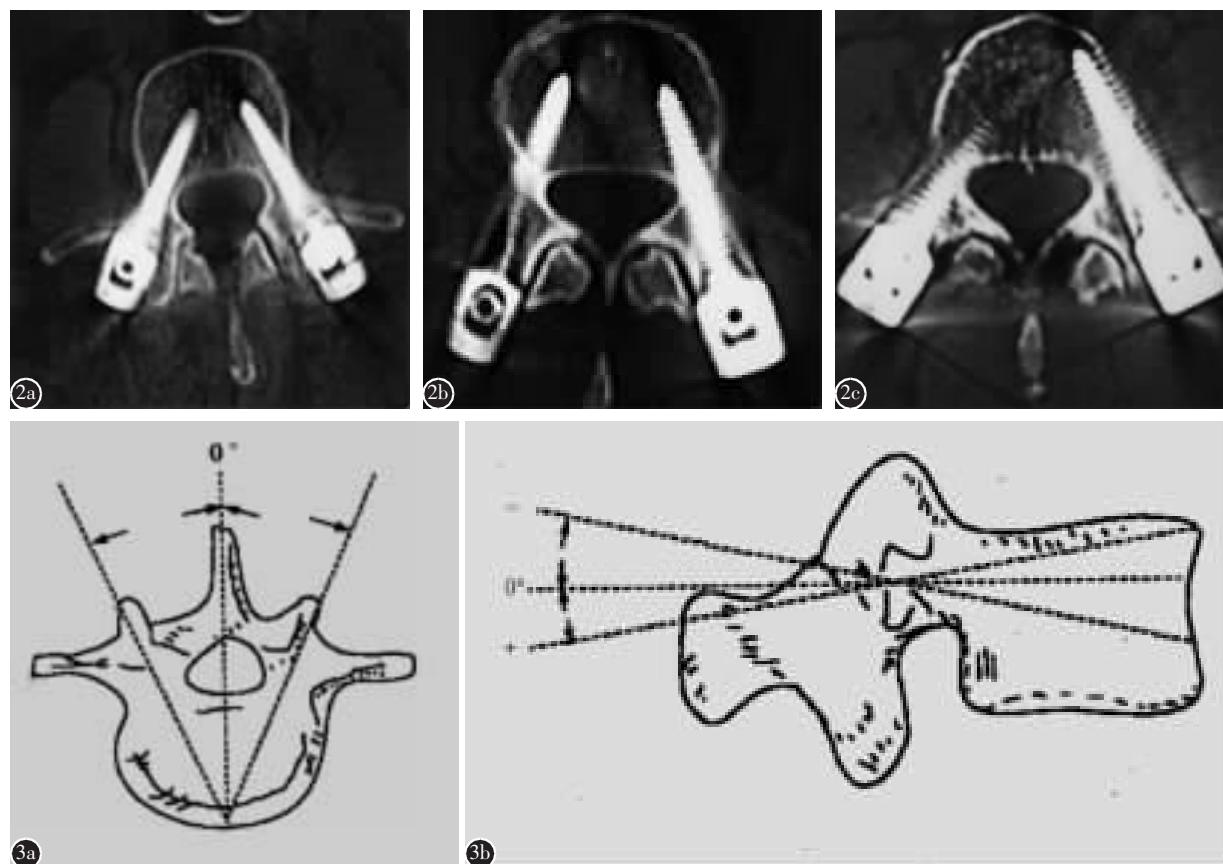


图 2 CT 轴位评估椎弓根螺钉对头侧相邻节段 FJV 破坏示意图 a 1 级 关节突无破坏 b 2 级 单侧关节突破坏 c 3 级 双侧关节突破坏 图 3 a TSA:水平面椎弓根螺钉置入的角度,椎弓根螺钉轴线与正中矢状面的夹角 b SSA:矢状面椎弓根螺钉置入的角度,矢状面椎弓根螺钉轴线与椎弓根延长线的夹角

Figure 2 a Grade 1 No facet joint violation b Grade 2 Unilateral facet joint violation c Grade 3 Bilateral facet violation **Figure 3** a The transverse section angle of pedicle screws, the intersection angle of the pedicle screw and median sagittal plane b The sagittal section angle of pedicle screw, the intersection angle of pedicle screw and the extension line of pedicle in the sagittal section

定为 0.05。

2 结果

纳入病例随访 24.0±3.5 个月, 两组年龄、性别、手术节段、术前诊断构成比、手术出血量差异无统计学意义 ($P>0.05$), 手术时间差异具有统计学意义 ($P<0.05$), 治疗组比对照组手术时间短(表 1)。

术后 1 年根据 CT 平扫+三维重建结果判断椎弓根螺钉穿出率、关节突关节破坏率、以及 TSA、SSA。经统计, FJV 两组差异无统计学意义 ($P>0.05$), 两组 SSA 差异无统计学意义 ($P>0.05$), TSA 差异具有统计学意义 ($P<0.05$), 治疗组 TSA 较对照组大, 两组 FJV 发生率差异具有统计学意义 ($P<0.05$, 表 2)。

3 讨论

3.1 腰椎通道在腰椎手术中的意义

腰椎传统手术多采用后正中入路, 无论是

PLIF 还是 TLIF 术式, 均需要将椎旁肌从起止点进行广泛的剥离, 一方面肌肉损伤大、出血多, 另一方面, 术后腰背肌易出现纤维化导致腰背肌无力, 导致术后腰痛的发生。肥胖患者, 由于皮下脂肪厚, 术口深, 置钉过程中, 肌肉牵拉更加严重, 尤其 L5/S1 节段置钉难度更大, 肌肉软组织的广泛牵拉、损伤, 术后容易导致脂肪液化, 不利于切口愈合。

2003 年 Foley^[4]首次报道 MISTLIF 术式, 随后该术式在国内陆续开展。各种微创通道运用于 MISTLIF 术式, 无论是 X-tube、Quadrant、Pipeline 通道其原理都是为从椎旁肌间隙撑开椎旁肌到达工作区域。针对传统开放手术存在的问题, 微创通道具有以下优势: (1) 自动撑开通道避免了肌肉反复牵拉、损伤; (2) 不破坏肌肉韧带的附着点, 尤其是多裂肌在棘突上的附着点, 对于维持腰椎稳定性具有非常重要的作用; (3) 通过限制通道的宽度将肌肉垂直牵拉损伤降至最低^[15]; (4) 术后疼痛轻、出血少, 恢复快、住院时间短^[16], 且能达到与传统手术相同的临床疗效。

表 1 基线资料
Table 1 Baseline data

	治疗组 (n=40) Treatment group	对照组 (n=42) Control group
年龄 (岁) Age (year)	55.4±5.0	56.2±5.5 ^①
性别 (n, %) Gender		
男 Male	18 (45%)	20 (48%) ^①
女 Female	22 (55%)	22 (52%) ^①
术前诊断 (n, %) Preoperative diagnosis		
腰椎滑脱症 Lumbar Spondylolisthesis	6 (15%)	6 (14%) ^①
腰椎间盘突出症 Lumbar Disc Herniation	10 (25%)	11 (26%) ^①
腰椎管狭窄症 Lumbar Spinal Stenosis	24 (60%)	25 (60%) ^①
手术节段 (n, %) Operative level		
L3/4	10 (25%)	12 (29%) ^①
L4/5	30 (75%)	30 (71%) ^①
手术时间 (min) Operative time	95.0±10.5	120.0±11.2 ^②
手术出血量 (ml) Blood loss	150.0±10.5	150.0±11.5 ^①

注: ①与治疗组比较 $P>0.05$; ②与治疗组比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with treatment group, $P>0.05$; ②Compared with treatment group, $P<0.05$

表 2 术后影像学评价
Table 2 Postoperative imaging evaluation

	治疗组 (n=40) Treatment group	对照组 (n=42) Control group
椎弓根螺钉位置 (n) Pedicle screw position		
0 级 Grade 0	148	150 ^①
1 级 Grade 1	6	10 ^①
2 级 Grade 2	4	6 ^①
3 级 Grade 3	2	2 ^①
关节突关节破坏 (n) Facet joint violation		
1 级 Grade 1	35	28 ^①
2 级 Grade 2	2	10 ^①
3 级 Grade 3	3	4 ^①
椎弓根螺钉水平角 (°) Transverse section angle		
L3	8.5±2.4	5.5±1.9 ^②
L4	10.2±2.1	7.0±2.5 ^②
L5	13.7±2.5	9.5±2.0 ^②
椎弓根螺钉矢状角 (°) Sagittal section angle		
L3	4.9±1.1	5.0±1.2 ^①
L4	5.2±1.5	4.9±1.3 ^①
L5	5.5±1.1	5.3±1.4 ^①

注: ①与治疗组比较 $P>0.05$; ②与治疗组比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with treatment group, $P>0.05$; ②Compared with treatment group, $P<0.05$

3.2 横突法置钉在通道下应用的优势

椎弓根螺钉技术是治疗脊柱疾病的重要手段,常用的置钉技术主要有 Roy-Camille^[7]、Weinstein^[8]、Magerl^[9]、“人字嵴”置钉法等^[10],前三种方法主要以横突、关节突作为定位解剖标志,Roy-Camille 法以横突中点水平线与关节突关节间隙延长线交点作为进钉点,置钉时需要将关节突关节囊清理干净,显露关节间隙。由于显露横突时切口位置深,容易出血。因此,笔者建议将关节突关节间隙垂直向下 1mm 作为进钉点。Weinstein 提出避免非融合节段关节突关节的破坏,同时保护关节突关节囊,以上关节突外下缘凹陷处(上关节突颈部)作为进钉点。与 Roy-Camille 进钉法比较,Weinstein 法更靠外侧,Weinstein 采用尸体标本研究两种置钉方法的区别,认为 Roy-Camille 与 Weinstein 法在 T11~L2 置钉成功率差异无统计学意义,但在 L3~S1 置钉,Weinstein 法置钉方法成功率高于 Roy-Camille 法。Magerl 置钉法是以上关节突外侧缘垂线与横突平分线水平线交点作为进钉点,临床运用也较为广泛。以上三种方法置钉时均需要清晰显露关节突关节外侧、横突。“人字嵴”顶点法是利用横突根部的副突嵴与峡部乳突嵴的顶点作为进钉点,L1~L4 内倾角 5°~10°,L5 内倾角 10°~15°进钉,该方法术中无须显露横突,减少了暴露时间和椎旁肌的损伤,临床运用广泛。但在腰椎退变严重的患者,由于关节突增生严重,下关节突增生骨赘可能覆盖“人字嵴”,因此,术中需要咬除增生骨赘才能显露,在腰椎后路开放手术中增生严重病例经验丰富的医生仍可显露“人字嵴”。但在通道下置钉,仍通过“人字嵴”法置钉可能存在以下问题:(1)通道操作空间有限,为显露“人字嵴”,清理增生骨赘操作困难;(2)腰椎滑脱症患者由于椎体前移、关节突增生更严重,或者峡部裂大量疤痕组织,“人字嵴”难以显露,通道下操作更为困难;(3)头侧相邻非融合节段在清理覆盖于“人字嵴”骨赘时可能会损伤关节囊,置钉时会 FJV,有增加 ASD 的风险。因此,通道下置钉具有一定特殊性,可能需要新的置钉方法以提高手术效率。

腰椎退变、骨质增生主要位于三关节复合体,横突鲜有增生,Roy-Camille、Weinstein、Magerl 置钉法虽然都以关节突关节、横突作为解剖定位标志,但在置钉是需要清晰显露关节突关节的外缘、

暴露横突才能置钉,因横突部位深,偏外侧,横突根部上、下有腰动脉的穿支,在显露的过程中肌肉剥离多,而且损伤血管可能出血多,既延长了手术时间,又增加了出血量。因此,以横突作为定位标志既有优点,也存在缺点。我们在总结前人经验的基础上提出通道下新的横突定位置钉法,即术中探查横突根部上缘,而不显露横突根部。由于 MISTLIF 切口是利用 Wiltse 肌间隙入路,位于正中线旁开约 2.5~3.0cm,通道置入后,清理通道内侧 1/2 肌肉、软组织即可显露责任间隙上、下关节突、椎板、椎弓峡部,位于通道外侧 1/2 肌肉、软组织无须切除、显露。此时,利用上关节突关节与横突的关系,采用椎弓根开路锥在上关节突外上方可探及横突骨质,再沿横突嵴部向上方轻轻滑动可探及横突上缘,再沿上缘向中线移动可探及横突根部上缘,此时保持开路锥与水平面垂直,用开口器紧靠开路锥内下缘 3~5mm 处开口确定为进钉点,再用开路锥调整水平角、矢状角,以有“磨砂感”进入椎弓根内。利用横突定位法置钉具有以下优势:(1)横突极少增生,不易受退变增生骨赘影响,位置固定可靠;(2)探查横突在通道下容易操作,避免暴露横突造成肌肉剥离损伤、出血多等缺点;(3)不需要过度清理关节突关节增生骨赘,节省手术时间,避免损伤关节突关节囊而造成 FJV,对 ASD 的预防有积极意义。

横突根部上缘置钉法有助于提高通道下置钉,且进钉点偏外,减少对关节突关节的破坏,有利于降低 FJV 发生率,对 ASD 的预防具有积极意义。但由于进钉点偏外,术中需适当增大 TSA,避免螺钉穿出椎弓根外侧皮质。本研究样本量较小,且与术者经验有一定关系,论证强度有待进一步提高。而且初学者可能存在以下难点:(1)横突难以探及,探横突的过程中动作粗暴损伤横突根部动静脉,造成出血,或者开路锥过深,有损伤神经根的风险;(2)确定横突根部上缘后,利用开口器开口时开路器位置出现变动,造成进钉点偏上、偏外,有造成椎弓根上、外侧壁损伤的风险。在未来研究中,有必要对每一个腰椎横突根部上缘与同侧椎弓根中心点进行测量,并进行尸体实验以进一步验证,从而使通道下置钉技术逐渐向量化转变,便于推广。

4 参考文献

1. Harms J, Rolinger H. A one-stager procedure in operative treatment of spondylolistheses: dorsal traction-reposition and anterior fusion[J]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 1982, 120(3): 343-347.
2. Wang J, Zhou Y, Zhang ZF, et al. Minimally invasive or open transforaminal lumbar interbody fusion as revision surgery for patients previously treated by open discectomy and decompression of the lumbar spine[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(4): 623-628.
3. Tay KS, Bassi A, Yeo W, et al. Associated lumbar scoliosis does not affect outcomes in patients undergoing focal minimally invasive surgery-transforaminal lumbar interbody fusion (MISTLIF) for neurogenic symptoms-a minimum 2-year follow-up study[J]. *Spine J*, 2017, 17(1): 34-43.
4. Foley KT, Holly LT, Schwender, JD. Minimally invasive lumbar fusion[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2003, 28(15 Suppl): 26-35.
5. Schwender JD, Holly LT, Rouben DP et al. Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF): technical feasibility and initial results[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2005, 18(Suppl): S1-6.
6. Fan G, Fu Q, Zhang J, et al. Radiation reduction of minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion with localisation system in overweight patients[J]. *Bone Joint J*, 2017, 99B(7): 944-950.
7. Roycamille R, Saillant G, Mazel C. Internal fixation of the lumbar spine with pedicle screw plating[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1986, 203(203): 7-17.
8. Weinstein JN, Spratt KF, Spengler D, et al. Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with external skeletal fixation[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1988, 13(9): 1012-1018.
9. Friedrich P, Magerl. Stabilization of the Lower Thoracic and Lumbar Spine with External Skeletal Fixation[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1984, 189(189): 125-141.
10. 杜心如, 叶启彬, 赵玲秀, 等. 腰椎人字嵴顶点椎弓根螺钉进钉方法的解剖学研究[J]. *中国临床解剖学杂志*, 2002, 20(2): 86-88.
11. 毛克亚, 王岩, 肖嵩华, 等. 微创手术治疗单节段腰椎管狭窄症的疗效分析[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2011, 21(2): 113-117.
12. Rao G, Brodke DS, Rondina M, et al. Comparison of computerized tomography and direct visualization in thoracic pedicle screw placement[J]. *J Neurosurg*, 2002, 97(2 Suppl): 223-226.
13. 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(Phila Pa 1976)*, 2003, 28(3): 272-275.
14. 石福明, 李凤春, 甄相周, 等. α 角、 β 角与 TSA 角、SSA 角之区别[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2000, 10(5): 23.
15. Choll W, Kim. Scientific basis of minimally invasive spine surgery: prevention of multifidus muscle injury during posterior lumbar surgery[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2010, 35(26 Suppl): S281-S286.
16. Seng C, Siddiqui MA, Wong KP, et al. Five-year outcomes of minimally invasive versus open transforaminal lumbar interbody fusion: a matched-pair comparison study [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2013, 38(23): 2049-2055.

(收稿日期:2017-12-28 修回日期:2018-03-05)

(英文编审 刘美彤/贾丹彤)

(本文编辑 姜雅浩)