

· 临床研究 ·

术中三维导航辅助微创经椎间孔入路腰椎椎间融合术中置钉偏出方向及程度分析

陈焕雄, 何小元, 黄 涛, 马承榕, 孟志斌*

海南医学院第一附属医院脊柱外科, 海口 570102

【摘要】目的 比较三维导航辅助 Quadrant 通道下微创经椎间孔入路腰椎椎间融合术(MIS-TLIF)与C形臂X线机透视下行 MIS-TLIF 治疗腰椎退行性疾病的置钉偏出方向及程度, 并探讨三维导航在 MIS-TLIF 中的应用价值。**方法** 回顾性分析 2017 年 12 月—2018 年 12 月接受 MIS-TLIF 治疗的 108 例腰椎退行性疾病患者临床资料, 术中采用三维导航辅助 58 例(导航组), 采用 C 形臂 X 线机透视辅助 50 例(透视组)。收集 2 组患者的基本信息、手术时间、术中出血量, 通过术后 CT 扫描与三维重建记录螺钉穿破骨皮质位置并测量穿透皮质距离。**结果** 2 组患者年龄、性别、体质量指数、术前诊断及手术节段构成比差异无统计学意义($P>0.05$)。导航组比透视组手术时间短、术中出血少, 差异有统计学意义($P<0.05$)。导航组共置钉 272 枚, 皮质穿破率为 9.9%; 透视组共置钉 236 枚, 皮质穿破率为 22.5%, 组间差异有统计学意义($P<0.05$)。导航组内、外、前侧皮质及椎间孔穿破率分别为 4.8%、1.5%、3.3% 和 0.3%, 4 个方向穿破率均低于透视组的 8.5%、8.5%、4.7% 和 0.8%, 但仅内、外侧皮质穿破率差异有统计学意义($P<0.05$)。2 组的螺钉穿破率除 2 级外, 其他各级差异均有统计学意义($P<0.05$)。2 组患者术后 6 个月及末次随访时腰痛、下肢痛视觉模拟量表(VAS)评分和 Oswestry 功能障碍指数(ODI)均较术前显著改善, 差异有统计学意义($P<0.05$), 各时间点组间比较差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论** 与 C 形臂 X 线机透视下 MIS-TLIF 相比, 导航辅助 MIS-TLIF 治疗腰椎退行性疾病从手术节段定位、钉道制备、椎管减压到融合器置入, 全程提供三维影像, 能提升整体置钉精确度, 降低内、外侧皮质穿破率, 具有手术时间短、出血量少、并发症少的特点, 可以获得安全、有效的治疗结果。

【关键词】 腰椎; 椎间盘移位; 椎管狭窄; 脊柱融合术; 外科手术, 微创性; 计算机辅助设计; 成像, 三维

【中图分类号】 R 681.533 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1672-2957(2020)03-0145-06

【DOI】 10.3969/j.issn.1672-2957.2020.03.001

Analysis of position and grade of screw perforation in minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion with intraoperative 3D navigation techniques

CHEN Huan-xiong, HE Xiao-yuan, HUANG Tao, MA Cheng-rong, MENG Zhi-bin*

Department of Spinal Surgery, First Affiliated Hospital of Hainan Medical University, Haikou 570102, Hainan, China

【Abstract】Objective To compare the position and the grade of screw perforation in Quadrant system-assisted minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion(MIS-TLIF) with 3D navigation techniques and C-arm fluoroscopy for degenerative lumbar disease, and to explore the advantages and superiority of 3D navigation-guided MIS-TLIF. **Methods** From December 2017 to December 2018, a total of 108 cases of degenerative lumbar disease with MIS-TLIF were enrolled in this retrospective study. Fifty-eight MIS-TLIF cases were assisted with 3D navigation techniques(navigation group) and another 50 cases received MIS-TLIF with C-arm fluoroscopy(fluoroscopy group). In the 2 groups, the clinical information, operation time and intraoperative blood loss were all recorded. Postoperative CT scans and 3D reconstruction were used to analyze the accuracy of pedicle screw placement, and the length and position of cortical perforation. **Results** There was no statistical difference between the 2 groups in age, gender, body mass index, preoperative diagnosis and operative segments. Compared with fluoroscopy group, the operation time and the intraoperative blood loss showed statistically significant decrease in the navigation group($P<0.05$). There were 272 pedicle screws implanted in the navigation group, with the cortical perforation rate of 9.9%; 236 nails in the

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(81902270);

海南省自然科学基金青年基金项目(819QN365)

作者简介: 陈焕雄(1986—), 博士, 主治医师;

chenhuanxiong86@163.com

*通信作者: 孟志斌 zhibinmeng@163.com

fluoroscopy group, with the cortical perforation rate of 22.5%. There was a significant difference between the 2 groups ($P < 0.05$). The perforation rates of the inner, outer, anterior cortex and intervertebral foramen in the navigation group were 4.8%, 1.5%, 3.3% and 0.3%, respectively, which were lower than those in the fluoroscopy group (8.5%, 8.5%, 4.7% and 0.8%, respectively), but only the differences between the inner and outer cortex were statistically significant ($P < 0.05$). The grade 3 penetration rate (penetration distance > 4 mm) of navigation group was 1.1%, which was significantly lower than that of fluoroscopy group (4.6%, $P < 0.05$). The visual analogue scale (VAS) scores of low back and leg pain and Oswestry disability index (ODI) in the 2 groups were significantly improved at postoperative 6 months and the final follow-up, and there was no significant difference between the 2 groups at each time point ($P > 0.05$). **Conclusion** Compared with fluoroscopy guided MIS-TLIF, navigation assisted MIS-TLIF in the treatment of lumbar degenerative diseases can provide 3D images in the whole process, which can improve the accuracy of the pedicle screw placement, reduce the penetration rate of inner and outer cortex, have the characteristics of shorter operation time, less bleeding and fewer complications, and can obtain good clinical outcomes.

【Key Words】 Lumbar vertebrae; Intervertebral disc displacement; Spinal stenosis; Spinal fusion; Surgical procedures, minimally invasive; Computer-aided design; Imaging, three-dimensional

J Spinal Surg, 2020, 18(3): 145-150

经椎间孔入路腰椎椎间融合术(TLIF)目前广泛应用于治疗严重腰椎退行性疾病,临床疗效确切,但医源性肌肉等软组织损伤较大,术后部分患者可出现腰背部肌肉萎缩及持续疼痛^[1]。微创经椎间孔入路腰椎椎间融合术(MIS-TLIF)在工作通道下操作,减少了肌肉等软组织的剥离,能够有效减少手术创伤、加快术后康复,有助于患者术后早期活动^[2]。然而,MIS-TLIF手术视野局限、操作空间小,常不能充分暴露解剖标志,通道下椎弓根螺钉置入相对困难,容易导致置钉相关的神经系统及血管并发症^[3]。随着导航技术在脊柱微创手术中的广泛应用,导航辅助不仅可以提高置钉精度,还可有效降低医患的射线暴露量^[4-5]。因此,本研究比较三维导航与C形臂X线机透视辅助Quadrant通道下MIS-TLIF在治疗腰椎退行性疾病中的置钉偏出方向及程度,并探讨导航辅助MIS-TLIF治疗腰椎退行性

疾病的安全性及优势,现报告如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

纳入标准:①行MIS-TLIF治疗的腰椎椎间盘突出症伴腰椎失稳、腰椎椎管狭窄;②患者基本信息及随访资料完整;③所有手术由同一团队具有 >10 年脊柱微创手术经验的高年资医师完成。根据以上标准,共纳入2017年12月—2018年12月在本院行MIS-TLIF治疗的108例患者临床资料,其中术中采用三维导航辅助58例(导航组,单节段病变38例,双节段病变20例);采用C形臂X线机透视辅助50例(透视组,单节段病变32例,双节段病变18例)。2组患者年龄、性别、体质指数、术前诊断及手术节段构成比差异无统计学意义($P > 0.05$,表1),具有可比性。

表1 2组患者基线资料

Tab. 1 Baseline data of 2 groups

组别 Group	<i>n</i>	年龄/岁 Age/year	性别 Gender		体质量指数/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$) Body mass index/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)	诊断 Diagnosis		手术节段 Operative segments		
			男 Male	女 Female		腰椎间盘突出症 Lumbar disc herniation	腰椎椎管狭窄症 Lumbar spinal stenosis	L ₃ /L ₄	L ₄ /L ₅	L ₅ /S ₁
导航 Navigation	58	57.8 ± 8.8	25	33	24.7 ± 3.4	27	31	10	46	22
透视 Fluoroscopy	50	56.3 ± 8.1	23	27	25.4 ± 4.4	25	25	10	39	19

1.2 手术方法

患者全身静脉麻醉后取俯卧位,全程行大脑皮层体感诱发电位/运动诱发电位(SEP/MEP)神经电生理监测^[6]。

导航组:连接导航设备(Brain LAB),应用克氏针将导航参考架固定在髂后上棘,进行三维扫描。扫描图像自动输入导航系统并完成注册,使用导航探针在三维影像引导下定位手术节段并在体表

投影点标记切口位置。垂直切开皮肤后内倾 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 切开腰背筋膜,沿肌间隙钝性分离至关节突下峡部,以峡部为支点插入逐级扩张Quadrant工作通道,撑开通道后接光源。导航引导下选择最佳进钉点、进钉水平角和矢状角,使用高速磨钻制备钉道,球探探查确定钉道为骨性结构后,置入短尾固定椎弓根螺钉。在导航下定位及标记减压范围后,使用骨刀凿除下关节突,用枪式咬骨钳咬除残余关节突、部分黄韧带及椎板,扩大椎间孔,显露硬膜囊、神经根、椎间盘及椎静脉丛。双极电凝止血后,神经拉钩保护硬膜囊、神经根,清除椎间盘和软骨终板,导航下置入融合器和自身骨粒,上棒后加压拧紧螺帽。透视确认内固定和融合器位置良好后逐层关闭切口。

透视组:在C形臂X线机透视下采用长针头定位手术节段上、下椎弓根投影中心,以2枚针头连线为切口。切开、显露及通道建立等步骤与导航

组一致。显露上下关节突关节、椎弓峡部,沿峡部显露人字嵴后开口器在其顶点开口,开路器在正、侧位反复透视下调整进钉角度,以有“磨砂感”判定为进入椎弓根内,球探探查后完成钉道制备并置钉。直视下完成减压和椎间融合操作,步骤与导航组一致。

1.3 评价标准

记录围手术期血管、神经、内脏损伤等并发症,并采用疼痛视觉模拟量表(VAS)评分^[7]、Oswestry功能障碍指数(ODI)^[8]评价临床疗效。根据术后CT扫描及三维重建评价螺钉位置,记录穿破骨皮质位置,并测量螺钉穿透皮质距离(图1a~d)。皮质穿破位置分为内侧皮质、外侧皮质、椎体前壁及椎间孔^[9]。按照Rao等^[10]提出的分级评估皮质穿破程度:0级,螺钉没有穿破椎弓根和椎体皮质;1级,穿破距离 $<2\text{ mm}$;2级,穿破距离 $2\sim 4\text{ mm}$;3级,穿破距离 $>4\text{ mm}$ (图1e~f)。

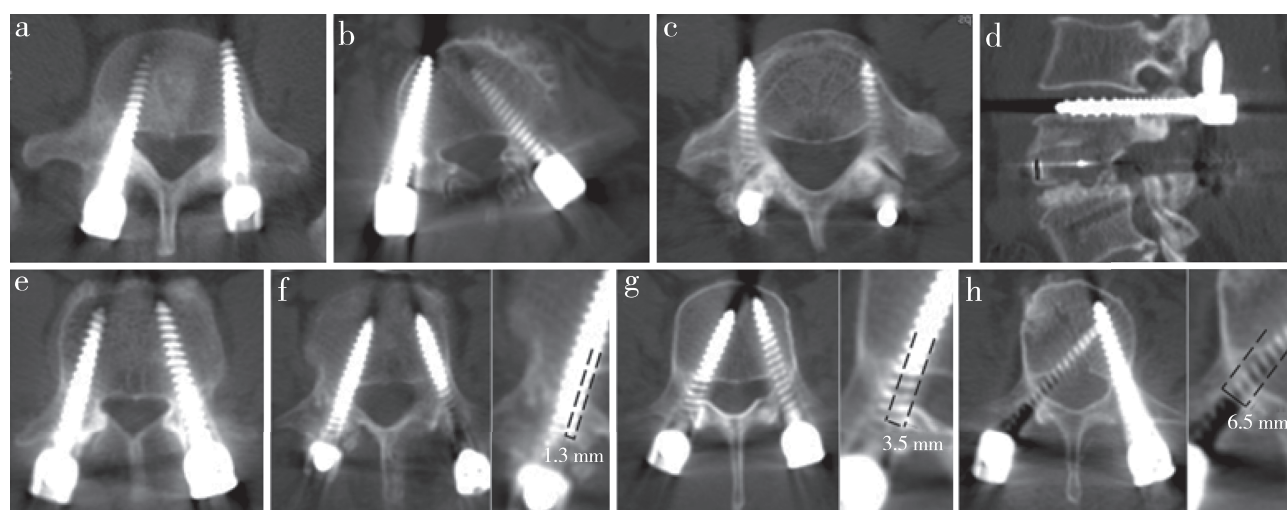


图1 CT评估螺钉穿破方向和程度

Fig. 1 CT images demonstrating position and grade of perforation

a: 穿破内侧皮质 b: 穿破外侧皮质 c: 穿破椎体前壁 d: 穿破椎间孔 e: 0级, 螺钉没有穿破椎弓根和椎体皮质 f: 1级, 穿破距离 $<2\text{ mm}$ g: 2级, 穿破距离 $2\sim 4\text{ mm}$ h: 3级, 穿破距离 $>4\text{ mm}$
a: Medial cortical perforation b: Lateral cortical perforation c: Anterior cortical perforation d: Foraminal perforation e: Grade 0, pedicle screw without perforation f: Grade 1, perforation $<2\text{ mm}$ g: Grade 2, perforations $2\sim 4\text{ mm}$ h: Grade 3, perforation $>4\text{ mm}$

1.4 统计学处理

采用SPSS 19.0软件对数据进行统计学分析,性别、诊断、手术节段构成比采用 χ^2 检验,年龄、手术时间、术中出血量、VAS评分、ODI、置钉参数等计量资料采用Shapiro-Wilk检验是否呈正态分布,正态分布资料采用 $\bar{x}\pm s$ 表示,采用独立样本 t 检验,非正态分布资料采用曼-惠特尼 U 检验;以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

导航组手术时间(134.4 ± 32.6)min,术中出血量(191.4 ± 120.0)mL,少于透视组的(190.2 ± 33.5)min和(352.0 ± 123.3)mL,差异有统计学意义($P<0.05$)。2组共置入椎弓根螺钉508枚,每例平均置钉4.7枚,总皮质穿破率为15.7%。导航组58例置钉272枚,其中27枚穿破皮质,穿破率为

9.9%；透视组 50 例置钉 236 枚，其中 53 枚穿破皮质，穿破率为 22.5%。导航组皮质穿破率低于透视组，组间差异有统计学意义 ($P<0.05$)。导航组 4 个方向穿破率均低于透视组，但仅内、外侧皮质穿破率差异有统计学意义 ($P<0.05$ ，表 2)。导航组与透视组穿破程度相比，除 2 级差异无统计学意义，其他各级差异均有统计学意义 ($P<0.05$ ，表 2)。

所有患者随访 10~22 个月，平均 16.3 个月。2 组

患者术后 6 个月及末次随访时腰痛、下肢痛 VAS 评分和 ODI 均较术前显著改善，差异有统计学意义 ($P<0.05$ ，表 3)，各时间点组间比较差异无统计学意义 ($P>0.05$ ，表 3)。2 组患者均未发生大血管损伤、硬膜撕裂、神经功能损伤及感染等并发症。随访中透视组 1 例 46 岁女性患者于术后 3 个月出现融合器穿透终板，部分陷入上位椎体内，并引起根性疼痛，再次手术处理后症状解除。导航组典型病例影像学资料见图 2。

表 2 置钉偏出方向及程度分析
Tab. 2 Analysis of position and grade of perforation

组别 Group	n	置钉 总数 Number of screws	螺钉穿破方向 Screw perforation deviation				螺钉穿破程度 Screw perforation grade			
			内侧皮质 Medial cortical perforation	外侧皮质 Lateral cortical perforation	椎体前壁 Anterior cortical perforation	椎间孔 Foraminal perforation	0 级 Grade 0	1 级 Grade 1	2 级 Grade 2	3 级 Grade 3
导航 Navigation	58	272	13(4.8%)	4(1.5%)	9(3.3%)	1(0.3%)	245(90.1%)	8(2.9%)	16(5.9%)	3(1.1%)
透视 Fluoroscopy	50	236	20(8.5%)*	20(8.5%)*	11(4.7%)	2(0.8%)	192(81.3%)*	15(6.4%)*	18(7.6%)	11(4.7%)*

注：* 与导航组相比， $P<0.05$ 。
Note: * $P<0.05$, compared with navigation group.

表 3 腰痛、下肢痛 VAS 评分和 ODI
Tab. 3 VAS scores of low back and leg pain and ODI

组别 Group	n	腰痛 VAS 评分 VAS score of low back pain			下肢痛 VAS 评分 VAS score of leg pain			ODI(%)		
		术前 Pre-operation	术后 6 个月 Postoperative 6 months	末次随访 Final follow-up	术前 Pre-operation	术后 6 个月 Postoperative 6 months	末次随访 Final follow-up	术前 Pre-operation	术后 6 个月 Postoperative 6 months	末次随访 Final follow-up
导航 Navigation	58	6.8 ± 1.0	1.7 ± 0.8*	1.5 ± 0.7*	6.3 ± 0.9	1.4 ± 0.7*	1.0 ± 0.8*	51.2 ± 11.7	21.8 ± 3.3*	16.2 ± 2.9*
透视 Fluoroscopy	50	6.6 ± 1.0	1.6 ± 0.7*	1.6 ± 0.6*	6.5 ± 1.2	1.3 ± 0.6*	1.1 ± 0.6*	50.4 ± 10.2	23.6 ± 4.4*	17.1 ± 3.3*

注：* 与术前相比， $P<0.05$ 。
Note: * $P<0.05$, compared with pre-operation.

3 讨 论

经 Wiltse 入路 Quadrant 通道下 MIS-TLIF 是目前治疗腰椎椎间盘突出伴腰椎失稳、腰椎椎管狭窄和 I / II 度腰椎滑脱症的常见脊柱微创手术之一^[11]。与传统 TLIF 相比，MIS-TLIF 具有组织损伤小、出血量少、伤口感染发生率低、术后疼痛轻、康复快、住院时间短等优点，且在长期随访中患者 VAS 评分、ODI、植骨融合率及脊柱矢状面平衡参数等与传统开放手术相比并无明显差异^[12-13]。但由于 Quadrant 通道限制，手术视野小、操作空间受限、手术难度高，

MIS-TLIF 存在手术时间较长、学习曲线陡峭及术中射线暴露等相关问题。其中，由于通道摆放位置需同时兼顾置钉、椎管减压和椎间融合器置入等操作，所有操作在有限的范围内进行，MIS-TLIF 较传统开放手术更容易造成硬膜和神经损伤^[14-15]。

椎弓根螺钉误置是 MIS-TLIF 造成神经根损伤，引起神经根性疼痛、肌力下降及感觉异常的原因之一。目前常用的后路椎弓根螺钉置钉技术主要有 Roy-Camille^[16]、Weinstein^[17]、Magerl^[18]、Krag^[19]，人字嵴置钉法^[20]等，这 5 种方法在通道下置钉，可能存在以下问题。①通道视野相对狭小、操作空间

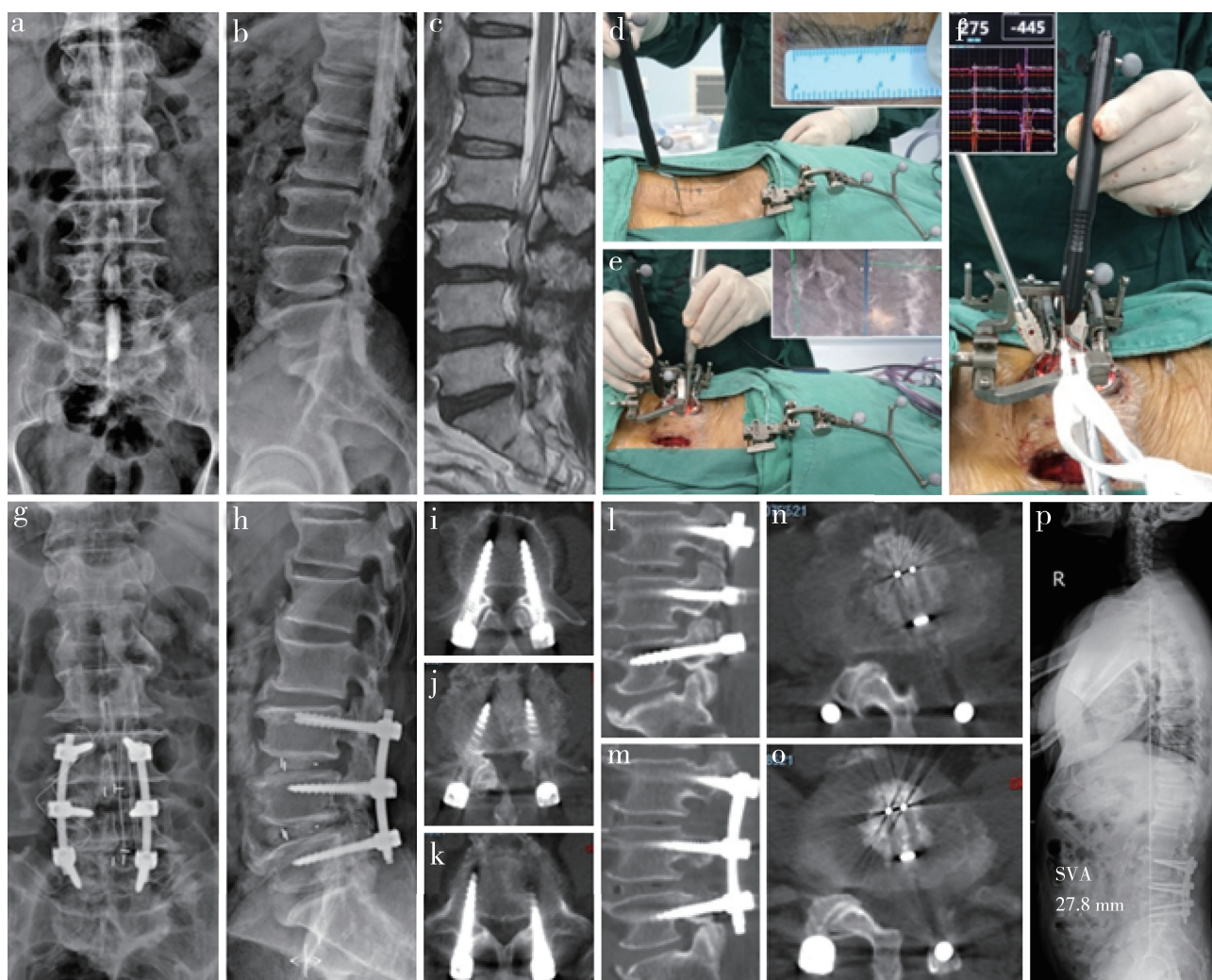


图2 导航组典型病例影像学资料

Fig. 2 Imaging data of a typical case in navigation group

a~c: 术前腰椎X线片及MRI示L₃₋₅椎管狭窄 d~f: 神经电生理监测下导航辅助手术节段定位、椎弓根螺钉通道制备、椎管减压及融合器置入 g~o: 术后3 d腰椎X线片及CT示螺钉未穿破椎弓根和椎体皮质, 椎管狭窄程度减轻, 融合器位置良好 p: 术后20个月全脊柱X线片示内固定无松动移位、融合器无沉降、脊柱矢状面平衡

a~c: Preoperative roentgenographs and MRI show L₃₋₅ spinal stenosis d~f: Under monitoring of neuroelectrophysiology, navigation assisted surgical segment positioning, pedicle screw channel preparation, spinal canal decompression and cage placement g~o: Roentgenographs and CTs at postoperative 3 d show pedicle screws without perforation, spinal decompression and ideal cage position p: Whole spine roentgenograph at postoperative 20 months shows well sagittal balance of spine without displacement of screws and cage subsidence

有限, 清晰显露关节突关节、清理增生骨赘操作困难; ②L_{4,5}横突部位深, 横突根部有腰动脉穿过, 显露时一旦损伤可能出血较多, 通道内处理更为困难; ③对于解剖结构复杂的患者, 如合并退行性侧凸、腰椎滑脱等, 通道内置钉难度增加; ④进钉时仍需要C形臂X线机正、侧位多次透视以确认进钉点和进钉角度, 存在术者和手术室人员射线暴露问题, C形臂X线机正、侧位切换时影响手术操作, 以及透视时间长致术野出血量增加^[21]。因此, 通道下置钉存在一定特殊性, 需要新的置钉方法以提高置钉精度和手术效率。

1995年, Nolte等^[22]首次将计算机导航技术应用用于椎弓根螺钉置入, 证明其精准性及可靠性。2003年, Holly等^[23]首次报道了三维导航辅助胸、腰椎椎弓根螺钉的微创置入, 该研究共置入94枚螺钉, 置钉精确度达94.7%。本研究中, 导航组总置钉精确度为90.1%, 明显高于透视组的81.3%, 其中导航组螺钉内、外侧皮质的穿破率以及3级螺钉比例分别为4.8%、1.5%和1.1%, 均低于透视组8.5%、8.5%和4.7%, 说明三维导航辅助Quadrant通道下置钉较透视下置钉更精准与可靠。

与常规开放TLIF相比, 本研究中透视组的置

钉、椎管减压和椎间融合器置入等操作受 Quadrant 通道的限制, 其中置钉、融合器置入角度及深度需正、侧位透视进行方向和位置的调整, 每次透视只获得一张图像且无横断面信息。如缺乏有效内固定, 椎间的活动可导致融合器的移位^[24]。透视组 1 例患者由于融合节段近端 1 枚螺钉穿破椎间孔, 螺钉失去固定作用, 且在处理软骨终板时损伤部分椎体下方骨性终板, 导致融合器向椎体内坍塌, 椎间隙高度丢失, 引起椎间孔容积减小导致根性症状。导航组在导航探针引导下, 从切口定位、钉道制备、减压范围确定、软骨终板刮除深度到融合器的置入, 全程提供三维影像, 导航组平均手术时间及术中出血量均低于透视组, 减少了医患的射线暴露, 且至末次随访时未发现融合器移位或下沉, 说明三维导航全程辅助 MIS-TLIF 安全、高效。

导航辅助 Quadrant 通道下 MIS-TLIF 手术的局限性: ①手术视野和操作空间小, 术中一旦出现血管、硬膜损伤或脑脊液漏, 处理难度较开放手术大^[25]; ②当病变节段需要双侧减压时, 需要双侧置入通道进行减压或行对侧潜行减压, 增加手术时间; ③导航参考架在术中被遮挡或产生位移, 以及置钉、减压等操作引起术中脊柱移位, 均可导致导航系统影像与真实位置的误差。本研究中, 因导航影像漂移, 导航组置钉时导航图像显示位于椎弓根内的螺钉实际穿出了内、外侧皮质及椎体前壁, 穿破率分别为 4.9%、1.4% 及 3.3%。因此, 在下一步研究中, 可应用手术显微镜放大术野让通道内操作更精准, 使用改进的曲型脊柱微创器械以行单侧入路的双侧减压, 探索新型术中导航实时定位校准系统克服导航漂移问题, 以提高术中操作的安全性及便捷性。

综上, 与 C 形臂 X 线机透视下 MIS-TLIF 相比, 导航辅助 MIS-TLIF 治疗腰椎退行性疾病可提升整体置钉精确度, 降低内、外侧皮质穿破率, 具有手术时间短、出血量少、并发症少的特点。但本研究为单中心研究, 且病例数相对较少, 还需要严格设计的前瞻性随机大样本多中心研究来获得更为可靠的依据与结论。

参考文献

- [1] Vazan M, Gempt J, Meyer B, *et al.* Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion versus open transforaminal lumbar interbody fusion: a technical description and review of the literature[J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2017, 159(6): 1137-1146.
- [2] Serban D, Calina N, Tender G. Standard versus Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion: a prospective randomized study[J]. *Biomed Res Int*, 2017, 2017: 7236970.
- [3] Joseph JR, Smith BW, La Marca F, *et al.* Comparison of complication rates of minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion and lateral lumbar interbody fusion: a systematic review of the literature[J]. *Neurosurg Focus*, 2015, 39(4): E4.
- [4] Dusad T, Kundnani V, Dutta S, *et al.* Comparative prospective study reporting intraoperative parameters, pedicle screw perforation, and radiation exposure in navigation-guided versus non-navigated fluoroscopy-assisted minimal invasive transforaminal lumbar interbody fusion[J]. *Asian Spine J*, 2018, 12(2): 309-316.
- [5] Chen K, Chen H, Zhang K, *et al.* O-arm navigation combined with microscope-assisted mis-tlif in the treatment of lumbar degenerative disease[J]. *Clin Spine Surg*, 2019, 32(5): E235-E240.
- [6] 孟志斌, 庞学毅, 黎坚, 等. 运动诱发电位和肌电图联合监测在微创经椎间孔腰椎椎间融合术中的有效性及安全性[J]. *脊柱外科杂志*, 2019, 17(1): 37-41.
- [7] Huskisson EC. Measurement of pain[J]. *Lancet*, 1974, 2(7889): 1127-1131.
- [8] Fairbank JC, Couper J, Davies JB, *et al.* The Oswestry low back pain disability questionnaire[J]. *Physiotherapy*, 1980, 66(8): 271-273.
- [9] 叶斌, 孟祥龙, 刘玉增, 等. 徒手置钉技术在脊柱畸形矫正中的准确性与安全性研究[J]. *脊柱外科杂志*, 2014, 12(1): 25-34.
- [10] 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.
- [11] Foley KT, Holly LT, Schwender JD. Minimally invasive lumbar fusion[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2003, 28(15 Suppl): S26-S35.
- [12] 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.
- [13] 肖波, 毛克亚, 王岩, 等. 微创经椎间孔腰椎椎体间融合术与传统后路腰椎椎体间融合术并发症的比较分析[J]. *脊柱外科杂志*, 2013, 11(1): 23-27.

- outcome study on the effects of facet joint radiofrequency denervation on pain, analgesic intake, disability, satisfaction, cost, and employment[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2009, 90(2): 201-205.
- [19] 李振宙, 侯树勋, 商卫林, 等. 内窥镜下脊神经背内侧支切断术治疗腰椎关节突关节源性慢性腰痛[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2013, 23(3): 215-221.
- [20] 宋科冉, 曹崢, 赵宏亮, 等. 经皮射频和内镜下射频切断脊神经背内侧支治疗小关节源性腰痛的前瞻性临床对照研究[J]. 中国骨与关节杂志, 2018, 7(6): 429-436.
- [21] Bogduk N. The lumbar mamillo—accessory ligament. Its anatomical and neurosurgical significance[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1981, 6(2): 162-167.
- [22] 冯金升, 王健. 腰痛的一个亚组——腰椎稳定肌异常[J]. 颈腰痛杂志, 2012, 33(4): 302-305.
- [23] Hides J, Stanton W, Mendis MD, *et al.* The relationship of transversus abdominis and lumbar multifidus clinical muscle tests in patients with chronic low back pain[J]. Man Ther, 2011, 16(6): 573-577.
- [24] 崔晓伟. 退行性腰椎滑脱症患者多裂肌退行性变与临床症状的相关性[J]. 脊柱外科杂志, 2019, 17(3): 187-191.
- [25] Mukai Y, Takenaka S, Hosono N, *et al.* Intramuscular pressure of the multifidus muscle and low-back pain after posterior lumbar interbody fusion: comparison of mini-open and conventional approaches[J]. J Neurosurg Spine, 2013, 19(6): 651-657.
- [26] 徐卫星, 王健, 丁伟国, 等. 去神经化治疗腰椎关节突关节源性腰痛的有效性与安全性研究[J]. 中国骨伤, 2012, 25(10): 813-816.
- [27] 宋科冉, 赵宏亮, 秦江, 等. 不同方法射频消融切断脊神经背内侧支后腰椎功能变化的研究[J]. 中国骨与关节杂志, 2018, 7(8): 632-637.
- (收稿日期: 2019-05-10)
(本文编辑: 于 倩)

(上接第150页)

- [14] Khan MH, Rihn J, Steele G, *et al.* Postoperative management protocol for incidental dural tears during degenerative lumbar spine surgery: a review of 3183 consecutive degenerative lumbar cases[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2006, 31(22): 2609-2613.
- [15] Wang H, Zhou Y, Zhang Z. Postoperative dysesthesia in minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion: a report of five cases[J]. Eur Spine J, 2016, 25(5): 1595-1600.
- [16] Roy-Camille R, Saillant G, Mazel C. Internal fixation of the lumbar spine with pedicle screw plating[J]. Clin Orthop Relat Res, 1986(203): 7-17.
- [17] Weinstein JN, Rydevik BL, Rauschnig W. Anatomic and technical considerations of pedicle screw fixation[J]. Clin Orthop Relat Res, 1992(284): 34-46.
- [18] Magerl FP. Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with external skeletal fixation[J]. Clin Orthop Relat Res, 1984(189): 125-141.
- [19] Krag MH, Van Hal ME, Beynon BD. Placement of transpedicular vertebral screws close to anterior vertebral cortex. Description of methods[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1989, 14(8): 879-883.
- [20] 杜心如, 赵玲秀, 张一模, 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.
- [21] Lee KH, Yue WM, Yeo W, *et al.* Clinical and radiological outcomes of open versus minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion[J]. Eur Spine J, 2012, 21(11): 2265-2270.
- [22] Nolte LP, Zamorano LJ, Jiang Z, *et al.* Image-guided insertion of transpedicular screws. A laboratory set-up[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1995, 20(4): 497-500.
- [23] Holly LT, Foley KT. Three-dimensional fluoroscopy-guided percutaneous thoracolumbar pedicle screw placement. Technical note[J]. J Neurosurg, 2003, 99(3 Suppl): 324-329.
- [24] Buttermann GR, Beaubien BP, Freeman AL, *et al.* Interbody device endplate engagement effects on motion segment biomechanics[J]. Spine J, 2009, 9(7): 564-573.
- [25] Brodano GB, Martikos K, Lolli F, *et al.* Transforaminal lumbar interbody fusion in degenerative disk disease and spondylolisthesis grade I: minimally invasive versus open surgery[J]. J Spinal Disord Tech, 2015, 28(10): E559-E564.
- (收稿日期: 2019-10-02)
(本文编辑: 于 倩)